INSTITUTUL DE ENERGETICĂ AL ACADEMIEI DE ȘTIINȚE AL MOLDOVEI

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

Vasile DAUD

OPTIMIZAREA CONSTRUCȚIEI ȘI A REGIMULUI DE FUNCȚIONARE A ARZĂTOARELOR INSTALATIILOR DE PRODUCERE A ENERGIEI TERMICE

Teză de doctor în tehnică

Specialitatea 221.01 "Sisteme și tehnologii energetice",

Conducător științific: dr. hab în științe tehnice

Vladimir BERZAN

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

Valerian DOROGAN

Autor: inginer

Vasile DAUD

CHIŞINĂU 2017

© Daud Vasile, 2017

	ADNOTARE							
	INTRODUCERE							
1.	STUDIUL ARZĂTOARELOR INSTALATIILOR DE PRODUCERE A ENERGIEI TERMICE PRIN ARDEREA DIRECTĂ A GAZELOR NATURALE COMBUSTIBILE							
1.1.	Caracteristica generală a problemei investigației							
1.2.	Aprinderea amestecului de gaze și viteza de propagare a flăcării							
1.3	Tehnici și tehnologii de ardere ale gazelor naturale							
	1.3.1. Tehnica de ardere a gazelor în cîmp electric							
1.4.	Formularea problemei cercetării							
1.5	Concluzii la capitolul 1							
2.	METODE DE CERCETARE A PROCESELOR DE AMESTEC AER -							
	GAZE PENTRU ARDEREA GAZELOR NATURALE LA SARCINI							
	VARIABILE.							
2.1.	Generalități cu privire la cercetarea proceselor de amestec aer – gaze pentru							
	arderea gazelor naturale							
2.2.	Modele matematice pentru zonele de formare a amestecului aer-gaze și de							
	ardere							
2.3.	Estimarea omogenității flăcării amestecului aer-gaz							
2.4.	Metodologia cercetării experimentale privind calitatea amestecului aer-gaze și							
2.6	a procesului de ardere \dots							
2.0.	Avantaje și dezavantaje a utilizarii modelului matematic la cercetarea proceselor de formere e emestecului entimel de cor goze pentru eficientizerea proceselui de							
	ardere							
27	Concluzii la capitolul 2							
2.1.								
3.	METODOLOGIA CERCETĂRII EXPERIMENTALE A							
	PROCESELOR DE AMESTEC AER-GAZE PENTRU ARDEREA							
	GAZELOR NATURALE ÎN INSTALAȚII LA SARCINI VARIABILE							
3.1	Formularea problemei cercetării experimentale a proceselor de amestec a							
	gazelor naturale combustibile în instalații pentru ardere la sarcini variabile							
3.2	Particularitățile ștandurilor utilizate în efectuarea cercetărilor experimentale							

CUPRINS

3.3 Cercetări a omogenității amestecului aer-gaz în instalații de ardere la sarci variabile							
	3.3.1. Planul de experimente și determinarea influenței parametrilor constructivi ai arzătorului asupra omogenității aer-gaz						
3.4.	Adoptarea și verificarea metodei de cercetare a omogenității amestecului aer- gaz						
	3.4.1. Verificarea vigurozității metodei experimentale de cercetare a câmpului de repartiție a concentrației gazului în flacără						
3.5.	Metodica de cercetare a formării omogenității amestecului aer-gaz în instalații de ardere la sarcini variabile						
3.6.	Cercetarea tehnicilor de stabilizare a proceselor de ardere în instalații la sarcină variabilă.						
	3.6.1. Metodica de cercetare a stabilității omogenității amestecului aer-gaz pentru asigurarea procesului de ardere calitativă a gazelor naturale combustibile în instalații cu putere variabilă						
	3.6.2. Metodica de colectare și prelucrare statistică a datelor experimentale a						
	proceselor de amestec aer-gaze pentru arderea gazelor naturale în instalații la sarcini variabile						
	3.6.3. Determinarea limitelor de stabilitate a flăcării în procesul de amestec						
	pentru arderea gazelor naturale combustibile în instalații cu putere variabilă3.6.4. Elaborarea metodicii și a programului de calcul a parametrilor arzătoarelor						
3.7	modulare cu putere variabilă pentru arderea gazelor naturale combustibile Concluzii la capitolul 3						
4.	CERCETAREA PROCEDEELOR DE EFICIENTIZARE A						
	CONSUMULUI DE GAZE ÎN INSTALAȚIILE DE GENERARE						
	DISTRIBUITĂ A ENERGIEI TERMICE LA SARCINĂ VARIABILĂ						
4.1	Elaborarea metodicii și algoritmilor de reglare a sarcinii arzătorului						
4.2	Procedee de eficientizare a proceselor tehnologice în sisteme termoenergetice.						
4.3	Metodica și algoritmi de distribuție al sarcinii pe un arzător din grup pentru						
4.4	Estimarea efectului economic a utilizării tehnologiei elaborate de ardere a gazelor naturale						
4.5	Recomandări de elaborare și perfectare a instalațiilor de ardere a gazelor						

	naturale cu sarcină variabilă
4.6	Concluzii la capitolul 4
	CONCLUZII GENERALE SI RECOMANDĂRI
	BIBLIOGRAFIE
	ANEXE
	Anexa 1. Structura resurselor energetice din Republica Moldova.
	Anexa 2. Rezultate ale cercetărilor omogenității amestecului aer-gaz
	Anexa 3. Schema constructivă a arzătorului, cu stabilizator conic de tip C
	Anexa 4. Rezultatele cercetării stabilității arderii amestecului aer-gaz
	Anexa 5. Rezultatele puterii dezvoltate și consumului de gaz la ardere stabilă a
	amestecului aer-gaz
	Anexa 6. Proceduri de calcul al arzătoarelor
	Anexa 7. Brevet de Invenție. Certificat de prioritate a invenției. Principiul de
	dirijare automatizată a arzătorului de gaze.
	Anexa 8. Certificat de înregistrare a obiectelor ocrotite de dreptul de autor.
	Anexa 9. Acte de implementare a realizărilor teoretice și practice la
	producerea, montarea și exploatarea arzătorului cu putere variabilă.
	Anexa 10. Act de certificare al instalației - Certificat de Conformitate
	al arzătoarelor cu sarcină variabilă
	Anexa 11. Autorizație pentru implementare al arzătoarelor cu sarcină variabilă
	Anexa 12. Instrucția de instalare, funcționare și deservire tehnică a
	arzătorului cu sarcină variabilă de tip "Dava"
	Anexa 13. Certificat de evaluare a cercetărilor teoretice și practice a
	lucrării cu privire la optimizarea construcției și a regimului de funcționare a
	arzătoarelor instalatiilor de producere a energiei termice la producerea
	arzătorului de tip "DAVA", "RGG", SRL
	Anexa 14. Autorizație Tehnică la implementarea arzătorului de gaze naturale cu
	sarcină variabilă "DAVA" la obiectele industrial periculoase
	Declarația privind asumarea răspunderii
	CV al autorului

ADNOTARE

la teza "Optimizarea construcției și a regimului de funcționare a arzătoarelor instalatiilor de producere a energiei termice" prezentată de Vasile Daud, inginer, la specialitatea 221.01 "Sisteme și tehnologii energetice" pentru conferirea gradului științific de doctor în tehnică. Teza a fost perfectată la IE al AŞM, Chişinău, 2017.

Structura tezei: introducere, 4 capitole, concluzii și recomandări, 171 pagini text de bază, bibliografie - 187 titluri, 16 anexe, 57 figuri, 32 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 22 lucrări.

Cuvinte cheie: arzătoare de gaze naturale, amestec, omogenitate, aer-gaz, calitate, eficiență, instalație, randament, stabilitate, proces de ardere, sarcină variabilă, reglare putere.

Domeniul de studiu se referă la aspectele teoretice și practice de eficientizare al consumului de gaze bazată pe optimizarea construcției și a regimului de funcționare la sarcină variabilă.

Scopul și obiectivele lucrării constă în optimizarea construcției, a regimului de funcționare la sarcină variabilă întru reducerea consumului de gaze și a impactului asupra mediului ambiant. Obiectivele lucrării: analiza problemei sporirii eficienței arderii gazelor naturale; argumentarea metodei investigației; elaborarea metodei de calcul a arzătoarelor la sarcină variabilă; estimarea eficienței economice a tehnologiei elaborate.

Noutatea și originalitatea științifică - identificarea și realizarea unei soluții inovative de confecționare a arzătoarelor apte să funcționeze stabil și sigur la sarcini termice variabile; elaborarea metodei de calcul a arzătoarelor cu distribuție optimală a concentrației gazului în flacără; metoda de determinare a limitei de funcționare stabilă în dependență de valoarea vitezei calculate a amestecului, valorilor limitelor de pătrundere/rupere a flăcării.

Problema și importanța soluționării, semnificația teoretică. Actualitatea problemei este determinată de necesitatea sporirii securității energetice a țării prin sporirea eficienței transformării combustibilului gazos în tipurile de energie solicitate de consumatori. Semnificația teoretică este eterminată de utilizarea metodelor de analiză și simulare a proceselor de ardere în dinamică pe fundalul multitudinii de factori cu mecansme contradictorii de interacțiune. Metodologia de cercetăre a permis elaborarea metodei eficiente de calcul a arzătoarelor pentru instalațiile de generare distribuită la sarcină variabilă.

Valoarea aplicativă a lucrării - recomandările practice sunt orientate spre implementarea rezultatelor cercetărilor, care s-au materializat în forma unui soft integrat de calcul pentru determinarea parametrilor arzătoarelor apte să funcționeze eficient la putere variabilă și aplicat la proiectarea arzătoarelor de tip "DAVA", produse și implementate de către întreprinderea "RGG" SRL, mun. Chșinău.

6

ANNOTATION

For the PhD thesis "Optimization of the construction and operation regimes of the burners of the thermal energy production installations", 221.01 "Energy systems and technologies" presented by Vasile Daud, engineer, in order to confer to him the technical sciences PhD title. The dissertation was develop at the Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova, Chisinau, 2017.

Thesis structure: introduction, 4 chapters, general conclusions and recommendations, 171 pages of text, 187 bibliographical titles, 16 annexes, 57 figures. The results were publish in 22 scientific papers.

Keywords: natural gas burners, homogeneous air-gas mixture, quality, efficiency, installation, efficiency, stability, combustion process, variable load, power adjustment.

Area of study refers to the theoretical and practical aspects on efficiency of natural gas consumption in distributed generation heat plants, which is based on development and improvement of variable load gas burners.

Aims and objectives of the thesis. The aim of thesis is development and improvement of variable load gaseous fuel combustion technology aiming to reduce natural gas consumption and environmental impact.

Objectives are as follows: analysis of increasing natural gas combustion efficiency; method investigation arguments; development of calculation method of variable load gas burners; development of methods of air-gas mixture formation processes and algorithms for control of combustion processes in order to increase their effectiveness.

Scientific novelty and originality: finding an innovative solution of producing gas burners, which would be able to operate at the variable heat loads; development of method and experimental equipment for combustion process by substituting of natural gas with warm (hot) air; development of algorithm of gas burners and stabilizers with optimal distribution of gas in flame; development of automatic control system of variable load; algorithm of stability in combustion process and dependency of speed of excess air breaking/penetration of flame. Also, were proved a study on factors determining the concentration of gas main and significant interaction for obtaining gas concentration dependence of the flame. The gas concentration field structure in the flame was obtained to enhance the combustion process and rational construction of burners. 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 mathematical model developed constructive-technological parameters permits assessment of the burners. The research methodology has permitted to develop efficient method for calculating the natural gas burners for distributed generation plants with variable load. Based on the theoretical and experimental research on the combustion stability limits were determined the speed of flame penetration/ break. It is proved the efficiency of variable power burners. **Practical use of scientific results.** The practical recommendations are aimed at applying theoretical and experimental investigations that were conducted in an integrated program for the determination of variable power burner's parameters, to the design of gas burners family of "Dava", produced, and implemented by "RGG" LTD, Chisinau.

АННОТАЦИЯ

диссертации на тему "Усовершенстоование конструкции и режима работы горелок установос по производства тепловой энергии", по специальности 221.01 "энергетчетиские ситемы и технологии", автор Василе Дауд, инженер, на соискание ученой степени доктора технических наук. Диссертация написана при Институте энергетики Академии наук Республики Молдова, Кишинев, 2017.

Структура диссертации: введение, четыре главы, выводы и рекомендации, 171 страниц основного текста, библиография из 187 названий, 16 приложения, 57 фигур, 32 таблицы. Полученные результаты опубликованы в 22 статье.

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

Область исследования относится к теоретическим аспектам и усовершенствование конструкции газовых горелок и режима функционирования - переменной мощности.

Цели и задачи исследования - разработка и усовершенствование конструкции газовой горелки и режима функционирования с целью уменьшения объема потребляемого газа и воздействия на окружающую среду.

Цель: аналитическое изучение задачи эффективности и стабильности процесса горения; аргументация метода изучения; разработка методов расчета газовых горелок для работы в условиях переменной нагрузки.

Задачи: изучение однородности смесеобразования и стабильности горения при переменной нагрузке, разработка методов образования воздушно-газовой смеси, процессов и алгоритмов контроля процессов горения с целью повышения их эффективности.

Научная новизна и оригинальность – предъявление и реализация нового решения по производству горелок обеспечивающее, стабильность и надежность в работе в условиях переменной тепловой нагрузки; разработка методики эксперимента и установки для физической импровизации процесса горения путем замены газового топлива теплым воздухом; разработка методики по расчету газовых горелок и стабилизаторов обеспечивающие оптимальную концентрацию газа в пламени; метод по определению стабильности функционирования – приделы в проскоке и отрыве пламени горелки.

Проблема и важность решения, теоретическая значимость. Актуальность задачи исходит от необходимости повышения энергетической безопасности страны путем повышения эффективности переработки газового топлива в другие виды энергии. Теоретическая значимость - применение метода анализа и симулирования процесса горении при постоянной перемене значимых факторов с противостоящими механизмами взаимодействия.

Прикладное применение. Практические рекомендации направлены на применение теоретических и экспериментальных исследований, используемые при составлении интегрированной программы для расчетов параметров горелок переменной мощности при проектировании горелок типа "DAVA", рекомендованные для производства и внедрения предприятием "RGG" мун. Кишинэу

LISTA DE ABREVIERI

 α – coeficientul excesului de aer (calitatea amestecului);

a – coeficientul de difuzie a temperaturii în amestec, [*m/s*];

 C_a , C_g – respectiv, concentrația aer, gaz în amestec;

 C_{gaz} - costul gazului, [*lei/Nm*³];

D – coeficientul difuziei componentelor gazoase;

 $\Delta P'(i)$ - pasul de modificare a puterii arzătorului în momentul curent pentru intervalul următor, [kW];

 $\Delta P^{(i)}$ - modificarea puterii arzătorului în momentul curent, dependentă de canalul doi, [kW];

dQ - viteza de degajare a căldurii în reacția chimică de ardere;

G - criteriul Kohren al ipotezei despre omogenitate a dispersiilor;

 G_g , G_a – consumul masic de gaz, aer, kg/s;

h – distanța unui punct al flăcării de la axă, [*mm*];

 K_p – coeficientul de proporționalitate (numit de amplificare);

*K*_{tot} - coeficientul de transmitere generală de căldură, [*W*/*K*];

Narz - numărul de arzătoare;

 n_i – coefficientul stoichiometric al componentei *i*;

 NO_x , CO_2 , CO, O_2 , H_2O – componentele gazelor produse în rezultatul arderii gazelor naturale;

Pe - criteriul Peklet;

 P_{max} – puterea termică maximă a arzătorului, [kW];

 \boldsymbol{P}_{min} – puterea termică minima a arzătorului, [kW];

 P_w - puterea termică curentă a arzătorului, [kW];

q – căldura degajată în cadrul reacției, [kW. h];

 Q_I^i - consumul de căldură orar curent pe obiectul cu pierderi mici, [kW];

 Q_2^{i} - consumul de căldură orar curent pe obiectul cu pierderi mari, [kW];

 Q_3^i - consumul de căldură orar curent pe ambele obiecte la menținerea puterii constante, [*kW*];

 Q_{inc} - puterea termică a sistemului de încălzire, [kW];

 Q_{max} - sarcina de vârf de încălzire a obiectului, [kW];

R – raza graniței exterioare a flăcării în secțiune, [m];

- T^*_{tur} temperatura tur de referință la ieșire din cazan, [K];
- T_c perioada de discretizare a procesului de reglare, [sec];
- T_c temperatura agentului termic în cazan, [K];
- T_d coeficientul devierii variabilei de proces, [sec];
- *Tz_i* perioada de integrare, [*sec*];
- Ti, Te temperatura în interiorul și exteriorul obiectului, [K];
- T^{i-1}_{tur} temperatura tur precedentă la ieșire din cazan, [K];
- T^{i}_{tur} temperatura tur curentă la ieșire din cazan, [K];
- T_{ret} temperatura retur a agentului în cazane, [K];
- u_i viteza reacției într-un spațiu elementar, [m/s];
- *u_n* viteza normală de răspândire a flăcării, [*m*/*s*];
- V_o volumul teoretic de aer necesar pentru arderea completă a unei unități de măsura gazelor ($V_o = 9.54 [Nm^3 / Nm^3]$);
- V_g volumul gazului $[m^3]$;
- V_a volumul aerului $[m^3]$;
- V_{am}^{r} volumul instantaneu de amestec $[m^{3}]$;
- w viteza amestecului într-un punct al flăcării [m/s];
- w_m viteza medie a amestecului într-un punct al flăcării [m/s];
- w_p viteza medie a amestecului la pătrunderea flăcării [m/s];
- *wr* viteza medie a amestecului la ruperea flăcării [*m/s*];
- x(n), x(n-1),...x(1), x(0) setul de abateri de la referință pe toată perioada de integrare;
- x/D distanța de la ieșire din arzător, raportată la diametrul arzătorului;
- X_i concentrația componentei i;
- ΔC grad de stabilizare a concentrației gazului în amestec;

INTRODUCERE

Actualitatea temei

Utilizarea gazelor naturale în calitate de combustibil în raport cu alte tipuri de combustibil contribuie la îmbunătățirea calității producției, micșorarea consumului de energie primară, îmbunătățirea condițiilor sanitaro - igienice de producere și protecția mediului ambiant. Gazele naturale au o semnificație strategică [42,78,113], constituind una din sursele principale în domeniul energetic și un element esențial al aprovizionării cu energie primară.

Datele de statistică din Republica Moldova [3] confirmă că în ultimii ani consumul de gaze a scăzut ca volum, totuși fiind utilizat, în principal, la încălzire, la producerea de energie electrică, ca materie primă pentru industrie, carburant pentru automobile și în scopuri casnice (anexa1). În schimb în ultimii zece ani într-un ritm accelerat a condus la tendința de majorare a prețurilor la toate categoriile de combustibil, inclusiv cel gazos, crescînd și dependența de sursele energetice externe [6,9,37,39,42,69], lipsa de piață (monopolul unui furnizor) poate duce la consecințe imprevizibile pentru economia Republicii Moldova, prioritar sporirea dependenței securității aprovizionării cu surse energetice.

Este evident, că majorarea consumului de gaze naturale [3] ș. În plus, Republica Moldova se găsește, actualmente într-o poziție izolată în privința aprovizionării cu gaze, ca urmare a absenței legăturilor de infrastructură de domeniu cu alte țări.

Evoluția volumului, în deosebi evoluția prețului la gazele naturale constată o creștere colosală - de la 1188 lei /1000 m³ în anul 2002, pînă la 6221 lei /1000 m³ în anul 2015, (ceea ce constituie peste 500 %). Având în vedere importanța gazului în structura surselor de energie ale Republicii Moldova [36, 39], prezenta lucrare își propune să demonstreze consumatorilor de gaze naturale că există și alte căi de ameliorare a problemei gazelor naturale. Unul din factorii importanți la compartimentul consumul de gaze naturale, îl constituie instalațiile, tehnologia de ardere a gazelor naturale [11, 21,33,126].

Studiul și analiza instalațiilor, tehnologiei de ardere a gazelor naturale [52,69-73,76,77,96,103,104], principiilor de funcționare, criteriilor tehnice a instalațiilor-gaz aflate în uz actualmente la majoritatea întreprinderilor consumatoare de gaze naturale, de regulă include utilaje cu regim de funcționare constant - într-o singură sau două trepte.

De remarcat ca factor esențial tehnic neevaluat - incapabilitatea instalației de variere a puterii/ sarcinii, funcție de necesitățile curente de producție; preponderența principiului electromecanic în defavoarea celui electronic; consecutivitatea persistentă a sistărilor tehnologice, a purjărilor, invocînd un consum tehnologic sporit de gaze, creinduse și o

instabilitate tehnologică de funcționare urmată de - refuzuri tehnice, disproporția amestecului aer-gaze, ardere necalitativă, consum exagerat de gaze. Deservire dificilă, necesitatea reglării sistematice (manuală), alocații financiare suplimentare de exploatare, amprentele factorului uman la calitatea reglării; randament inferior, depășire tehnică a instalațiilor, regimului tehnologic de funcționare; risc sporit de deflagrații (avarii,accidente urmat de prejudicii materiale). Sinecostul sporit al producției autohtone, față de cea de import, pericolul dependentei exagerate de o singura piață de export la fonul creșterii prețurilor, și altele, toate ca element de prejudicii economice, sociale, toate acestea avînd calificativul de imperfecțiuni tehnico - sociale.

Este clar ca e imperativă problema reducerii cheltuielilor pentru resursele energetice, în general, și a gazelor în particular [3,24,36-39,41,42]. Însă acesta nu e posibilă prin micșorarea necesităților sau a prețurilor, care sunt strict dependente de piață.

O singură cale este - majorarea eficienței utilizării gazelor.

Studiul cercetărilor, lucrărilor de specialitate instalațiilor, tehnologiilor, de ardere a gazelor [1,43,44,48,51,52,63,66,68-73,76,77,80,83,93,103,104] relevă faptul, că o atenție importantă se acordă esenței fizice a procesului de ardere și anume, a pregătirii amestecului de aer-gaz, a transferului de căldură și de masă, în procesul de ardere a carburanților, care ar fi cheia spre succes.

Rezultatele studiului demonstrează că până în prezent se utilizează arzătoare cu un regim constant de funcționare într-o singură sau două trepte [43,52, 69-73,75-77,103,104,119,], pe când sarcina e variabilă.

O astfel de situație, constatată la etapa de patentare, o reflectă și studiul utilajelor existente și în alte țări - Italia, Germania, Polonia, România, Rusia, Ucraina, Republica Belorusă, Ungaria, Bulgaria, s.a., unde predomină, arzătoare cu același regim constant de funcționare (arzătoarele clasice, inclusiv arzătoarele de tipul Giersch, Weishaupt, Lamborghini, Riello, Ecoflam, GBL ș. a), avînd dotare mai puțin perfectă, de regulă doar pentru anumite etape, compartimente a proceselor tehnologice.

Problema formării amestecului aer-gaz și menținerea stabilității procesului de ardere în regimul de variere a puterii arzătorului, regretabil nu este examinată suficient nici în sursele bibliografice de specialitate.

Prin urmare, factorii expuși au determinat actualitatea investigațiilor, condiționând alegerea temei.

De aici rezultă și actualitatea științifică a rezolvării problemelor de majorare a randamentului instalațiilor de ardere a gazelor naturale în toate regimurile de funcționare, care

12

vor contribui la utilizarea eficientă a gazelor naturale combustibile și diminuarea poluării mediului ambiant.

Scopul lucrării și obiectivul general

Scopul lucrării constă în elaborarea și perfecționarea construcției arzătoarului 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 argumentrea, elaborarea și implemetarea soluției tehnice inovative de realizare constructivă a arzătoarelor de gaze naturale dotate cu stabilzatore apte să funcționeze stabil și eficient în diapazon estins de variere a sarcinii și a sistemului de comandă cu microprocesor pentru reglarea lentă a puterii termice a fiecăruii arzător montat în grup.

Obiectivele specifice ale lucrării:

Obiectivul 1. Analiza problemei arderii gazelor naturale și formularea problemei investigației

Objective specifice:

- identificarea factorilor cu cea mai esențială influență asupra eficienței procesului de ardere a gazelor naturale la producerea energiei termice;.
- analiza ansamblurilor de parametri utilizați pentru estimarea calității arderii combustibilului gazos și a metodelor de calcul al acestor parameteri;
- identificarea particularităților de ardere a gazelor naturale în dependență de tehnologia utilizată și selectarea modelelor și metodelor de analiză a stabilității flăcării și omogenității amestecului aer-gaze;
- formularea problemei studiului.

Obiectivul 2. Argumentarea și selectarea metodei de realizare a investigației în cadrul temei de cercetare.

Objective specifice:

- selectarea şi analiza modelelor cunoscute a proceselor de ardere calitativă pentru descrierea fenomenului de transformare a energiei combustibiliului în căldură;
- > analiza modelelor ce descriu cinetica gazelor în condiții de ardere completă;
- analiza metodelor şi procedeelor de calcul a câmpurilor de viteze şi câmpurilor de temperatură la arderea combustibilului gazos, inclusiv, la sarcini vareiabile;

- adaptarea metodelor de calcul a rezistenței gazodinamice a conductelor pentru cazul realizărilor constructive concrete a instalațiilor care funcționează la sarcini termice variabile;
- analiza procedeelor de asigurare a stabilității procesului de ardere, luând în considerare influența temperaturii pereților focarului și a schimbului de căldură între pereți și flacără, inclusiv, elaborarea algoritmului de calcul a diapazonului de stabilitate a flăcării.
- selectarea și argumentarea metodei de realizare a studiului poceselor de ardere întru sporirea eficienței producerii energiei termice.

Obiectivul 3. Elaborarea metodei de calcul a arzătoarelor gazelor naturale apte să funcționeze stabil la sarcini variabile termice .

Objective specifice:

- elaborarea şi argumentarea structurii instalaţiei experimentale (stand) privind studierea proceselor de ardere a gazelor naturale în instalaţiile termice;
- realizarea instalației experimentale de cercetare a calității amestecului şi a omogenității amestecului (ştand) pentru efectuarea cercet[rilor experimentale în cazul sarcinii termice variabile;
- elaborarea metodei de măsurare a omogenității amestecului aer-gaze la simularea fizică a procesului de ardere;
- cercetarea formării şi menținerii nivelului înalt a omogenității amestecului aer-gaz la sarcină termică variabilă; cercetarea experimentală a impactului factorilor, care influențează stabilitatea și calitatea procesului de ardere a gazelor.
- > analiza particularităților procesului de ardere a gazelor în cazul sarcinii variabile.
- vevaluarea rezultatelor cercetărilor (bibliografice şi experimentale) obținute şi estimarea posibilității aplicării lor la elaborarea arzătorului, inclusiv, a modalitților de implementare a arzătorului, elaborate în instalații tehnologice pentru generarea energiei termice la obiectele social-comunale, industriale şi la obiectele din sectorul energetic.
- elaborarea metodei de calcul a parametrilor arzătoarelor destinate pentru funcționare în instalații termoenergetice cu sarcină variabilă.

Obiectivul 4. 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

Objective specifice:

> elaborarea metodicii și algoritmilor de reglare a sarcinii arzătorului;

- verificarea experimentală a algoritmului şi procedeului de reglare continuă a puterii termice a instalației termoenergetice;
- elaborarea schemei de structură a regulatorului şi a modelului lui matematic. Verificarea robusteței şi a indicatorilor de calitate a regulatorului prin simulări matematice, întru argumentarea soluției optime de realizare constructivă;
- elaborarea metodicii şi algoritmi de distribuție a sarcinii pe un arzător din grup pentru centrale termice cu sarcină variabilă;
- estimarea efectului economic a utilizării tehnologiei elaborate de ardere a gazelor naturale;
- Recomandări privind proiectarea arzătoarelor şi sistemelor de reglare automată a instalațiilor termoenergetice cu sarcină variabilă.

Importanța teoretică și valoarea aplicativă a lucrării

Actualitatea problemei este determinată de necesitatea sporirii securității energetice a țării prin sporirea eficienței transformării combustibilului gazos în tipurile de energie solicitate de consumatori.

Semnificația teoretică este determinată de utilizarea metodelor de analiză și simulare a proceselor de ardere în dinamică pe fundalul multitudinii de factori cu mecansme contradictorii de interacțiune.

Metodologia de cercetăre a permis elaborarea metodei eficiente de calcul a arzătoarelor pentru instalațiile de generare distribuită la sarcină variabilă.

Noutatea și originalitatea științifică constă în:

- propunerea şi realizarea unei soluții inovative de confecționare a arzătoarelor de gaze naturale apte să funcționeze stabil şi sigur la sarcini termice variabile, protejată de brevet de invenție;
- elaborarea metodei și conceptului de realizare a echipamentului de simulare fizică a procesului de ardere prin substituiea gazului cu aer cald;
- elaborarea metodei de calcul a arzătoarelor şi stabilizatoarelor cu distribuție optimală a concentrației gazului în flacără;
- identificarea modelului matematic al regulatorului de tip PID pentru comandarea separată cu puterea de generare a fiecărui arzător din grupul instalației termice de generare distribuită la varierea aleatoare a sarcinii;

 metoda de determinare a limitei de funcționare stabilă după efectul pătrundere/rupere a flăcării arzătorului.

Valoarea aplicativă a lucrării:

- S-a constatat, cel mai semnificativ impact asupra calității și stabilității procesului de ardere a gazelor în instalațiile moderne tip de producere distribuită a căldurii este determinat de caracterul variabil al sarcinii și capacitatea arzătoarelor de funcționare stabilă la evoluția sarcinii termice..
- Omogenitatea amestecului şi stabilitatea flăcării este determinată de viteza de scurgere a amestecului aer-gaze din arzător, valoarea coeficientului de exces aer-gaze, caracterul mişcării amestecului, diametrul gurii arzătorului, realizrea constructivă a stabilizatorului şi alte particularități constructive, determinate de instalația termică.
- Utilizarea modelelor fizice a arzătorului pentru cazul problemei studiate are avantaje, deoarece modelele matematice sunt foarte sensibilitate la devierea valorilor coeficienților lor, de exemplu, a valorii numărului Reynolds cu 0,05% în ecuației Navier-Stokes în regim de turbulență, are ca urmare obținerea soluțiilor ce se deosebesc extrem de mult una de alta în zona valorii critice a numărului Reynolds.
- S-a elaborat metoda experimentală de cercetare a proceselor de formare a amestecului aer-gaz cu substituirea combustibilului gazos cu un flux de aer cald și monitorizarea cămpului repartiției vitezelor prin măsurarea concentrației cotei "gazului în flacără".
- Principalii parametri constructivi ai arzătorului care influențează asupra omogenității sunt: distanța de la gura arzătorului x/D; distanța de la axa gurii arzătorului h/R; produsul mărimilor x*h; parametrii constructivi ai stabilizatoarelor din arzător; viteza amestecului aer-gaz; unghiul de desfacere și lungimea flăcării.
- S-a selectat şi argumentat algoritmul de calcul a limitelor de stabilitate a procesului de ardere în baza fenomenului de pătrundere şi rupere a flăcării in/de la gura arzătrorului şi s-a propus algoritmul şi metoda de calcul a acetor mărimi, care se reduce la determinarea valorilor vitezei amestecului aer-gaz, excesului de aer α, vitezei medii a amestecului, dispersiei vitezei amestecului la ruperea flăcării.
- S-a elaborarea metoda și soft-ul de calcul a parametrilor arzătoarelor destinate pentru funcționare în instalații termoenergetice cu sarcină variabilă și schema de aplicare a arzătoarelor elaborate în minicentrale termice, care include algoritmul de reglare

descentralizată a puterii arzătoarelor la utilizarea regulatorului de tip PID cu două bucle de reacție inversă și modelul lui matematic 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.

S-a stabilit 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-a elaborat metoda şi algoritmii de distribuţie a sarcinii individuale a arzătoarelorasamblate în grup la centrale termice cu sarcină variabilă, având la bază următoarele criterii:

(1) numărul de arzătoare este limitat (2-10 bucăți);

(2) fiecare arzător permite reglare separată;

(3) monitorizrea permanentă a arzătoarelor pentru supravegherea gradului de uzură;

(4) substituirea automată a arzătorului la refuzul lui cu cel de rezervă;

(5) minimizarea acțiunilor de pornire/oprire prin asigurarea posibilității funcționării arzătoarelor la puterea termică minimală cu elaborarea și realizarea în formă de soft pe microcontroler a metodei și algoritmului de comandă (denumite de stare) cu funcționarea arzătoarelor asamblate în grup pentru un număr nelimitat de stări și sistemul de reglare automată adaptat la condițiile de funcționare a instalației la sarcini variabile.

- S-a elaborat structura şi s-a confecționat instalația pentru cercetarea experimentală a procesului de ardere la substituirea combustibililui gazos cu un flux de aer cald, metoda de cercetare experimentală a câmpului de repartiție a concentrației gazului în flacără și a influenței stabilizatoarelor asupra amestecului pentru mai multe tipuri de arzătoare cu puterea nominală 250 kW, 750 kW, bazată pe determinarea câmpului de temperaturi, măsurat de un ansamblu de traductori cu două grade de libertate, algoritmul de măsurare a omogenității amestecului, care 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 achiziționarea automată a rezultatelor măsurătorilor.
- S-a confirmat experimental cu aplicarea criteriilor Kohren, Fisher și Snedecor, că omogenitatea amestecului (pentru nivelul de încredere de 95%) este determinată de

mărimile: x/D - distanța de la gura arzătorului; h/R - distanța de la axa gurii arzătorului și x*h – interacțiunea lor și de realizarea constructiveă a arzătorului și stabilizatorului lui prin ce se asigură parametrii necesari ai gradulul de turbulență, vitezei de scurgere, vitezei de diminuare a câmpului concentrației gazului, unghiului de desfacere și lungimii flăcării. Alți factori luați in considerare la realizarea studiului se pot clasifica ca o grupă de factori nesemnificativi.

- Algoritmul și soluția 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 %.
- Efectul economic estimat (p.4.4) a utilizării regimului de funcționare la sarcină variabilă determinat prin sporirea calității arderii şi ținând cont de aria implementării curente s-a estimat la nivel de cca 100 mii lei/h, la un arzator cu putere medie 400 kW, 750 kW. În cazul centralelei 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 şi redusă) şi condițiile climaterice (sezon rece şi relativ cald).
- 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 sumplu de realizat și sunt mult apropiate de conidțiile de funcționare la sarcină variabilă (regim real) ale instlațiilor cu puterea termică 0.04 - 5 MW, utilizate pentru generare distribuită.

Implementarea rezultatelor obținute

Rezultatele cercetărilor teoretice și practice referitor la eficientizarea consumului de gaze naturale în instalațiile de generare distribuită a energiei termice avînd ca suport optimizarea construcției și a regimurilor de funcționare la sarcină variabilă întru reducerea consumului de gaze și a impactului asupra mediului ambiant. Implemetarea soluției tehnice inovative de realizare constructivă a arzătoarelor de gaze naturale dotate cu stabilzatore 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 fiecăruii arzător montat în grup urmată de

eficientizarea consumului de gaze în instalațiile de generare distribuită a energiei termice prin optimizarea tehnologiei formării și menținerea omogenității raportului de amestec gaz-aer în regimuri variabile ale sarcinii instalației pe baza perfecționării instalației, asigurînd procesul calitativ de ardere, implementat de către întreprinderea "Romanny Gaz Group" la producerea arzătorului cu sarcină variabilă de tip "DAVA" (p.3.5, Anexe 6 - 14). Arzătorul cu sarcină variabilă de tip "DAVA", care are ca bază recomandările expuse în prezenta lucrare este impelementată la un șir de obiecte din sectorul enegetic din Rep. Moldova (în orășelele Chișinău, Ialoveni, Orhei, Ungheni, Strășeni, Florești, Cantemir, ș.a.), includiv și la obiectele similare din Rusia, Ucraina.

Aprobarea rezultatelor

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 sistems 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 temă sunt publicate 22 lucrări științifice (din care 9 lucrări fără coautori), inclusiv patru articole publicate în reviste cu recenzare.

Lucrarea include: 4 (patru) capitolee:

1. Studiul arzătoarelor instalatiilor de producere a energiei termice prin ardere directă a gazelor naturale;

2. Metode de cercetare a proceselor de amestec aer – gaze pentru arderea gazelor naturale la sarcini variabile;

3. Metodologia cercetării experimentale a proceselor de amestec aer-gaze pentru arderea gazelor naturale în instalații la sarcini variabile;

4. Cercetarea procedeelor de eficientizare a consumului de gaze în instalațiile de generare distribuită a energiei termice la sarcină variabilă;

Concluzii generale și recomandări; Bibliografie 187 titluri; 176 pagini text de bază; 57 figuri; 32 tabele; Anexe 16, inclusiv declarația privind asumarea răspunderii, CV-ul autorului.

La susținere se prezintă:

1. Construcția și principiul de formare și de menținere omogenă a raportului gaz-aer în regimuri variabile ale sarcinii arzătoarelor. (Potențată cu Brevet de Invenție MD 1908 G2 Int. CI.: F 23 N 1/02, 5/02, din 2002. 04.03. BOPI nr. 04/2002, Agenția de Stat pentru Proprietatea Intelectuală (AGEPI), Anexa 7).

2. Programul de calcul al parametrilor arzătorului cu sarcină variabilă. (Operă științifică. Certificat de înregistrare a obiectelor ocrotite de dreptul de autor și drepturile conexe, seria OŞ nr. 1667/1634 din 10.07.2007, p. 2.6, Anexa 6,10.).

3. Principiul de reglare mixtă prin două canale și ecuațiile de reglare automată a puterii arzătoarelor cu sarcină variabilă (p. 4.1.) și Metodica de control a puterii grupului de arzătoare cu puteri variabile în condiții arbitrare de funcționare, (p. 4.3.).

4. Valorificarea rezultatelor cercetărilor teoretice, experimentale, implementare referitor la eficientizarea consumului de gaze în instalațiile de generare distribuită a energiei termice prin optimizarea tehnologiei formării și menținerea omogenității raportului de amestec gaz-aer în regimuri variabile ale sarcinii instalației pe baza perfecționării instalației, asigurînd procesul calitativ de ardere, implementat de către întreprinderea "RGG" la producerea arzătorului cu sarcină variabilă de tip "DAVA" (p.3.5, Anexe 6 - 14).

Capitolul 1. STUDIUL ARZĂTOARELOR INSTALATIILOR DE PRODUCERE A ENERGIEI TERMICE PRIN ARDEREA DIRECTĂ A GAZELOR NATURALE COMBUSTIBILE

1.1. Caracteristica generală a problemei investigației

Asigurarea cu energie constituie o problemă fundamentală și complexă pentru dezvoltarea durabilă a economiei și societății. Soluționarea acestei probleme are la bază diferite abordări, ca valorificarea eficientă a resurselor și surselor tradiționale și netradiționale de energie, sporirea performanței tehnologiilor de conversie și de transformare a parametrilor energiei destinate pentru utilizare, care la general, se axează pe filiera sporirii eficienței energetice. Sporirea eficienței energetice este în prezent recunoscută în calitate de prioritate privind soluționarea problemei asigurării durabile cu energie [3,6,9,24,25,36-39,41,42,78,113].

Prognozele dezvoltării energeticii până în anii 2040-2050 [78,113] indică la faptul, că asigurarea cu energie se va baza pe sursele traditionale de energie si componenta gazelor naturale în balanța energetică va ocupa o cotă majoră. Din altă parte, se observă o tendință nouă în sectorul pieței resurselor primare energetice - dezvoltarea tehnologiilor de extragere a gazelor de șist și sporirea cotei acestor gaze pe piață [6]. De exemplu, producerea de gaze de șist în SUA a crescut în perioada anilor 2007-2013 de la 40 mlrd. m.cub.până la 250 mlrd. m.cub (peste 600 %). Doar aceste informații succinte și destul de generale ne sugerea ipoteza privitor la menținerea cotei semnificative în balanța energetică a combustibilului gazos. Urmare a acestor constatări, se prognozează menținerea poziției combustibilului gazos în producerea energiei la un nivel semnificativ, care nu va fi substituit complet în viitorul apropiat de către alte tipuri de resurse energetice, de exemplu, de către sursele regenerabile. Deoarece se prognozează creșterea consumurilor brute de resurse energetice pe viitor [6,39] șiexistența a mai multor constrângeri privind accesul la resursele tradiționale condiționate de amplasarea lor geografică, condițiile climaterice și intensitatea specifică scăzută a resurselor regenerabile, se prezintă foarte argumentată poziția de conversie eficientă a resurselor energetice primare în tipurile de energie solicitate de consumatori: energie electrică șienergie termică.

Vom menționa că în lanțul de transformări a energiei în altă formă este în majoritatea cazurilor imposibil de ocolit faza de producere a energiei termice. Producerea energiei termice se bazează pe procesele de oxidare a substanțelor chimice, care tehnic sunt numite procese de ardere. Deoarece la arderea combustibililor fosili se produc substanțe nocive ce poluează mediul va rămâne actuală pe viitor și problema diminuării emisiilor acestor substanțe în atmosferă. Gazele emise în atmosferă au primit denumirea de gaze cu efect de seră (GES). Din tipurile de combustibili fosili utilizate astăzi la producerea energiei se consideră, că cel mai mic impact negativ asupra atmosferei îi revine combustibilului gazos, preponderent gazelor naturale combustibile [38,39].

Complexitatea problemei asigurării durabile cu energie și a protecției mediului necesită noi modalități de abordare privind promovarea tehnologiilor eficiente de conversie a resurselor energetice primare în forme utile de energie solicitate de către consumatorul final. Deoarece în

balanța energetică a Republicii Moldova gazele naturale constituie cca. 35,4 % (balanța energetică a anului 2013 [3,39]), se prezintă evidentă problema utilizării lor eficient la producerea energiei, inclusiv, problema optimizării proceselor de ardere. Sporirea eficienței energetice prin prisma optimizării proceselor de ardere a gazelor naturale se poate asigură în baza unei cunoașteri mai profunde a teoriei de ardere, mecanismelor, tehnologiilor și a instalațiilor respective ce asigură procesele de ardere. Procesele de ardere sunt influențate de o multitudine de factori cum sunt: raportul aer-gaze, timpul de formare a amestecului aer-gaze, omogenitatea amestecului, condițiile de aprindere a amestecului, stabilitatea procesului de ardere, viteza de propagare a flăcării, construcția arzătoarelor, principiul de funcționare a instalațiilor clasice de ardere, stabilitatea sarcinii e.t.c.

Identificarea factorilor cu cea mai esențială influență poate permite soluționarea problemei sporirii eficienței utilizării gazelor naturale la producerea energiei prin propunerea și elaborare de noi procedee [31] și echipamente sau componente inovative ale instalațiilor de ardere. Soluționarea problemei sporirii eficienței obținerii energiei prin arderea gazelor naturale trebuie să se bazeze pe cunoașterea profundă a proceselor de ardere pentru condiții prestabilite de producere a energiei termice prin arderea gazelor naturale, îndeosebi la funcționarea centralelor termice la sarcini variabile.

Probleme tehnice și tehnologice privind arderea gazelor naturale, mecanisme fizicochimice a procesului de ardere a combustibilului gazos. Arderea gazelor naturaleconstituie un proces rapid de oxidare la temperaturi înalte, ce include atât aspecte ce se referă la proceselor chimice clasice, cât și aspecte ale fenomenelor fizice ce se referă la transferul de masă și energie. Complexitatea proceselor de ardere este determinată atât de caracterul neomogen al repartiției produselor inițiale și a produselor de ardere în zona de ardere, cât și de varietatea câmpului de temperaturi ce se formează în această zonă. Totodată, pentru zona în care se produce arderea este caracteristică o instabilitate în mediul format de produsele ce asigură arderea, condiționate de turbulențele din această zonă. Turbulențele sunt condiționate de mișcarea maselor de gaze naturale, a aerului și a produselor de ardere sub acțiunea câmpurilor dinamice de presiune și temperatură. Astfel, ca o particularitate esențială a procesului de ardere a gazelor naturale se poate considera micșorarea rapidă a concentrației substanțelor inițiale (combustibilului și oxidantului) în zona frontală a flăcării, și ca urmare în această zonă se observă creșterea accelerată a concentrației produselor de ardere.

Pentru a se realiza procesul de ardere a gazelor,ținând cont de recomandările din lucrările de specialitate [1,45,46,49,80,81,83,97,105,112,115,123-125,127,128,140,165] trebuie să se satisfacă următoarele condiții:

1. Să se asigure o cantitate suficientă de oxidant (aer) cu crearea unui amestec aer-gaz cât mai omogen.

2. Conținutul amestecului de aer-gaz trebuie să fie în limitele concentrațiilor de aprindere a combustibilului.

3. Existența aprinzătorului pentru asigurarea aprinderea amestecului aer-gaz.

4. Asigurarea inițială a valorii necesare a temperaturii amestecului aer-gaze cu scopul

creării condițiilor sigure de aprindere a acestui amestec în zona de ardere.

În conformitate cu teoria modernă de ardere a gazelor, dezvoltată de N. Semeonov, I.B. Zeldovici, e.t.c. [89,97,100,105,116,124,125,127,136], arderea se produce în forma unui lanț de reacții chimice, iar ca rezultat în zona de ardere apar atomi liberi, radicali și alți compuși chimici instabili, ce au o reactivitate chimică înaltă. Aceste substanțe chimic active, intrând în reacție cu substanțele inițiale, formează produsele de ardere, și alți compuși intermediari chimic activi.

Procesul inițial de formare a compușilor activi din substanțele de bază (combustibil și oxidant) este denumit "demarare a lanțului de reacție" și prezintă un proces omogen. În rezultatul interacțiunii substanței active deja existente cu substanțele inițiale, acest proces derulează în lanț cu formarea a noi substanțe (centre) active și astfel, se accelerează reacția de ardere. Deci, arderea este un proces complex ce derulează în lanț și pe etape cu formarea atât a compușilor stabili, cât și a celor instabili [1,48,51,80,84, 89, 90, 105,107,120,134,160].

Un parametru important al procesului complex de ardere a gazelor naturale îl constituie viteza reacției chimice, care reflectă intensitatea procesului și se caracterizează prin varierea concentrației substanțelor într-o unitate de timp.

În conformitate cu legea maselor active, viteza oricărei reacții chimice depinde de concentrația substanțelor ce participă în reacția chimică reactive și de temperatura lor. Pentru formarea produselor de ardere este necesară disocierea moleculelor substanțelor inițiale, deci depășirea forțelor de legătură intermoleculară. Ca urmare, pentru ca reacția să aibă loc, este necesară o anumită energie de activare, care se consumă pentru ruperea legăturilor intermoleculare ale substanțelor inițiale.

Dependența vitezei reacției de temperatură este descrisă de legea lui Arrenius [80,87,99,123,] conform căreia viteza reacțiilor chimice crește cu temperatura. Conform legii lui Arrenius viteza reacțiilor chimice se dublează la creșterea temperaturii cu 10⁰C.

Un alt factor important al mecanismului de ardere a gazelor naturale îl constituie raportul stoichiometric al procesului de ardere:

$$C_mH_n + (m+n/4)(O_2 + 3,76 N_2) = mCO_2 + (n/2)H_2O + 3,76 (m + n/4)N_2,$$
 (1.1)

unde:

m – numărul de atomi de carbon într-o moleculă de gaz; n - numărul de atomi de hidrogen întro moleculă de gaz; 3,76 – raportul teoretic dintre N₂ și O₂ în aer.

O caracteristică de bază a proprietății de ardere este căldura de ardere, deci numărul de <u>unități</u> de <u>căldură</u> degajate prin <u>arderea</u> completă a unei unități de masă de <u>combustibil</u> în condițiilestandard prevăzute. Unitatea de masă poate fi <u>molul</u>, <u>kilogramul</u> sau metrul cub normal.

Alte caracteristici termotehnice ale gazelor sunt: volumul de oxigen de ardere completă; cantitățile de produse de ardere; concentrația de CO₂ în produsele de ardere.

În tabelul 1.1 sunt prezentate valorile acestor caracteristici ale celor mai răspândite gaze naturale.

Denumirea gazelor	Căldura calorică inferioară, <i>kj/Nm³</i>		Volum de oxidant Nm^3 la 1 Nm^3 de gaz		Volum de produse Nm ³ la arderea 1 Nm ³ de gaz		Concentrația maximă de CO ₂ , la arderea gazului în
	max	min	O ₂	aer	uscate	umede	
Metan CH4	9510	8670	2	9,52	8,52	10,52	11,74
Propan C3H8	24100	22190	5	23,8	21,8	25,8	13,76
Butan C4H10	31490	29080	6,5	30,9	28,44	33,44	14,06

Tabelul 1.1. Concentrația volumică de CO₂ în produsele de ardere

Formarea amestecului.O condiție obligatorie a procesului de ardere este formarea amestecului de combustibil gazos și aer (oxidant). Procesul de formare a amestecului aer-gaz influențează asupra tuturor subproceselor ce caracterizează consecutivitatea transformării energiei chimice a combustibilului în căldură. De menționat, că datorită temperaturii înalte în zona de ardere, timpul de derulare a reacției chimice de ardere este cu mult mai mic ca timpul de formare a amestecului aer-gaz.

Procesul de formare a amestecului aer-gaz este determinat în mare măsură de structura aerodinamică a fluxului de gaze și aer. Modalitatea de interacțiune ale fluxurilor de gaze și aer utilizată în instalația de ardere este foarte importantă pentru procesele de formare a amestecului aer-gaze.

Cea mai simplă modalitate de formare a amestecului este injectarea în fluxul de aer a gazelor naturale cu ajutorul unui ansamblu de jeturi.

Cantitatea de masă în mișcare într-o unitate de timp, conform [45,51-53,57-59,140,148,165,185], este constantă în toate secțiunile jetului unitar, datorită faptului, că presiunea statică rezultantă a impulsului forțelor externe este egală cu zero. Fluxul de gaze rezultant se prezintă ca un ansamblu format din fluxuri de gaze elementare injectate independent de fiecare jet unitar în fluxul de aer. În baza acestei ipoteze se poate formula ideea, că fluxul de gaze naturale injectat în aer este efectuat de jeturi unitare independente cu același profil a vitezelor de scurgere în secțiuni, deci se poate constata o similitudine a câmpului de viteze în spațiul de formare a amestecului (figura 1.1), [45] care se descrie prin următoarea relație:

$$w/w_m = f(h/R) \tag{1.2}$$

unde :

w – vitezalocalăde scurgere la distanța h de la axa fluxului de gaze;

 w_m – viteza de scurgere pe axa fluxului de gaze;

h – distanța de la axa fluxului de gaze în scurgere;

R – raza fluxului în scurgere.



Fig. 1.1. Injectarea periferică a fluxului de gaz în fluxul de aer.

Relațiile ce descriu schimbarea (micșorarea) valorilor temperaturii și vitezei în direcția de scurgere a fluxului aer –gaz în zona de arderereflectate în [136] includ:

$$w_m/w_0 = \frac{0.48}{ax/D + 1.45} \tag{1.3}$$

$$T_m/T = \frac{0.35}{(K_T/K_w)(ax/D) + 0.145}$$
(1.4)

unde:

*w*_o- viteza gazelor în secțiunea de ieșire a jetului;

 w_m – viteza pe axa secțiunii;

a – coeficientul structurii jetului, care reflectă turbulența și neuniformitatea câmpului de viteze;

x – distanța de la secțiunea orificiului;

D – diametrul orificiului;

 K_T - coeficientul câmpului de temperatură la ieșirea din orificiu;

 $K_w = w_0/w_m$ - coeficientul câmpului de viteze la ieșirea din orificiu.

Aceste relații pot fi utilizate la estimarea procesului de formare a amestecului prin determinarea distribuției concentrațiilor componentelor pe axa jetului [2,16,46,48].

În [48-53,52,134,181] se demonstrează, că câmpul temperaturilor corespunde câmpului vitezelor, iar relațiile descreșterii temperaturii și vitezei în direcția axei jetului de gaz pot fi utilizate la evaluarea procesului de formare a amestecului prin determinarea distribuției concentrațiilor componentelor pe axa jetului [45].

Cercetările privind structura aerodinamică a fluxurilor de gaze [50,79,81,90] expun, că traiectoria de derulare a procesului de amestecare în jeturi rotitoare a maselor de aer și de gaze depășește lungimea traiectoriei similare în cazul scurgerii fluxul rectiliniu, ceea ce înseamnă o extindere semnificativă a căii de amestecare a gazelor, prin ce și se asigură condițiile pentru care jetul va putea transporta impulsul de mișcare, componentele și căldura dintr-un strat în alte

straturi mai îndepărtate, ceea ce înbunătățește calitatea procesului de amestecare a gazelor.

Din aceste considerente, în majoritatea arzătoarelor, se utilizează procedee de rotire a fluxului de aer, care provoacă rotirea fluxurilor de gaze trecute prin jeturile de injecție. Însă, în acest caz, alegerea tipului de generator de turbionare (turbulator) și parametrii lui geometrici este foarte complicată.

Cercetările profesorului Ahmedov R.B. [52] s-au soldat cu rezultate generalizatoare. S-a demonstrat, că intensitatea de rotire este determinantă pentru toate caracteristicile fluxului rotit de unghiul de deschidere a flăcării φ , lungimea relativă a flăcării - L_f/d etc.

În practică, reglarea parametrilor și caracteristicilor flăcării, de exemplu, cele mai semnificative pentru asigurarea calității arderii ca: lungimea, unghiul de desfacere, luminozitatea, zona de temperaturi maxime ce se pot realiza prin modificarea parametrilor ce caracterizează dinamică procesului formării amestecului aer-gaz. Aceasta se poate realiza [45] prin schimbarea procedeului de injecție a gazului în fluxul de aer: injecția în zona de periferie (figura 1.1) și injecția în zona axei orificiului jetului (figura 1.2). Se poate influența asupra procesului și prin selectarea și utilizarea tipului de interacțiune a fluxului de gaze trecut prin jetul de injecție cu fluxul de aer, de exemplu: interacțiune echicurentă, perpendiculară sau contracurentă.



Fig. 1.2. Injecția gazelor în zona axei orificiului jetului.

Pe de altă parte, la arderea gazelor se evidențiază două scheme diverse de amestec a gazelor cu aerul: schema de ardere a amestecului omogen, format preliminar (flacără omogenă); schema de ardere a gazelor în proces de formare a amestecului (flacără difuzională).

Schema a doua (Fig. 1.2) este una din cele mai frecvent utilizate. Acest procedeu a fost cercetat de către mai mulți savanți și există multiple publicații științifice cu expunerea rezultatelor cercetărilor. Totuși în aceste publicații[45,52] nu sunt elucidate și soluționate complet toate problemele care se identifică pentru acest tip de schemă de formare a amestecului aer-gaz, inclusiv procesele de amestec cu caracter turbulent ce derulează în zona care are loc arderea, lipsa unui model de efectuare calculelor precise (aspectul cantitativ) a proceselor de ardere (fiind doar determinarea vitezei relative de propagare a flăcării), consecințele gradului mai mic de rotire a torentului, exactitatea tuturor factorilor ce influențează coeficientul rezistenței hidraulice, lipsa unei metode unice de calcul a rezistenței hidraulice, gradului de menținere a

amestecului, în particular la stabilitatea procesului de ardere la varierea sarcinii, estimarea rolului și caracterului influenței fiecărui parametru asupra calității procesului de ardere, a intensității radiației flăcării de la luminozitate precum și identificarea procedeelor de intensificare a lor, lipsa recomandărilor privind proiectarea instalațiilor de ardere de performanță înaltă, neelucidarea principiului de autostabilizare (autoadaptare) a regimului optim de funcționare a instalației termice, reieșind de la parametrii agentului termic din tur-retur al sistemului.

Fenomenul de turbulență în fluxul aer-gaz se prezintă ca cel mai semnificativ factor de influență pentru procesul de asigurare a omogenității amestecului la utilizarea jeturilor de gaze rectiliniu și celui rotit în procesul de formare a amestecului[45].

Semnificația fenomenului este determinată de faptul, că calitatea de ardere a gazelor este determinată de către intensitatea interacțiunii moleculelor de gaze și a oxidantului, care influențează și asupra vitezei de propagare a flăcării, precum și asupra intensificări transferului de masă și căldură în zona de ardere.

Cunoașterea structurii turbulente ale fluxurilor de aer și gaze [45] permite de a evidenția posibilitățile de intensificare a procesului de ardere și construirea rațională a arzătoarelor și focarelor instalațiilor de producere a energiei termice. Jetul cu rotirea fluxurilor [45]se deosebește de cel direct prin următoarele:

• jeturile cu flux rotit au un unghi de extindere mai mare și o lungime mai mică de pătrundere;

• apare fenomenul de «rupere» a vitezei axiale, care la rotire puternică se transformă în jet cu direcție contrasens.

În practică este larg utilizată interacțiunea perpendiculară a fluxului jetului de aer cu fluxul jetului de gaze (figurile 1.1, 1.2). De asemenea, pentru aceste structuri au fost efectuate multiple cercetări, din care se evidențiază [45,47, 90,91,133,106].

În aceste lucrări s-au obținut rezultate, care permit determinarea distanței de pătrundere a fluxului de gaze din jetul de injecție în fluxul de aer (fig. 1.3), [47].



Fig. 1.3. Schema de interacțiune a fluxului de aer cu gazele naturale injectate.

Este validat faptul, că cele mai bune condiții de amestecare aer-gaz sunt atunci, când jetul de gaz este amplasat în zona vitezelor maxime ale curentului de aer.

Calitatea procesului de amestecare a gazului cu aerul (oxidantul) [44,48,83,44,87] și estimarea gradului de finalizare a procesului de amestecare în focar a fluxurilor de gaze si aer în regim de scurgeri în curent se face prin utilizarea parametrului χ - intensitatea transferului de masă, inclusiv distribuția componentelor inițiale în flux. Acest parametru a fost numit de către autori [44,48,83,87] "*nivel de amestecare incompletă*" și se prezintă [48] prin relația:

$$\chi = \frac{1}{2G} \sum \frac{(C_i - C_{med})}{C_{med} (1 - C_{med})} \cdot (\omega \rho f)_i$$
(1.5)

unde:

G-consumul general de amestec aer-gaz;

 C_i , C_{med} – concentrația masică locală și medie a gazului în amestec;

 $(\omega \rho f)_i$ – cantitatea de amestec ce trece printr-o suprafață elementară f_i .

Parametrul χ variază în limitele (0...1), iar valorile extreme prezintă următoarele stări:

 $\chi = 0$, - gazul este amestecat complet cu aer;

 χ = 1, - amestecul aer-gaz lipsește complet.

Parametrul "*nivel de amestecare incompletă*" și are o importanță semnificativă pentru realizarea practică a arzătoarelor, însă trebuie de menționat, că rezultatele sunt valabile numai pentru zone ce se află la o distanță mare de deschiderea arzătorului [44,47,83,133].

Metodele de calcul ce se referă la procesul formării amestecului aer-gaz, practic sunt bazate pe ideea de pătrundere a gazelor din jetului de injecție în fluxul de aer și permit estimarea cantitativă a procesului de amestecare în arzătoare. Însă efectuarea calculului ingineresc pentru proiectarea sau alegerea arzătoarelor este posibilă numai dacă se ține cont și de formarea amestecului în focar, ce are o influență semnificativă privind dinamica derulării acestor procese.

Problemele fundamentale ce se referă la domeniul de cercetare ale proceselor de amestecare aer-gaz prezintă formularea unor concepții bazate pe esența fenomenelor reale (fizice) a derulării proceselor examinate pentru condiții concrete preselectate sau impuse deja în caietele de sarcină formulate de solicitanți sau beneficiari. Aceasta prevede determinarea rolului și caracterului influenței fiecărui parametru, căutarea și argumentarea procedeelor și soluțiilor de intensificare a lor.

Aceste probleme pot fi rezolvate experimental:

- studierea proceselor în dispozitive tip realizate pe diverse scheme simple de ardere;
- studierea proceselor în arzătoarele fabricate în serie.

În primul caz se asigură atât dezvoltarea teoriei arderii gazelor, cât și a procedeelor de proiectare și tehnologiilor de confecționare a arzătoarelor bazate pe inovații.

A doua modalitate este utilizată pentru modernizarea arzătoarelor existente.

De regulă, în ambele cazuri metodele de cercetare se bazează pe un jet de amestec cu profil constant sau în cel mai bun caz a cărui profil este format în 2-3 trepte. În realitate, pentru asigurarea putereii arzătorului la sarcina dinamică, variația profilului jetului de gaz trebuie să fie continuă. La sarcină dinamică pentru asigurarea stabilității și calității procesului de ardere se

prezintă ca condiție obligatorie necesitatea adaptării profilului jetului de gaz la caracterul varierii sarcinii, ceea ce prezintă o problemă tehnică complexă și dificilă. Pentru a satisface prevederile acestei condiții este necesar de cunoscut în dinamică parametrii ce caracterizează procesul de ardere la care se asigură condițiile de stabilitate și calitate sau valorile marginale de limită (de sus și de jos) a parametrilor principali ce determină calitatea arderii amestecului de gaze și aer. Aceasta constituie o condiție necesară pentru determinarea și argumentarea procedeului de dirijare cu regimul de ardere bazată pe cunoașterea fizicii procesului concret de ardere și a rezultatelor multiplelor testări experimentale ale diferitor variante de realizare constructivă a arzătoarelor.

Din acestea rezultă necesitatea de colectare și procesare automatizată a datelor experimentale în procesul de amestecare a gazului cu aerul pentru utilizarea lor în scopul asigurării condițiilor necesare pentru menținerea arderii calitative a gazelor naturale.

1.2. Aprinderea amestecului de gaze și viteza de propagare a flăcării

Este bine cunoscut faptul că aprinderea amestecului de gaze se face pe două căi:

 autoaprindere, deoarece în anumite condiții are loc autoaccelerarea reacției chimice de ardere;

• aprinderea forțată, deoarece în amestec se intervine cu o sursă de căldură, temperatura

căreia poate forma și asigura condiții de apariție ale centrelor active în rezultatul pierderii echilibrului în moleculele substanțelor inițiale.

Procesul de aprindere are loc în anumite limite ale valorilor ansamblului de parametri ce caracterizează starea mediului din zona de aprindere în afara cărora nu se petrece aprinderea amestecurilor. Astfel de situații apar în cazurilor, când operăm cu amestecuri foarte sărace ori foarte bogate. Este important, ca amestecul aer-gaz să fie cât mai omogen și să satisfacă condițiile de aprindere. De exemplu, pentru metan concentrația gazului trebuie să fie între 5,5 ... 40 % [47, 89, 93,97,140,150,173], pentru că amestecul aer-gaz să poată fi aprins.

Un alt factor important, care influențează aprinderea este temperatura amestecului. Oxidarea gazelor, în principiu, se poate efectua și la temperaturi mici, însă procesul de oxidare este în aceste condiții lent din cauza vitezei foarte mici a reacției chimice. La ridicarea temperaturii viteza de oxidare crește, și, continuând ridicarea temperaturii se ajunge la autoaprindere. Temperatura de aprindere a amestecului nu este un parametru univoc din cauza, că ea depinde de alți factori, ca raportul aer-gaz în amestec, presiunea și modul de amestecare.

În practică se utilizează mai des aprinderea forțată, care nu cere încălzirea amestecului întreg – este suficient de aprins amestecul rece într-un punct (volum restrîns) cu un aprinzător localizat (sursă de aprindere): scânteie electrică, corp incandescent sau produse de ardere incandescente, spre exemplu, de la o flacără suplimentară numită flacăra – pilot. Procesul de aprindere se răspândește în volumul de amestec cu o anumită viteză, care se numește viteză de propagare a flăcării (sau a frontului flăcării) în amestecul de aer-gaz. Acest parametru determină, atât condițiile de ardere, cât și stabilitatea procesului de ardere.

Procesul de propagare a frontului flăcării în strat (curent de flux) laminar sau turbuionar decurge în mod diferit. În primul caz aprinderea depinde preponderent de caracteristicile

moleculare ale amestecului, iar în al doilea – de proprietățile fluxului turbionar.

La elaborarea teoriei răspândirii flăcării [80,81,115,114, 125, 136,142] un rol important au avut cercetările lui Zeldovici I.B., Șkelkin K.

Din rezultatele studiului bibliografic de specialitate rezultă, că încălzirea amestecului aergaz duce la ridicarea vitezei de propagare a flăcării, iar creșterea presiunii statice în apropierea pereților canalului conduce la micșorarea vitezei de propagare a flăcării.

Influența turbulenței asupra răspândirii flăcării este foarte complexă și la moment nu există o concepție unică acceptată despre procesele ce derulează în zona de ardere cu caracter turbulent. Mecanismul de propagare a flăcării nu este elucidat în toate detaliile și din această cauză nu se poate de efectuat calcule precise (aspectul cantitativ) a proceselor de ardere. Situația în acest domeniu este de așa fel, că este posibilă doar efectuarea calculelor ce permit doar de a determina viteza relativă de propagare a flăcării [63,120,124,139].

La proiectarea arzătoarelor viteza de propagare a flăcării prezintă un parametru foarte semnificativ pentru a determina dimensionarea și asigurarea performanței energetice a arzătorului și a instalațiilor în care aceste arzătoare se utilizează. Rezultatele cercetărilor experimentale din domeniul examinat a multor autori [120,124,139], denotă faptul, că o influență semnificativă asupra valorii vitezei de propagare a flăcării o au gradul de turbulență creat de arzător în amestec, precum și viteza normală de propagare a flăcării.

Luminozitatea flăcării și transferul radiant de căldură.

La arderea combustibilului gazos se formează o flacăra cu o diversă luminozitate, gradul căreia depinde de modul de organizare (procedee, tehnici, tehnologii) a procesului de ardere și poate să se schimbe în limite largi, și ca consecință, se schimbă condițiile transferului de căldură. Aceste probleme au fost bine cercetate și formulate referitor la focarele cazanelor [102]:

1) la aceeași temperatură, flacăra cu o luminozitate mai mare are o radiație mai intensivă a fluxului de căldură generat;

2) arderea gazelor cu o flacără de o lungime mai mare crează și o temperatură mai înaltă, însă temperatura maximă se află mai aproape de deschiderea arzătorului.

În literatura de specialitate [94,97,102, 121, 124,131,132,155,162,174,184] se mai constată și alte aspecte cu caracter contradictoriu, precum că: dacă luminozitatea flăcării se păstrează pe toată lungimea focarului, atunci radiația va fi mai intensivă în raport cu flacăra neluminoasă, iar răcirea produselor de ardere va fi mai rapidă.



Fig. 1.4. Distribuția temperaturii pe lungimea focarului.

În figura 1.4,[94] este prezentată dependența temperaturii flăcării de lungimea ei pentru cazurile cu flacără luminoasă (a) și respectiv pentru cazurile cu flacără neluminoasă (b).

În aceste condiții curbele se intersectează de două ori: aproape de T_{max} (p₁) și în apropiere de ieșirea din focar (p₂).

Dacă lungimea focarului $L_f < L_2$, atunci flacăra mai luminoasă va crea o temperatură mai înaltă, iar la îndeplinirea condiției $L_f > L_2$ – se va obține un rezultat invers.

Aceasta confirmă faptul, că raportul între temperatura gazelor la ieșirea din focar și temperatura maximă a flăcării luminoase poate fi diferit în dependență de localizarea (amplasamentul) maximului de temperatură în volumul focarului ocupat de flacăra luminoasă.

În [94,102] se accentuează, că raportul valorilor temperaturii gazelor la ieșirea din focar și a temperaturii maximale în flacăra luminoasă poate fi diferit în funcție de localizarea (amplasamentul) maximumului de temperatură în volumul focarului ocupat de flacăra luminoasă.

Totodată, unele cercetări [94,133] constată existența și a altor raporturi privind parametrii ce caracterizează procesul de ardere în focar. Astfel, este depistat regimul pentru care flacăra scurtă neluminoasă are pe toată lungimea ei o temperatură mai înaltă. S-a lansat ipoteza, că o temperatură mai înaltă a gazelor de ardere provoacă pierderi mai mari de căldură cu gazele de ardere și ca rezultat are loc un transfer util de căldură mai mic. O altă constatare constă în acea, că flacăra lungă luminoasă [94,102,133], asigură un transfer util de căldură mai mic, în comparare cu cazul flăcării scurte (luminoasă și neluminoasă), iar temperatura pe toată făclia (lungimea) flăcării de acest tip are în unele condiții o valoare mai joasă în comparare cu flăcările cu lungime mică.

În focarele cazanelor componenta principală a transferului de căldură îi revine mecanismului de transfer de căldură prin radiație (radiant), iar componenta convectivă este nesemnificativă și în metodele de calcul a balanței regimului termic în focar de obicei se neglijează. Intensitatea transferului de căldură radiant este determinată de specificul câmpului de temperaturi al focarului și proprietățile radiante ale flăcării. Sursa radiantă în flacără este formarea bioxidului de carbon CO_2 și vaporilor de apă – H₂O în procesul arderii.

S-a constatat [94,102,130], că la o grosime constantă a stratului radiant – radiația depinde de conținutul combustibilului gazos și de excesul de aer.

Există metode de calcul normativ al schimbului de căldură radiant în focare [130], care în principiu pot asigura precizia necesară a calculelor de determinare a parametrilor instalațiilor termice la funcționarea lor în condițiile normale staționare. La proiectarea arzătoarelor noi sau/și modernizarea celor existente un rol important îl au caracteristicile cantitative ale procesului de ardere: calitatea amestecului; entalpia gazelor de ardere; randamentul utilizării căldurii gazelor de ardere.

Calitatea amestecului se caracterizează prin conținutul procentual al gazului și volumului real de aer:

$$\alpha = \frac{V_a - V_0}{V_g} \cdot 100\% \tag{1.6}$$

unde:

 α - coeficientul de exces de aer din amestec; V_a - volumului real de aer; V_0 - aerul minim necesar arderii teoretice a unui m³_N de gaz metan; V_g - volumul de gaz.

Valoarea acestui parametru influențează semnificativ componența și conținutul produselor de ardere ale gazelor și, ca urmare, are și o influență semnificativă asupra mediului ambiant.

Pentru calculele inginerești ale arzătoarelor este important de cunoscut valorile reale ale entalpiei produselor de ardere și a randamentul utilizării căldurii gazelor [77,79,133]. Entalpia gazelor de ardere *I* se determină cu relația:

$$I = V_{pa} \cdot C_{pa} \cdot T_{pa} \tag{1.7}$$

unde: V_{pa} – volumul produselor de ardere $[Nm^3/Nm^3]$; C_{pa} – capacitatea termică medie specifică a produselor de ardere $(kJ/(m^3K))$; T_{pa} – temperatura produselor de ardere (⁰C).

Randamentul utilizării căldurii gazelor de ardere η_f se calculează cu formula:

$$\eta_f = \frac{Q_n - I}{Q_n} \cdot 100 [\%] \tag{1.8}$$

unde: Q_n cantitatea de căldură obținută în rezultatul arderii a 1 N m³ de gaze; I - entalpia produselor rezultate de la arderea 1 N m³ gaze la ieșirea din focar.

Rezultatele analizei valorilor entalpiei și randamentului utilizării căldurii de ardere a metanului, propanului și butanului în dependență de excesul de aer în amestec și a temperaturii gazelor de ardere, ne sugerează o informație clară a importanței respectării calității amestecului pentru a atinge o eficiență înaltă a arderii gazelor.

Cunoașterea aprofundată a principiilor de bază ale teoriei arderii gazelor creează doar premise pentru promovarea măsurilor de asigurare a arderii eficiente a gazelor. Un rol foarte important îl joacă tehnologiile și tehnicile de ardere ale gazelor, pe care le vom aborda în continuare.

1.3. Tehnici și tehnologii de ardere ale gazelor naturale

Înbunătățirea performanțelor arzătoarelor, în mare măsură, depinde și de tehnicile și tehnologiile de organizare a arderii gazelor: structura aerodinamică a flăcării, rezistența hidraulică a arzătoarelor, stabilitatea procesului de ardere, intensitatea transferului de căldură etc.

Aerodinamica amestecului carburant și structura flăcării

Eficiența arderii gazelor depinde de structura aerodinamică a amestecului și flăcării, care la rândul său depind de procedeele tehnice utilizate în arzătoarele de gaze.

Un procedeu bine cunoscut și larg utilizat este formarea mișcării de rotație a fluxului

injectat de către jetul de gaze cu ajutorul curentului de aer turbulent. Pentru prima dată acest proces a fost descris în [95] și are la bază următoarea idee: jetul se prezintă ca un volum limitat în spațiu, și valorile vitezei și presiunii gazului în aval sunt apropiate de valorile acestor mărimi din amontul jetului.

În sistemul de ecuații care descrie acest proces se ține cont de faptul, că viteza radială a fluxului getului de gaze este foarte mică în comparare cu componentele axiale și tangențiale. În aceste relații nu se iau în considerare influența viscozității intermoleculare și a turbulenței asupra presiunii.

Cercetările experimentale [64,65,68,90,95,114,119,142,143,

147,148,153,159]demonstrează, că calculelor efectuate conform experimentelor realizate corespund cu cele teoretice pentru cazurile regimurilor cu turbulență joasă. Includerea a mai multor factori duce la majorarea gradului de complexitate a modelului și la complexitatea calculelor.

Caracteristicile aerodinamice ale arzătoarelor cu flux turbulent sunt în directă dependență de intensitatea de rotire a curentului de aer, de aceea ele trebuie analizate în strânsă legătură cu parametrii constructivi care determină gradul de rotire.

Se consideră, că caracteristica de rotire a torentului se poate obține doar în mod experimental, studiind structura aerodinamică a amestecului, atât la intrarea, cât și la ieșirea din canalul arzătorului [52,53,148].

Cercetările aerodinamice ale torentului de aer în interiorul canalului și la gura arzătorului permit determinarea condițiilor de formare/dezvoltare a flăcării în focare. Studierea aprofundată a structurii aerodinamice are o mare importanță pentru arzătoarele de gaze, pentru că în lipsa unei viziuni concrete devine imposibil de apreciat corect condițiile, în care se formează amestecul aer-gaz și ca urmare, imposibilitatea de a estima procesul de ardere în întregime.

O caracteristică importantă a structurii aerodinamice a torentului este profilul câmpului vitezelor la gura arzătorului. Pentru jetul arzătoarelor de diverse construcții acest profil se poate obține în mod experimental. În [52,53,80,83,84,149] se demonstrează, că profilul câmpului vitezelor depinde foarte mult de unghiul de înclinație a paletelor turbulatorului/stabilizatoruluić.

Aceste rezultate demonstrează, că unghiul nominalizat al turbulatoarelor influențează semnificativ structura aerodinamică a torentului:

a) majorarea intensității de rotire a torentului duce la majorarea componentei tangențiale a vitezei;

b) majorarea unghiului duce la rotirea mai intensă și deplasează maximele vitezei de la guraarzătorului.

Din cele expuse rezultă că, prin stabilirea precisă a unghiului și a intensității de rotire a torentului se poate obține practic, orice dimensiune a zonei de recirculație (torent invers) până la excluderea ei. Trebuie de menționat, că această afirmație este valabilă doar pentru un torent constant pentru dimensiuni constante ale canalului arzătorului și nici cum pentru un torent variabil în limite mari.

Analiza surselor bibliografice din domeniu [52,53,80,83,84,149] indică de asemenea la un alt parametru important al structurii aerodinamice a amestecului și flăcării - presiunea statică în diverse puncte ale canalului arzătorului. În publicațiile [52, 80,84] se constată, că presiunea statică are valori diverse în diferite puncte ale unei secțiuni a torentului: cu majorarea intensității rotirii torentului, presiunea statică în apropierea pereților canalului crește.

În realitate, structura aerodinamică a fluxului și, respectiv a flăcării, curgerii turbulente, este mult mai complexă: caracteristicile ei depind de consumul de aer, de forma de deschidere a canalului arzătorului și de intensitatea de rotire a torentului. La o intensitate înaltă de rotire apare zona de recirculație. De regulă, această zonă se află în apropierea gurii canalului, însă la un grad mai mic de rotire, această zonă pătrunde în canalul arzătorului, ce duce la consecințe negative.

O altă caracteristică importantă este lungimea aerodinamică a flăcării. De regulă, flacăra este limitată de pereții focarului și de aceea un parametru foarte importantă o prezintă lungimea ei:

a) dacă lungimea este mică – nu se asigură completarea uniformă a spațiului focarului, ce duce la apariția diferențelor de temperaturi în focar și în rezultat la efecte cu consecințe negative;

b) dacă lungimea este prea mare – flacăra lovește în pereții focarului opuși flăcării și în rezultat apare o supraîncălzire locală, la fel cu consecințe negative pentru indicatorii de eficiență energetică și de fiabilitate a instalației termice.

Lungimea aerodinamică a flăcării (*L*) se definește ca distanța pe axa gurii arzătorului de la secțiunea orificiului până la secțiunea, în care viteza maximă u_{max} constituie 20% din viteza medie la deschiderea arzătorului, u_0 . Deseori, lungimea aerodinamică a flăcării se măsoară în cote ale diametrului canalului cilindric al arzătorului sau a gurii lui, sau prin dependența vitezelor $u_{max} \neq u_0$ în funcție de raportul x/d. Cercetările [50,57, 58,133,147,153] au demonstrat, că majorarea intensității de rotire a torentului duce la micșorarea semnificativă a lungimii aerodinamice a flăcării pentru toate tipurile de arzătoare.

Este cunoscut faptul, că la ieșirea din gura arzătorului, flacăra formează un hiperboloid rotit, însă la o mică distanță de gură are o formă conică. Deschiderea flăcării se măsoară prin unghiul conului φ , format de flacără.

S-a constatat, că unghiul de deschidere este mai mare la flacăra rotită în comparare cu cazul flăcării directe. Aceasta se explică prin faptul, că în primul caz transferul de masă și căldură este mult mai intensiv în comparare cazul al doilea. Pe de altă parte, unghiul de deschidere depinde și de alți factori, ca modul și condițiile de formare a torentului rotit, de aceea la diverse tipuri de arzătoare unghiul de deschidere este diferit [51,53].

O altă caracteristică aerodinamică de valoare a procesului de ardere este variabilitatea vitezei de propagare a flăcării. Această caracteristică se determină [51]. din relația diferenței scalare a valorilor vitezelor maximă și minimă raportate la viteza medie scalară:

$$\varepsilon = \frac{w_{\text{max}} - w_{\text{min}}}{w_{\text{med}}} \cdot 100[\%]$$
(1.9)

Acest parametru determină modul de ardere a amestecului - uniform sau fluctuant, are valori în limitele 5 și 45 % pentru diverse tipuri de arzătoare [51,53].

Reieşind de la cele constatate se poate concluziona că, studierea și analiza caracteristicilor aerodinamice ale torentuluiturbulent de amestec aer-gaz cum sunt lungimea aerodinamică a flăcării, unghiul de deschidere, neuniformitatea vitezei de propagare etc., permit extinderea viziunii despre dinamica torentului turbulent și utilizarea adecvată a acestor rezultate în proiectarea noilor arzătoare. Trebuie însă de menționat, că în majoritatea lucrărilor de specialitate se explică rezultatele pentru cazul jetului relativ constant, care de regulă este doar un caz particular.

Contrar, însă realitatea este de altă natură, arzătoarele moderne necesită reglarea (varierea) torentuluide amestec aer-gaz într-un diapazon semnificativ de la 15 pînă la 100%, în scopul reglării puterii termice a arzătoarelor.

Caracteristici hidraulice ale arzătoarelor

Caracteristicilor hidraulice ale arzătoarelor în literatura de specialitate [12,14,51,53,117,127] i se atribuie o atenție mare. Tendința de a folosi în practică arzătoare cu diapazon larg de reglare a sarcinii, pe de o parte, și un diapazon larg de variere a intensității de rotire a curentului de aer pe de altă parte, impune cerințe deosebite față de caracteristicile hidraulice ale arzătoarelor.

Factorul micșorării presiunii în canalul arzătorului îl prezintă coeficientul de rezistență hidraulică, care caracterizează integral impactul de opunere mișcării în arzător a torentelor de aer și gaze. Conform informației din sursele bibliografice [51,53,117], rezistența (coeficientul de rezistență) hidraulică pe o unitate de conductă (canal) depinde de coeficientul forței de frecare, densitatea aerului, lungimea, diametrul canalului și viteza medie a torentului, calculare ce se realizează prin relația:

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho w^2}{2}, \qquad (1.10)$$

Coeficientul de rezistență hidraulică a amestecului aer-gaze nu este o constantă [12,14], ci depinde de rugozitatea suprafeței canalului și modul de curgere a torentului de aer sau a amestecului. Pentru un torent laminar (Re < 2300), acest coeficient nu depinde de rugozitatea suprafeței canalului. Dar pentru mișcarea torentului cu turbulență mică și medie (2300 < Re < 3000) acest coeficient se determină în alt mod. Analiza acestor abordări arată, că devierile rezultatelelor obținute pot fi semnificative. Cauza constă în aceea, că nici una din abordările date nu ține cont de toți factorii, ce influențează coeficientul rezistenței hidraulice.

Ca urmare a acestora, nici până în prezent nu există o metodă unică de calcul a rezistenței hidraulice pentru o diversitate mare de tipuri de arzătoare. Este cunoscut faptul, că la arzătoarele turbionare majorarea intensității de rotire duce la majorarea rezistenței hidraulice [52, 91, 92,94], însă în [118] se demonstrează un rezultat contrar afirmațiilor anterioare, și anume, că cu micșorarea raportului ab/d^2 de la 0,6 pînă la 0,35 - coeficientul rezistenței hidraulice scade de la 6,95 pînă la 4,55. Aceasta indică la o tratare în prezent a unor doar modalități particulare de

rezolvare a problemei proiectării arzătoarelor și la lipsa unei abordări și metode complexe de calcul ale acestor parametri ai arzătoarelor.

Altă abordare se propune în [117,127], care recomandă în locul raportului suprafețelor (S_1/S_2) de utilizat raportul presiunii dinamice în două secțiuni concrete. Particularitățile indicate anterior elucidează complexitatea problemei calculului arzătoarelor și a contradicțiilor care există astăzi în teoria proiectării acestor echipamente. De exemplu, în lucrarea [154] se recomandă utilizarea numai a arzătoarelor de tip tangențial, bazându-se pe faptul, că rezistența lor hidraulică este mai mică ca a arzătoarelor de tip "melc", fără a ține cont de un alt fapt, că condițiile de intensificare a rotirii torentului sunt cu totul diferite.

Concluzia ce urmează costă în aceea, că nu poate fi veridică concluzia formulată în baza comparării caracteristicilor hidraulice ale arzătoarelor în baza ansamblurilor de date experimentale ce se referă la diferite arzătoare ce au particularitățile sale constructive și de funcționare, bazându-ne doar pe datele obținute și prelucrate prin diverse metode. Diferite cercetări a acestei probleme privind compararea caracteristicilor hidraulice [59,66,99,118,164] demonstrează, că se poate propune o soluție posibilă de comparare în caz că această problemă se abordează în modul următor – (a) se determină pentru fiecare tip de arzător intensitatea de rotire a curentului de aer,ținând cont de specificul realizării lor constructive și (b) se calculează coeficientul de rezistență hidraulică pentru toate tipurile de arzătoare,utilizând relația (1.10).

Cea mai mare rezistență hidraulică, conform rezultatelor analizei surselor bibliografice [59,66,99,118,164], figura 1.10, o au arzătoarele cu flux axial.



Fig. 1.10. Dependența coeficientului rezistenței hidraulice de intensitatea de rotire a torentului la diverse tipuri de arzătoare (A, T, M, TL- moduri de rotire a fluxului de aer: melc, axial-tangențial, tangențial, tangențial-lateral).

În arzătoarele tip T (cu torent tangențial) rotirea curentului de aer se efectuează cu
rezistențe hidraulice mult mai mici. Arzătoarele tip "melc" sunt mai performante decât cele tip A și T, iar cele de tip TL (o variantă din arzătoarele cu flux tangențial) au cea mai mică rezistență hidraulică la intensitatea de rotire $n \le 2,4$, iar pentru n > 2,4 cedează într-o măsură celor de tip "melc".

Tehnici de stabilizare a procesului de ardere

Tendința de extindere a diapazonului de reglare a puterii arzătoarelor necesită varierea într-un larg diapazon a consumului de aer, ceea ce afectează mulți parametri care determină formarea amestecului, lungimea flăcării și caracteristicile hidraulice. Totodată se mai agravează o altă problemă – stabilitatea procesului de ardere.

În practică deseori apare o instabilitate a procesului de ardere a gazelor în legătură cu ruperea flăcării de la gura arzătorului sau pătrunderea ei în canalul arzătorului.

Problemele stabilității proceselor de ardere a gazelor (flăcării) au fost studiate în mod teoretic și experimental de către mulți savanți din mai multe țări [1,54,84,115,123,140]. Problema principală a acestor cercetări constă în obținerea rezultatelor experimentale și elaborarea modelelor matematice pentru aprecierea adecvată a acestor fenomene.

Ca idee de bază a acestor experimente este legătura strânsă dintre stabilitatea procesului de ardere și viteza de propagare a flăcării.

În contextul de stabilitate a procesului de ardere, se subînțelege proprietatea flăcării de a se menține în procesul de ardere în stare "nemișcată" în raport cu gura arzătorului. Este cunoscut faptul [1,54,84,115,123,146,148,150,172], că există un echilibru dintre tendința flăcării de a se deplasa în direcția opusă torentului amestecului ar-gaz, pe de o parte, și tendința de a fi "aruncată" de la gura arzătorului de către fluxul de amestec.

Fenomenul de echilibru al flăcării se observă într-o limită îngustă ale valorilor vitezelor fluxului de amestec aer-gaz. În acest proces, trebuie să se asigure:

- viteza fluxului, la care flacăra pătrunde (absorbție) în gura arzătorului;

- viteza fluxului, la care flacăra se rupe de gura arzătorului.

După cum este menționat [1,54,84,115,123], factorii care influențează stabilitatea procesului de ardere sunt următorii: cantitatea de gaze în amestec și raportul de aer-gaze; modul de mișcare a amestecului; diametrul gurii arzătorului; diverse particularități constructive ale arzătorului.

Toate acestea determină că:

a) cu cît este mai mare viteza de propagare a flăcării, care depinde de compoziția gazelor, cu atât trebuie să fie mai mare viteza de ieșire a gazelor;

 b) cu majorarea diametrului gurii canalului arzătorului se majorează și viteza de rupere a flăcării.

În literatura de specialitate [80,83,84, 170] sunt propuse trei modele pentru demonstrarea mecanismului de stabilizare a flăcării: (a) bazat pe schimbul de căldură; (b) reactor; (c) inducțional.

Modelul stabilizării procesului de ardere propus în [80, 170], are la bază balanța energiei termice generate la arderea gazelor cu temperatură înaltă și energia consumată de amestecul aergaz cu temperatură joasă. Echilibrul termic se formează la granița de contact dintre amestecul care nu s-a aprins și produsele de ardere cu temperatură înaltă.

Există și altă modalitate de reflectare a condițiilor de stabilizare a proceselor de ardere [84], care este valabilă pentru toate trei modele.

Stabilitatea procesului de ardere se asigură cu ajutorul diverselor piese - stabilizatoare de diferite construcții. De regulă, se utilizează piese de barare a fluxului de amestec cu caracteristice aerodinamice joase, pentru care zona de recirculare nu depinde semnificativ de viteza fluxului de amestec aer-gaz.

Multiple cercetări experimentale demonstrează, că pentru flacăra difuzională formarea amestecului aer-gaz are un caracter local și structura flăcării depinde de raportul local, nu integral de aer-gaz și din această cauză stabilitatea procesului de ardere depinde de acest raport, în deosebi la viteza fluxului apropiată de valoarea critică a vitezei de rupere a flăcării.

Se cunoaște, că ruperea flăcării are loc, de regulă, în următoarele cazuri:

- la pornirea incorectă și oprirea bruscă a arzătoarelor;

- la modificarea bruscă a puterii (majorare /micșorare) și nerespectarea raportului excesului de aer-gaz.

Ruperea flăcării are ca consecințe umplerea cu amestec de aer-gaz neaprins a volumului focarului, canalelor de evacuare și a coșului de fum, ceea ce provoacă explozii cu consecințele respective. Pătrunderea flăcării în canalul arzătorului se întâmplă cel mai des la pornirea incorectă sau la micșorarea bruscă a puterii arzătorului și, ca rezultat, duce la:

- arderea incompletă a gazelor naturale și majorarea concentrației substanțelor nocive: CO, NO_x, H_nC_m;

- uzarea (arderea) elementelor constructive (pieselor) din canalul arzătorului;

- stingerea arzătorului și răspândirea amestecului de aer-gaz în încăpere și focar, ceea ce provoacă deflagrații a combustibilului (cu consecințele respective).

1.3.1. Tehnica de ardere a gazelor în cîmp electric

Consumul înalt de gaze naturale în industrie și alte ramuri ale economiei și majorarea continuă a prețurilor, impune revizuirea tehnologiilor tradiționale și aplicarea a noi abordări a problemei de generare a energiei termice prin arderea gazelor, care ar permite atât creșterea randamentului, cât și respectarea normelor ecologice de poluare a mediului.

Una din astfel de abordări este arderea gazelor naturale combustibile în câmp electric [144,152,156,157,180,184-187,175].

E cunoscut faptul, că procesul de ardere a hidrocarburilor gazoase este însoțit de generare ionilor pozitivi și a altora radicali de hidrocarburi, care devine, într-o măsură oarecare, o piedică la arderea normală. În funcție de densitatea fluxului de ioni, de proporția de amestec, se majorează coliziunile dintre ionii pozitivi și masa de molecule neutre de combustibil gazos, care influențează negativ transferul de masă și căldură din zona axei flăcării.

Aplicarea cîmpului electric pozitiv radial duce la răspândirea ionilor spre partea externă a

flăcării, ceea ce favorizează transferul de masă și căldură, ca rezultat, poate să ridice eficiența arderii, să micșoreze temperatura flăcării și să diminueze esențial emisiile de gaze nocive [144, 180, 187], dar necesită o cercetare minuțioasă pentru aplicare în practică. Aplicarea cîmpului electric asupra flăcării produce o mișcare de deplasare (drift) a particulelor încărcate (ioni, particule de funingină) în direcția de orientare a câmpului electric.

Urmare a acestor procese este necesar de efectuat calcule și studii experimentale, care ar elucida posibilitățile explorării mecanismelor de bază, prin care câmpul electric radial produce variații în procesul de transfer masă/căldură și a procesului de ardere pentru organizarea unui control privind diminuarea poluării mediului.

Cercetările efectuate în această direcție [144,161,180,187] demonstrează, că în condițiile aplicării potențialului pozitiv la electrodul central, câmpul electric radial amplifică convecția ionilor pozitivi și radicalilor de hidrocarburi din zona de reacție a flăcării spre exteriorul ei. În funcție de densitatea ionilor în amestecul carburant, intensitatea câmpului electric și convecției determinată de câmp reduce rata de combustie a gazului și degajarea de căldură în partea centrală a flăcării, deplasând-o spre partea exterioară.

Utilizarea câmpului electric în procesul de ardere a gazelor permite de a influența asupra formării emisiilor de NO_x [152,185,187].

Cercetările efectuate privind arderea gazelor în câmp electric, rezultatele obținute pînă la etapa actuală demonstrează că sunt posibilități de diminuare a componentelor poluante de NO_x în procesele de ardere, dar pentru a obține un efect pozitiv este necesar de menținut în limite stricte condițiile procesului de ardere, ceea ce este posibil doar prin utilizarea unui sistem de control și de automatizare a arderii.

În condițiile unui câmp electric de intensitate joasă se îmbunătățește transferul de masă a hidrocarburilor din centrul flăcării spre exteriorul ei, reducând astfel temperatura flăcării și pierderile de căldură și, ca consecință, se reduce nivelul de emisii de NO_x . Cercetările din domeniul respectiv [152,168,185,187] demonstrează posibilele avantaje economice, tehnice și ecologice, ceea ce presupune implementarea procedeului de ardere a gazelor în câmp electric.

Componența reziduurilor la arderea gazelor naturale în cîmp electric

Arderea gazelor naturale, ca și arderea altor tipuri de combustibili organici, duce la varierea nivelului de poluare a mediului ambiant. Deși, la arderea completă a gazelor practic lipsesc în produsele de ardere funinginea, SO₂ și alte hidrocarburi cancerogene, cea mai mare cotă privind poluanții le revine emisiilor de oxizi de azot – noxele (NO_x). În focarele de ardere ale gazelor se formează următorii oxizi de azot: NO, NO₂, N₂O₃, NO₄, unde predomină NO în proporție de 90 % fiind mai nociv. Mecanismul de formare a oxizilor de azot la arderea gazelor este explicat în [136,137,152] și include un lanț de interacțiuni dintre atomii de oxigen și azot. Formarea oxizilor de azot depinde de mai mulți factori: concentrația substanțelor inițiale, temperatura, presiunea și timpul de stabilire a echilibrului[182].

Temperatura în zona de reacție are un rol decesiv la formarea oxizilor de azot. Concentrația de oxid de azot crește direct proporțional cu creșterea concentrațiilor de oxigen și azot, însă în mod exponențial s-a stabilit că aceasta are loc în funcție de temperatură.

Concentrația oxigenului liber depinde de coeficientul de exces de aer α . În practică se observă tendința de a micșora excesul de aer [136] cu scopul de a micșora pierderile de căldură la eșaparea produselor de ardere. Aceasta duce pe de o parte la micșorarea NO însă, trebuie de ținut cont, că micșorarea valorii parametrului α are ca urmare ridicarea temperaturii de ardere, care pe de altă parte conduce la creșterea concentrației de NO și concomitent crește și concentrația de CO.

Valoarea temperaturii în procesele de ardere depinde în mare măsură de procesul de formare a amestecului. Acest fenomen se explică prin următoarele: cu cât mai intensiv este procesul de formare a amestecului, cu atât mai multă căldură se degajă într-o unitate de volum în zona de ardere, ceea ce și contribuie la ridicare temperaturii în zona respectivă de ardere [136]. O influență semnificativă asupra formării oxizilor NO_x o are intensitatea de rotire a curentuluide aer. Este cunoscut faptul, că mărirea intensității de rotire micșorează lungimea flăcării, iar cu aceasta se mărește temperatura în flacără.

În baza rezultatelor cercetărilor experimentale [154,155,162] s-a propus o relație cu care se calculează concentrația a NO_x în produsele de ardere:

$$NO_{x} = 1,7 \cdot D^{0,8} \sqrt{q_{v}} a^{3} \cdot (1-n)^{0,83} [mg/l], \qquad (1.11)$$

unde:

D - este diametrul focarului;

 q_v –sarcina termică a focarului;

a – coeficientul excesului de aer;

n – coeficientul de rotire a curentului de aer.

Din cele expuse se poate face concluzia, că ținând sub control procesul de formare a amestecului (excesul de aer și omogenitatea amestecului), intensitatea de rotire a fluxului, se va putea regla lungimea flăcării, temperaturii în zona de ardere, și, ca urmare se va influența activ în direcția micșorării concentrației de NO_x.

Acest fenomen are o importanță deosebită în cazul arzătoarelor cu varierea dinamică a sarcinii lor termice.

La etapa actuală se conturează soluții tehnice, care ar permite aplicarea acestui procedeu, cu toate că, încă nu sunt clare toate efectele aplicării câmpului electric la arderea gazelor,dirijarea cu procesele de ardere,lipsa complexului actelor normativ-tehnice ce ar reglementa acest domeniu.

Elaborarea bazei tehnico-normative de reglementare atât a producerii arzătoarelor de acest tip, determinarea cerințelor de aplicare în producție cât și de exploatare a instalațiilor termice cu aplicarea câmpului electric ar avea avantaje tehnice, ecologice și economice în cazul aprofundării studiului.

1.4. Formularea problemei cercetării

Studiul bibliografiei prin prisma problemei de elaborare și perfecționare a instalațiilor de ardere ale gazelor naturale cu scopul sporirii eficienței energetice permite de a formula obiectivul general și obiectivele specifice ale lucrării de cercetare. Aceasta are la bază analiza și identificarea problemelor, avantajelor și dezavantajelor soluțiilor tehnice utilizate la confecționarea și utilizarea diferitor tipuri de arzătoare în instalațiile de producere distribuită a energiei termice, precum și elaborarea ipotezelor de sporire a performanțelor tehnice și economice ale acestor echipamente în procesele de ardere ale gazelor naturale.

Rezultatul real se preconizează să fie propunerea de soluții inovative de realizare constructivă a arzătoarelor de gaze, testarea practică a acestor soluții cu determinarea parametrilor de eficiență energetică cu reducerea volumului de gaze naturale consumat și a impactului asupra mediului la producerea distribuită a energiei termice.

Sporirea nivelului calității procesului de ardere se bazează pe îmbunătățirea omogenității amestecului aer-gaz prin asigurarea unor condiții reale (fizice) mai avantajoase pentru derularea procesului de amestecare a fluxului de gaz și a fluxului de aer ținând cont de particularitățile constructive și tehnologice de funcționare ale instalațiilor de producere a energiei termice. Întru aceasta se prezintă necesar de efectuat investigații pentru determinarea rolului și caracterului influenței parametrilor utilizat pentru estimarea și controlul procesului de ardere, identificarea și evaluarea modalităților de intensificare a acestui proces în regimuri tranzitorii.

Studierea proceselor de ardere ale gazelor în diferite instalații cu diverse camere de ardere (focare), ce se confruntă cu un complex întreg de probleme relevante fenomenelor aerodinamice, fizico-chimice și termice.

Studierea acestor fenomene în condiții reale de funcționare (la scara naturală a dimensiunilor și puterilor generate) a instalațiilor cu diferite particularități constructive este foarte dificilă și costisitoare. Este evident, că fără o modelare matematică prealabilă ale acestor fenomene nu este posibilă realizarea și confecționarea arzătoarelor performante și atingerea scopului privind sporirea eficienței energetice a instalațiilor de generare distribuită a căldurii cu economisirea gazelor naturale utilizate în aceste instalații. Totodată astfel de investigații permit identificarea condițiilor pentru care se respectă legitățile derulării fenomenelor în procesele de ardere care asigură arderea completă a gazelor naturale, diminuarea emisiilor nocive în atmosferă și economisea resurselor energetice primare în regim la sarcini variabile a instalațiilor termoenergetice.

Problema sporirii eficienței energetice a proceselor de ardere este actuală și în atenția a mai multor cercetători. Astfel, în lucrările [56,138,161] sunt abordate diferite modalități și orentări de cercetare privind aprofundarea cunoașterii mecanismelor și condițiilor reale de derulare a arderii ca: cercetarea mecanismelor cineticii fluxurilor de aer, gaze și a produselor de ardere în condiții de ardere completă, a câmpurilor de viteze, rezistențelor hidraulice, gradului de stabilitate a procesului de ardere etc., inclusiv, ținînd cont de experiența existentă în domeniu [56, 66, 67, 121, 136, 137,161]. Procesele pot fi studiate, aplicând diferite metode și metodologii: prin modelari matematice, fizice (prin studierea directă în condiții reale a

proceselor de ardere a gazelor combustibile) sau fără arderea directă (simulare fizică cu utilizarea diferitor ștanduri, mostre funcționale similare funcțional și constructiv instalațiilor termice e.t.c.).

Obiectul cercetării și problemele abordate. Obiectul și scopul cercetării - arzătoare de gaze și condițiile de ardere la utilizarea lor în instalațiile termice de generare distribuită a căldurii prin arderea gazelor naturale care pot asigura rezultate avantajoase privind economisirea gazelor naturale, diminuarea emisiilor nocive în procesele de ardere directă, inclusiv, pentru cazul funcționării instalațiilor termoenergetice în regimuri de evoluție de schimbare aleatoare a sarcinii.

Obiectivele specifice generale ale investigației:

1. Argumentarea posibilităților de sporire a eficienței instalațiilor de producere distribuită a căldurii:

Analiza și studierea posibilităților includ următoarele aspecte:

- particularitățile constructive ale instalațiilor de ardere și principiile de funcționare;
- identificarea avantajelor/dezavantajelor la funcționarea la sarcini constante (regim constant de funcționare);
- identificarea particularitățile funcționării arzătoarelor la producerea energiei termice la sarcini variabile;
- studierea caracterului evoluției/optimizării valorilor parametrilor tehnologici a procesului de ardere și a influenței dezechilibrului componentelor în amestec asupra calității proceselor de ardere;
- determinarea din punct de vedere cantitativ, a condițiilor de creare a regimurilor de rupere/pătrundere a flăcării.

2. Valorilor optimale ale parametrilor procesului stabil de ardere a amestecului de aer-gaz:

- investigații privind particularitățile derulării fenomenului de ardere la varierea parametrilor fluxurilor aer-gaz și particularitățile derulării arzătoarelor în regimuri de sarcină staționară;
- analiza particularităților derulării fenomenului de ardere la varierea parametrilor fluxurilor aer-gaz și particularitățile derulării arzătoarelor în regimuri de sarcină variabilă;
- selectarea şi argumentarea metodei de calcul a caracteristicilor hidraulice ale arzătorului prin prisma condițiilor de formare şi menținere a omogenității amestecului aer-gaze la varierea sarcinii arzătorului;
- studierea structurii flăcării și stabilității procesului de ardere în funcție de câmpurile de viteză și temperatură;
- precizarea valorilor limită a parametrilor întru asigurare aprinderii sigure și arderii stabile a amestecului de aer-gaz în funcție de realizarea constructivă a arzătoarelor.

3. Factori semnificativi privind sporirea eficienței procesului de ardere a gazelor naturale:

• estimarea impactului de modul de admisie a gazului la formarea amestecului de aer-gaz: periferic, central, precum și a modalității de interacțiune a jetului de gaze cu fluxul de aer (echicurentă, perpendiculară sau contracurentă);

- determinarea structurii turbulente ale fluxurilor pentru estimarea posibilităților de intensificare a procesului de ardere și construire a arzătoarelor performante;
- studierea influenței diverselor caracteristici şi mărimi fizice asupra calității procesului de ardere: particularităților propagării frontului flăcării; influența temperaturii amestecului (mărirea vitezei de propagare a flăcării), presiunii (la viteza de propagare a flăcării), estimarea gradului de semnificație a vitezei de propagare a flăcării asupra calității proceselor de ardere; identificarea şi studiul aspectelor de bază ale proceselor de amestecare aer-gaz cu scopul propunerii procedeului de calcul a parametrilor proceselor de ardere pentru condiții tehnice concrete; estimarea rolului şi caracterului influenței fiecărui parametru asupra calității procesului de ardere, precum şi identificarea procedeelor de intensificare a lor;
- studierea luminozității flăcării și a transferului radiant de căldură pentru condițiile concrete de ardere, deoarece fiind identificat fenomenul, că în procesele de ardere a combustibilului gazos flacăra poate avea luminozitatediversă, gradul căreia depinde de modul de organizare (procedee, tehnici, tehnologii) a procesului de ardere și poate să se schimbe în limite largi, iar în consecință, se schimbă condițiile transferului de căldură.

4. Soluții inovative de realizare constructivă a arzătoarelor de gaz de performanță sporită:

- analiza rezultatelor cercetărilor experimentale ale tehnologiilor de ardere a gazelor naturale privind structura aerodinamică a amestecului aer-gaz şi a flăcării, procedeelor de formare a amestecului aer-gaz, gradului de turbulență, caracteristicilor câmpurilor de viteză şi presiune în fluxurile gaziere din arzător şi în zona de ardere pentru diferite scheme de interacțiune ale fluxului de aer şi a fluxului de gaz în procesul de formare a amestecului, inclusiv, admisie axială şi tangențială a fluxului de gaz în zona de formare a amestecului;
- estimarea influenței parametrilor constructivi ai arzătorului (diametrul la intrare şi ieşire, lungimea canalului de admisie a arzătorului, unghiului de înclinare a paletelor turbulatorului) și a dimensiunilor focarului instalației termoenergetice asupra stabilității și eficienței procesului de ardere;
- determinarea condițiilor critice a procesului de ardere ce conduc la scăderea presiunii, la
 regimul de ardere fluctuant, "ruperea" flăcării de la gura arzătorului sau la pătrunderea ei
 în canalul arzătorului, arderea necompletă etc.;
- elaborarea metodei de calcul a arzătoarelor ce formeazădiferite tehnologii de organizare și dirijare a procesului de ardere în instalațiile termoenergetice, preponderent de mică putere utilizate la producerea distribuită a căldurii, în corespundere cu cerințele tehnice formulate de către beneficiar;
- selectarea şi argumentarea schemelor de realizare constructivă a arzătoarelor de gaze naturale.

5. Elaborarea, confecționarea și testarea arzătoarelor de gaz apte de a asigura calitatea și

stabilitatea procesului arderii gazelor la sarcini variabile:

- elaborarea schemei funcționale și constructive, confecționarea arzătorului de gaze;
- elaborarea procedeului de testare experimentală a arzătoarelor de gaze;
- elaborarea și confecționarea instalației de testare experimentală a arzătoarelor de gaze;
- efectuarea testărilor experimentale cu scopul determinării gradului de influență a diferitor parametri ce caracterizează stabilitatea și calitatea procesului de ardere la utilizarea în instalațiile termoenergetice a arzătoarelor, inclusiv, și în regimuri de sarcină variabilă;
- analiza rezultatelor cercetărilor teoretice și experimentale a arzătoarelor inovative; elaborarea recomandărilor privind proiectarea arzătoarelor cu indici de performanță înaltă pentru utilizarea în instalațiile termoenergetice de generare distribuită a căldurii;
- valorificarea realizărilor teoretice și experimentale obținute prin implementarea lor în instalațiile termoenergetice de producere distribuită a căldurii și estimarea beneficiului tehnic și economic al acestor rezultate.

6. Obiectivele științifice ale investigației constau în următoarele:

- determinarea, la arderea gazelor în instalații de generare distribuită a intensității radiației flăcării de la luminozitate, valoarea temperaturii maximale, lungimea flăcării, de la valoarea raportului temperaturi gazelor de ardere la ieșire din focar, la temperatura maximă a flăcării în funcție de amplasarea temperaturii maximale în volumul flăcării luminoase;
- studierea particularităților de creare a pierderilor mari de căldură la ardere, ținând cont de impactul parametrilor fizici ce caracterizează procesul de ardere: calitatea amestecului; entalpia gazelor de ardere; randamentul utilizării căldurii gazelor de ardere;
- analiza şi identificarea gradului de influență a coeficientului de exces al aerului asupra componenței gazelor de ardere, estimarea influenței entalpiei produselor de ardere asupra valorii randamentului utilizării căldurii şi analiza posibilității de corectare a valorii entalpiei, precum şi modalitățile de utilizare a acestor rezultate în procesul de calcul ingineresc al arzătoarelor;
- identificarea relației de calcul a randamentului utilizării căldurii gazelor de ardere în funcție de excesul de aer în amestec și temperatura gazelor de ardere întru obținerea eficienței mai înaltă de utilizare a potențialului energetic disponibil al combustibililor gazoși în procesele de conversie în căldură.
- 7. Semnificația aplicativă a rezultatelor cercetării:
- elaborarea metodei de formare și menținere a raportului aer-gaz în regimurile variabile de sarcină ale instalațiilor termice;
- elaborarea metodei inginerește de calcul a arzătoarelor pe baza criteriul de ardere completă a gazelor naturale la sarcini variabile;
- metoda de ajustare a regimului de sarcină a arzătoarelor în funcție de puterea termică și parametrii focarului cu divizarea arzătoarelor în trei categorii: arzătoare de putere mică medie și mare;

- algoritmul de dirijare a puterii arzătoarelor la funcționarea lor în grup pentru asigurarea sarcinii termice solicitate și indicatorilor de eficiență energetică, inclusiv a ratei de economisire a gazelor naturale în regimuri variabile;
- algoritmi și procedee de selectare a tipului de arzătoare în dependență de particularitățile constructive și capacității (puterea) instalațiilor de producere a căldurii.
- conceptul şi realizarea sistemului de autostabilizare (autoadaptare) a regimului optim de funcționare a instalației termice, reieşind de la parametrii agentului termic din tur-retur în cazul dirijării simultane cu arzătoarele ce funcționează concomitent la puteri termice diferite;
- recomandări privind modalitatea de utilizare eficientă a arzătoarelor elaborate în instalațiile termice produse pe sară largă industrială.

1.5. Concluzii la capitolul 1

În rezultatul studiului bibliografic a problemei asigurării calității procesului de amestec aer – gaze pentru ardere a gazelor naturale în instalațiile termice pentru producerea căldurii și asigurarea economisirii gazelor naturale sa constatat următoarele:

- Procesele de amestec aer gaze pentru ardere au un caracter complex, dețin o multitudine de parametri care, în diferite măsuri influențează stabilitatea procesului de ardere şi eficiența transferului de căldură. Aceşti parametri includ proprietățile termofizice, geometrice (preponderent, ce se referă la realizarea arzătoarelor de gaze), mecanica scurgerii fluxurilor de aer şi gaz, câmpurile de viteză, temperatură, presiune, intensitate de luminozitate a flăcării şi a transferului radiant de căldură, omogenitatea amestecului aer-gaz şi componența gazelor de ardere etc.
- 2. În baza analizei particularităților de funcționare a instalațiilor termice s-a stabilit impactul cel mai semnificativ asupra calității şi stabilității procesului de ardere a gazelor în instalațiile moderne tip caracterul variabil al sarcinii. Instabilitatea sarcinii conduce la un consum majorat de gaze, creșterea cotei -parți a gazelor nearse în produsele de ardere ceea ce diminuează indicatorii de performanță energetică a acestor instalații, dar şi duc la poluarea mediului cu oxizii NO_x, CO şi emisia în aer a unei cote de gaze naturale neutilizate.
- 3. Arderea incompletă şi necalitativă a gazelor este o consecință a nivelului nesatisfăcător de omogenitate a amestecului de aer-gaz introdus pentru ardere în focarul instalațiilor termice. Menținerea gradului ridicat de omogenitate a amestecului în procesul de ardere prezintă problema cheie de sporire a eficienței energetice la sarcini variabile a instalațiilor termice şi micşorarea consumului de gaze naturale la producerea căldurii.
- 4. Soluția cheie privind asigurarea gradului înalt de omogenitate a amestecului aer-gaz constă în asigurarea valorii optime a coeficientului de exces a aerului şi gradului de turbulență continuă în zona de formare a amestecului aer-gaz în arzător şi stabilizarea acestui proces la diferite debite a gazului admis în arzător.
- 5. Arzătoarele cu regim constant de funcționare (în trepte), la varierea sarcinii au un diapazon limitat de asigurare a formării amestecului omogen aer-gaz și nu asigură în

toate regimurile de sarcină calitatea înaltă a procesului de ardere.

- 6. Asigurarea unui proces calitativ şi eficient energetic de ardere, constă nu numai în elaborarea unor soluții inovative de realizare constructivă a arzătoarelor ce pot asigura întru-un spectru larg arderea calitativă a gazului la varierea sarcinii termice, dar şi elaborarea unor algoritmi adaptivi de dirijare cu puterea termică a arzătoarelor în baza parametrilor indicatori "tur-retur" din sistemul de circulație a agentului termic.
- 7. Complexitatea proceselor în instalațiile termice la arderea combustibililor gazoşi indispensabil indică necesitatea efectuării în cadrul acestei lucrări cercetări complexe, care includ modelarea matematică și cercetările experimentale în baza măsurărilor directe a parametrilor ce caracterizează regimul de ardere şi de transfer de căldură.

Capitolul 2. METODE DE CERCETARE A PROCESELOR DE AMESTEC AER – GAZ PENTRU ARDEREA GAZELOR NATURALE LA SARCINI VARIABILE.

2.1. Generalități cu privire la cercetarea proceselor de amestec aer – gaze pentru arderea gazelor naturale

Procesul de ardere a combustibilului gazos are la baza sa două faze: amestecarea combustibilului cu oxidantul și procesul de ardere, ce prezintă o reacție chimică exotermă, în rezultatul căruia se degajă căldură. Eficiența procesului de ardere depinde de faptul, cât de complet a reacționat combustibilul cu oxidantul - oxigenul din aer. În dependență de tipul combustibilului primar se utilizează diferite tehnologii de ardere, care concomitent cu producerea căldurii generează și emisii nocive de substanțe solide și gazoase cu impact negativ asupra mediului înconjurător. Deci, eficiența transformării combustibilului primar în căldură și impactul asupra mediului condiționat de aceste transformări depinde nu numai de tipul și calitatea combustibilului primar, dar și de calitatea și incompletatea oxidării (arderii) acestui combustibil în instalațiile respective.

Datorită comodității transportării lui, de exemplu prin conducte, și flexibilității utilizării în diferite instalații termice, gazele naturale au ocupat în prezent o poziție dominată în mixul energetic a tuturor țărilor. Din aceste considerente, precum reieșind din volumele mari utilizate ale gazelor naturale, se prezintă actuală problema asigurării arderii lor calitative și complete în instalațiile termice. Prin aceasta se asigură o economisire semnificativă a combustibilului primar utilizat la producerea energii electrice, inclusiv căldurii (energii termice). Deoarece, arderea în instalațiile termice se produce în focare, în care admisia gazelor naturale și a oxidantului se face de utilaje specializate, se prezintă rezonabil studierea în primul rând a proceselor fizice în aceste utilaje de admisie, care au fost denumite arzătoare de gaze.

În calitate de factor semnificativ de influență asupra calității arderii se poate indica caracterul variabil în timp a sarcinii termice.

În cazul arzătoarelor ce funcționează la sarcini variabile termice apar dificultăți în asigurarea calității arderii și eficienței utilizării gazelor naturale ca combustibil primar. Urmare a acestora este necesar de optimizat procesul de ardere.

Optimizarea și asigurarea calității arderii combustibilului are la bază procesul de formare a amestecului aer-gaz, care pentru toate regimurile de sarcină este necesar de asigurat un grad înalt de omogenitate a amestecului.

Aspectele menționate ne sugerează ideea, că formarea condițiilor care asigură arderea completă a combustibilului prezintă o problemă complexă, care este influența de o multitudine de factori externi și interni. Astfel, tehnologia asigurării omogenității la un nivel ridicat a amestecului de combustibil cu oxidantul prezintă problemă cheie privind sporirea eficienței utilizării combustibilului gazos primar.

Promovarea acestei tehnologii este posibilă doar în baza cunoașterei profunde a particularității proceselor de ardere ale gazelor naturale pentru condiții concrete. Această

cunoaștere se face prin studii teoretice și experimentale, iar metodele de investigare trebuie să fie corelate și adaptate la condițiile reale de derulare ale proceselor de ardere.

Un rol important pentru soluționarea acestei probleme revine metodelor de calcul a proceselor de formare în dinamică al amestecului aer-gaz. Aceste metode de calcul au la bază rezultatele studierii proceselor și fenomenelor la faza de pătrundere a fluxului de gaz trecut prin jeturile arzătoarelor și interacțiunea acestui flux cu fluxul de aer. În rezultatul interacțiunii acestor două fluxuri masice și se formează amestecul aer-gaz, care poate fi aprins și care poate asigura arderea gazelor naturale în focarele instalațiilor de producere a energiei termice, a energii electrice.

Cunoașterea aprofundată a principiilor de bază a teoriei arderii gazelor creează premise pentru organizarea arderii eficiente a gazelor.

În organizarea arderii eficiente un rol important îl joacă tehnologiile de amestec și tehnicile de ardere a gazelor.

Cercetarea proceselor de formare a amestecului aer-gaz include următoarele aspecte: elaborarea și argumentarea unei ipoteze bazate pe particularitățile fizice a derulării procesului de ardere pentru condițiile tehnice concrete de funcționare a instalațiilor de producere a energiei termice, electrice influențate de mai mulți factori interni și externi; estimarea impactului fiecărui factor de influență asupra calității procesului de ardere; studierea cantitativă și calitativă a tuturor fenomenelor de sporire a eficienței arderii gazelor naturale în condițiile concrete de funcționare a instalațiilor termice.

Procesul inițial de formare a compușilor activi din substanțele inițiale (combustibil și oxidant) este numit demarare a lanțului de reacție și este un proces eterogen datorită faptului, că ruperea legăturilor intermoleculare necesită o anumită energie. Acest proces derulează în lanț cu formare a noilor centre active datorită interacțiunii centrului activ existent cu substanțele inițiale și urmare a acestora se accelerează reacția de ardere [47, 52, 53, 56, 66, 67, 116, 136, 138, 176].

Studierea acestor fenomene necesită o abordare complexă, deoarece legitățile arderii gazelor naturale combustibile se deosebesc semnificativ de legitățile fluxurilor (curenților) cu temperaturi joase (reci). Astfel, concluziile referitoare la aerodinamica curenților reci nu pot fi aplicate prin analogie pentru a caracteriza procesele în flacăra arderii gazelor naturale combustibile.

Cercetarea directă, deci cercetarea proceselor de formare a amestecului aer-gaz, de aredere în condiții reale în instalațiile de putere și volum mare este foarte dificilă de realizat, inclusiv din cauza costurilor mari a cercetării experimentale [27,30].

Urmare a acestei constatări, se poate formula următoarea problemă: estimarea și argumentarea posibilităților utilizării modelelor fizice (mostre funcționale) pentru determinarea condițiilor și caracteristicilor de derulare ale proceselor de ardere cu asigurarea analogiei depline intre fenomenele și procesele caracteristice pentru instalațiile termice reale și modelele fizice.

Complexitatea problemei este determinată de un ansamblu de factori și particularități caracteristice individuale cum sunt: geometria componetelor funcționale, particularitățile

efectelor hidraulice, 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.

Pentru a da răspuns la întrebările enumerate s-a utilizat următoarea strategie de efectuare a investigației, ținând cont de recomandările din lucrările de specialitate [7,8,56,138] privind necesitatea selectării:

- modelelor cunoscute a proceselor de ardere robuste pentru descrierea fenomenului de transformare a energiei combustibiliului în căldură;
- modelelor ce descriu cinetică gazelor în condiții de ardere completă;
- procedeelor de calcul a câmpurilor de viteze şi a câmpurilor de temperatură ale gazelor arse;
- adaptarea metodelor de calcul a rezistenții hidraulice pentru cazul realizărilor constructive concrete a instalațiilor;
- analiza procedeelor de asigurare a stabilității procesului de ardere, luând în considerare influența temperaturii pereților focarului și a schimbului de căldură între pereți și flacără. Experiența existentă în domeniu [56, 66,67,121,136,137] arată, că procesele de ardere pot

fi studiate, aplicând modelarea lor:

- pur matematică;
- fizică cu utilizarea mostrelor funcționale în cadrul unor procese reale de ardere a combustibilului;
- fizică fără arderea directă a gazelor combustibile.

În ultimul caz se studiază particularitățile de scurgere și formare a amestecurilor de gaze cu excluderea fazei de ardere a acestor amestecuri. Aceste cercetări se pot face și cu substanțe gazoase a căror amestecuri nu se pot aprinde fizic.

În condiții reale de producere a căldurii sarcina termică are un caracter variabil în timp și schimbarea valorii acestei sarcini prezintă un proces aleatoriu dificil de prognozat cu o precizie necesară. Ca urmare, pentru a asigura arderea calitativă a combustibilului în toate regimurile de sarcină [7,8,28,61,62,107,110,158,177,179] este necesar de avut o reglare precisă a excesului de aer la formarea amestecului și asigurarea condițiilor fizice de derulare a procesului de formare a amestecului omogen de aer-gaz.

Analiza bibliografică de domeniu indică la faptul, că la sarcini termice variabile, se înrăutățește nu numai calitatea arderii ca proces de oxidare chimică a componentelor respective, dar are loc și procesul de rupere a flăcării de la gura arzătorului sau pătrunderea ei în canalul arzătorului [66,67,121,136], proces cu cartacter deficil. Apariția unor astfel de regimuri conduce la consumuri majorate a gazelor naturale, reducerea puterii termice a instalației și creșterea emisii poluante în atmosferă.

Complexitatea proceselor de ardere la sarcini termice variabile conduce la multe dificultăți, condiționate nu numai de caracterul instabil al procesului de obținere a căldurii, dar și de necunoașterea precisă a parametrilor ce caracterizează procesul de ardere în instalațiile reale de producere a căldurii. Devierile valorilor parametrilor în timp, de exemplu, sub influența varietății câmpurilor de temperatură și viteză în instalația de ardere poate conduce la erori semnificative în comparare cu procesul real de obținere a căldurii. Se poate menționa și practica existentă de executare a cercetării proceselor termodinamice, pentru care rezultatul experimental se consideră cel mai valoros, chiar în comparare cu cercetrea teoretică în baza unui model matematic, care conceptual este corect, dar incertitudine valorilor parametrilor incluși în acest model poate conduce la erori semnifuicative a rezultatelor modelărilor matematice a proceselor studiate.

În cazurile, când este posibil de studiat procesele energetice prin modelarea fizică este rezonabil să se utilizeze astfel de procedee și metodologii de cercetare în procesul elaborării unei noi tehnologii și/sau a unui echipament cu parametri mai performanți [7,8,56,66,89,97,98,101,138]. Totodată vom menționa, că utilizarea modelor matematice, care s-au manifestat bine în cercetrae proceselor de ardere este o soluție bună și care trebuie de utilizat, chiar dacă se examinează doar unele aspecte particulare a procesului sau tehnologiei studiate.

Ca exemplu se poate indica la modelele, care au o largă aplicabilitate în studierea proceselor în zonele de formare a amestecului aer-gaze și a procesului de ardere a acestui amestec în focarele instalațiilor reale. Pentru aceasta se pot utiliza parametrii deja cunoscuți a instalațiilor și a echipamentlor utilizate în procesul de asigurare a arderii combustibilului la obținerea căldurii, inclusiv în regimuri cuazistaționre, deci la varierea sarcinii termice.

2.2. Modele matematice pentru zonele de formare a amestecului aer-gaze și de ardere

Modelarea reprezintă acțiuni orientate spre obținerea de noi informații despre procesele analizate, inclusiv, determinarea condițiilor de limită privind asigurarea stabilității proceselor la diferite perturbații interioare și exterioare. Modelul este de obicei o aproximare a sistemului real sau obiectului real, care include cele mai importante caracteristici (estre de dorit cât mai multe), dar totuși, modelul nu trebuie să aibă gradul de complexitatea atât de ridicat, că în condițiile curente și cu mijloacele disponibile noi nu-l putem utiliza întru obținerea rezultatelor dorite. Deci, modelul matematic sau fizic din start prezintă un compromis intre realism și simplitate.

Validarea modelului constituie una din principale probleme, care trebuie soluționată și care are ca scop confirmarea corectitudinii și realismului rezultatelor obținute prin simulări în baza modelului elaborat.

Modelele se pot clasifica în următoarele categorii: matematice, fizice și procesuale (j).

Modelele sunt o construcție logică bazată pe respectarea unor legități cu legături mutuale definite intre componente și subansablurile funcționale, reiese faptul, că aceste modele sunt determinate în primul rând de obiectivul problemei pe care o rezolvăm, precum și de instrumentele pe care le utilizăm. În acest context se pot formula următoarele definiții privind esența și într-o măsură și capacitățile funcționale ale modelelor.

Modelele matematice sunt o descrire prin simboluri matematice și relații construite utilizând algoritmi sau proceduri și ecuații matematice. În funcție de caracterul variabilelor indepnendente introduse în modelul matematic acestea se divizează în modele matematice de tip deterministic (unde variabilele de intrare și cele de ieșire sunt valori fixe), stocastice (unde cel puțin una dintre

valorile de intrare sau cele de ieșire este probabilistică), statice (unde timpul nu este luat în considerare) și dinamice (unde timpul este luat în considerare și interacționează cu celelalte variabile).

Modelele fizice sunt descrise de structuri fizice și relații care în mod curent sunt construite cu o înaltă fidelitate (detaliate) în baza cunoștințelor ce reiese din teorie sau din rezultatele cercetărilor experimentale, care au fost procesate și generalizate conform unor proceduri bine determinate.

Modelele procesuale se reprezentă în simulare prin relații dinamice de tip matematic și de tip logic.

În problemele cu caracter ingineresc modelarea fizică este utilizată pe parcursul a multor secoale. Acesasta se referă și la domeniul de studii denumit gazodinamica, inclusiv a proceselor de ardere.

Modelarea fizică a proceselor de ardere prezintă o acțiune destul de complexă și costisitoare. Din aceste considerente, devine clară competitivitatea și eficiența utilizării modelării matematice la studierea proceselor de ardere în instalații concrete și pentru condiții concrete.

Scopul acestor cercetări constă în selectarea și argumentarea celor mai rezonabile și competitive soluții de realizare constructivă a instalațiilor termice întru sporirea indicilor de eficiență energetică și de economisire a resurselor energetice primare, inclusiv, a gazelor naturale la producerea căldurii prin generarea ei distribuită utilizând și instrumentele de modelare.

Pentru optimizarea unui proces este necesar de selectat și argumentat tipul modelului matematic, care în cel mai bun mod corespunde condițiilor de derulare a proceselor studiate. Pentru aceasta este necesar să ne bazăm pe un set de criterii, care permit estimarea faptului, cât de apropiate sunt obiectivele reale și modelele matematice utilizate pentru cercetarea lor prin simulări sau analize parametrice.

Procedeele principale privind cercetarea proceselor de amestec aer-gaz și procesul de ardere la sarcină variabilă cu utilizarea instrumentului de modelare matematică se prezentat în lucrările de specialitate [10,11,20,22,23]. Modelele propuse se bazează pe următoarele aspecte:

- asigurarea unui grad ridicat de similitudine ale proceselor descrise în model de caracterul proceselor reale în instalațiile tehnice concrete;
- analiza parametrică cu scopul determinării rolului și gradului de influență al parametrilor ce caracterizează procesele de ardere;
- trasarea în baza analizei a direcției și a modalităților de îmbunătățire a proceselor de ardere.

Modelele de stuiu, de regulă, sunt elaborate pe baza unor ipoteze.

La formularea acestor ipoteze se examinează problema și în ce măsură se pot studia procesele de ardere ale gazelor combustibile utilizând modelele matematice cunoscute [56,67,68, 121,137] precum și cât de adaptive sunt aceste modele pentru soluționarea problemelor din domeniul examinat.

În instalațiile cu schimb de căldură intens modelarea proceselor este foarte complexă la toate etapele de ardere. Urmare a acesteia, la elaborarea sau adaptarea modelelor matematice frecvent se neglijează influența schimbului de căldură cu pereții camerei de ardere asupra fluxului amestecului și derulării procesului de ardere.

În caz că se neglijază influența acestui factor, modelele matematice se simplifică în comparare cu arderea altor tipuri de combustibil. Simplificarea modelelor are la bază ipoteza, că procesele se caracterizează de o omogenitate ridicată la toate fazele de ardere ale gazelor naturale. Totuși, pentru a asigura coincidență satisfăcătoare ale rezultatelor modelării și proceselor reale din instalațiile termice este necesar de asigurat un grad ridicat a similitudinii descrierii regimurilor hidrodinamice, condițiilor de admisie a amestecului de ardere și a schimbului de masă și căldură în zona de ardere a modelului matematic cu procesele din instalație.

Se consideră, că pentru ipoteza formulată, cel mai adecvat tip de model matematic pentru studierea proceselor de ardere este modelul bazat pe realizarea ipotezii privind continuitatea procesului de ardere [46,56,67,81,136]. În acest model se reflectă bilanțul dintre fluxul de gaze inițiale și de gaze ce se formează în procesele de ardere într-un volum elementar, include proiecțiile vectorului vitezei instantanee a fluxului de amestec, densitatea gazelor, care depind de presiunea și temperatura substanțelor în volumul elementar.

Caracterul turbionar al mişcării fluxului de aer și fluxului de gaze se descrie de către ecuația lui Navier-Stokes [53, 56,136]. Această relație reflectă echilibrul dintre câmpul de viteze și câmpul forțele exterioare care acționează asupra unității de volum a fluidului de gaze (condiționate de efectele și fenomenele de inerție, gravitație, vâscozitate) în punctul selectat în spațiu și timp.

Totuși, este util de a se menționa următoarele particularități privind utilizarea ecuațiilor pentru cercetarea fenomenului de scurgere. Aceste ecuații au avut ca subiect descrierea scurgerii fluidelor incomprisibile de lichid, ținând cont de vâscozitate ((Navier, an.1822), completată în an.1829 de francezul Poisson) pentru cazul lichidului comprimabil. Relațiile cunoscute sub denumirea "Navier-Stokes" în diferite domenii prezintă de fapt sisteme de ecuații, întru a asigura descrierea matematică a proceselor, ținând cont de proproetățile fizico-mecanice ale mediului cercetat. Aceasta extinde aria utilizării lor la soluționarea problemelor, în care procesele diferă de la condițiile pentru care au fost obținute aceste ecuații.

În cazul unui sistem de fluid incompresibil se utilizează două ansambluri de ecuații:

a) ecuațiile de mișcare;

b) ecuația de continuitate.

În hidrodinamica clasică sub denumirea de ecuația Navier-Stokes se subânțeleje doar o singură ecuație vectorială a mișcării. Pentru cazul luchidului imcopresibil aceasta este o relație matematică pentru descrierea procesului în sistemul de coordonate 2D și 3D și include variabilele ce prezintă timpul, vâscozitatea cinematică, densitatea, presiunea, vectorul câmpului de viteze, câmpul vectorial al forțelor de masă. Presiunea și câmpul de viteze sunt mărimi necunoscute care depind de timp și coordonate în spațiul cercetat al scurgerii fluidului (k).

Ecuația Navier-Stoks ce completează cu ecuația de continuitate, condițiile de limită și inițiale pentru câmpul de viteze, iar în unele cazuri și de ecuația transferului de căldură și ecuația de stare. Pentru cazul completării sistemului cu ecuațiile de transfer de căldură și de stare ecuația Navier-Stokes devine mai complicată, deoarece apar noi variabile, ca vâscozitate dinamică, «a doua vâscozitate" sau volum de vâscozitate, mărimea denumită "delta Kronecker". Concomitent, se modifică și ecuația de continuitate pentru regimul de scurgere a fluidului, ceea ce conduce la sporirea dificultăților obținerii soluției căutate.

Fenomenele menționate deja indică la posibilile dificultăți a utilizării ecuațiiei Navier-Stokes la soluționarea problemelor cu esență inginerescă, care obligatoriu necesită și efectuarea seturilor de cercetări experimentale. A se mai menționa și faptul, că până în prezent nu există soluția analitică a ecuației Navier-Stoks (această ecuație a fost înclusă în setul "*şapte probleme ale mileniului*" de către Clay Mathematics Institute(SUA)).

Utilizarea ecuațiilor Navier-Stokes devine și mai deficilă în cazul examinării proceselor de scurgere a fluidelor sau mediilor compresibile. Astfel, pentru acest caz, se utilizează în calitate de viteză a deformării relative a fluidului vâscos a semisumelor derivatelor parțiale ale vectorului vitezei în punctul dat și vectorului poziționării acestui punct. În acest caz se iau în considerare doar deformarile denumite dilatatoare sau deformații pure. Cum s-a stabilit experimental, mișcarea turbulentă a fluidului real nu poate să fie generată de acest tip de deformare, deci nu poate exista în natură (k). Din acest punct de vedere devine discutabilă rezonabilitatea utilizârii acestui instrument la proiectarea arzătoarelor preconizate pentru funcționare stabilă la sarcini vriabile și asigurarea calității înalte a arderii combustibilului în tot diapazonul de sarcini. Aceasta reiese din faptul, că procesul de formare a amestecului aer-gaz de omogenitate ridicată are loc în regimul turbulent de scurgere, și ca urmare, apar dificultățile sus enumerate privind perspectiva utilizării acestui instrument în direct la soluționare problemei proiectării unui arzător performant pentru condițiile de sarcină variabilă.

Obținerea soluțiilor analitice este deficilă și din cuza caracterului neliniar al proceselor de scurgere a fluidului, precum de necesitatea ridicată privind corectitudinea formulării și realizării în modelul matematic a condițiile inițiale și de limită.

Soluția ecuației Navier-Stokes este "sensibilă" la devierile valorilor mărimilor din această ecuație. Astfel, în caz de depășire a unei valori critice a criteriului Reynolds, soluția analitică exactă pentru scurgerea spațială sau plană descrie o mișcare haotică, turbulentă. Cu micșorarea valorii numărului Reynolds sub valoarea critică, soluția obține un caracter nexaotic de scurgere. Sensibilitatea extrem de ridicată a soluției la devierea valorilor coeficienților ecuației în regim de turbulență se poate sesiza din fapul, că modificarea valorii numărului Reynolds cu 0,05% în zona menționată (apropiată de valoarea critică a criteriului pentru condițiile examinate) are ca urmare faptul, că soluțiile pentru regimul analizat se deosebesc extrem de mult una de alta (h)

Completarea cu ecuațiile de transfer de căldură și masă a ecuației Navier-Sotkes permte modelarea proceselor de difizie, convecție termică în lichide, comportarea amestecurilor cu mai multe componente de diferite lichide, ce deja se apropie de esența problemei noastre, studierea poceselor și determinarea condițiilor de funcționare stabilă a arzătoarelor la sarcini variabile. Totuși, ca urmare a sensibilității ridicate ale soluțiilor la devierea valorilor coeficienților ecuației, aplicarea ei pentru soluționarea problemelor inginerești, a cărui grad de complexitate nu se prezintă atât de înalt, poate crea dificultăți, iar eforturile necesare pentru depășirea acestor dificultăți nu vor fi rezonabile și competitive cu alte procedee de invesatigare, de exemplu, modelarea fizică a proceselor care au la bază ample informații statistice obținute prin cercetări experimentale și din exploatatre.

Se va examina în contextul problemei formulate în lucrare unele practici de aplicare a modelelor matematice, ținând cont și de obervațiile expuse ce se referă la ecuația Navier-Stokes, precum și de practicile de utilizare pentru cazuri particulare a acestei ecuații. În cazul mișcării permanente (regim staționar), termenii din expresiile ce descriu procesele în dinamică și care conțin derivate în raport cu timpul au valorile zero. În acest caz se consideră, că în orice punct al spațiului (x,y,z) parametrii care caracterizează starea mediului continuu și omogen (u,v,w,p,T) sunt mărimi cu valori constante, ceea ce corespunde cu tratarea dinamicii procesului de curgere a fluxului de gaze după Euler, iar din punct de vedere al matematicii, reiese că în toate ecuațiile ce descriu acest proces derivatele parțiale în raport cu timpul sunt nule [103].

Ecuațiile Navier-Stokes pentru componentele w_x, w_y, w_z ale vectorului vitezei $\vec{w} = (w_x, w_y, w_z)$ în sistemul cartezian de coordonate după Euler se prezintă de relațiile:

$$\begin{split} w_{x} \frac{\partial w_{x}}{\partial x} + w_{y} \frac{\partial w_{x}}{\partial y} + w_{z} \frac{\partial w_{x}}{\partial z} &= \frac{\Delta \rho}{\rho} \cdot g_{x} - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial x} + \\ + \gamma \left(\frac{\partial^{2} w_{x}}{\partial^{2} x} + \frac{\partial^{2} w_{x}}{\partial^{2} y} + \frac{\partial^{2} w_{x}}{\partial^{2} z} \right) + \frac{1}{3} \gamma \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial w_{x}}{\partial x} + \frac{\partial w_{x}}{\partial y} + \frac{\partial w_{x}}{\partial z} \right) \\ w_{x} \frac{\partial w_{y}}{\partial x} + w_{y} \frac{\partial w_{y}}{\partial y} + w_{z} \frac{\partial w_{y}}{\partial z} = \frac{\Delta \rho}{\rho} \cdot g_{y} - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial y} + \\ + \gamma \left(\frac{\partial^{2} w_{y}}{\partial^{2} x} + \frac{\partial^{2} w_{y}}{\partial^{2} y} + \frac{\partial^{2} w_{y}}{\partial^{2} z} \right) + \frac{1}{3} \gamma \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial w_{x}}{\partial x} + \frac{\partial w_{y}}{\partial y} + \frac{\partial w_{y}}{\partial z} \right), \end{split}$$
(2.1)
$$w_{x} \frac{\partial w_{z}}{\partial x} + w_{y} \frac{\partial w_{z}}{\partial y} + w_{z} \frac{\partial w_{z}}{\partial z} = \frac{\Delta \rho}{\rho} \cdot g_{z} - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial z} + \\ + \gamma \left(\frac{\partial^{2} w_{z}}{\partial^{2} x} + \frac{\partial^{2} w_{z}}{\partial^{2} y} + \frac{\partial^{2} w_{z}}{\partial^{2} z} \right) + \frac{1}{3} \gamma \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial wz_{z}}{\partial x} + \frac{\partial w_{z}}{\partial y} + \frac{\partial w_{z}}{\partial z} \right), \end{split}$$

unde:

 $\Delta \rho$ - este diferența dintre densitatea gazelor în flux și densitatea mediului extern; ρ - densutatea fluxului de gaze;

 $\vec{g} = (g_x, g_y, g_z)$ - vectorul accelerației gravitației;

 γ - coeficientul de vâscozitate dinamică.

În formă vectorială sistemul de ecuații (2.1) se prezintă de expesia:

$$(\overline{w}, grad)\overline{w} = (\frac{\Delta\rho}{\rho})\overline{g} - (1/\rho)grad\rho + \gamma\Delta^2\overline{w} + (1/3)grad\gamma div\overline{w}$$
(2.2)

După cum este menționat în literatura de specialitate [53, 56, 136], arderea combustibilului gazos se constituie din câteva reacții, care decurg cu viteze dependente de concentrațiile componentelor reactante.

Ecuația schimbului de masă în procesul de ardere omogenă pentru cazul examinat reflectă procesul de ardere.

Dacă procesul de ardere este staționar, variația sumară a concentrației este zero și ca urmare [56] se obține relația:

$$n_i \cdot u_i = -div(w, X_i) + div(D) \cdot grad(X_i)$$
(2.3)

unde:

 u_i – viteza reacției în volumul elementar;

 X_i – concentrația componentei i;

D - coeficientul difuziei acestei componente;

 n_i – coeficientul stoechiometric a componentei *i*, care se determină din următoarea relație:

$$n_1A_1 + n_2A_2 + ... \Longrightarrow m_1B_1 + m_2B_2 + ...$$
 (2.4)

unde:

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

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

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

Ecuația (2.3) privind transferul de masă poate fi aplicată pentru fiecare componentă a reacțiilor sau se poate aplica o ecuație comună, transformând ecuația (2.3) în următoarea formă:

$$n \cdot u = -div(\overline{w}, X_{A}) + div(D) \cdot grad(X_{A})$$
(2.5)

Ecuația arderii omogene se obține din ecuația maselor active, în conformitate cu care avem:

$$n \cdot u = K_1 X_{A_1}^{n_1} \dots - K_2 X_{A_1}^{m_1} X_{B_2}^{m_2} - \dots$$
(2.6)

unde:

 K_1 , K_2 – constante, care reflectă reacțiile directe și inverse;

 X_A , X_B – concentrațiile componentelor inițiale ale reacțiilor directe și inverse.

Din ecuațiile (2.5) și (2.6) obținem ecuația, care descrie integral variația concentrației componentelor ce participă în procesul de ardere omogenă, transferul difuzional și convectiv de masă:

$$-div(w, X_{i}) + div(D) \cdot grad(X_{i}) = K_{1}X_{A_{1}}^{n_{1}} \dots - K_{2}X_{A_{1}}^{m_{i}}X_{B_{2}}^{m_{2}} - \dots$$
(2.7)

Modelul matematic al proceselor de ardere se completează cu ecuația balanței energetice a procesului, care reflectă echilibrul dintre căldura generată și cea consumată pentru cazul, când concomitent se degajă și se consumă căldură.

Viteza de degajare a căldurii în reacția chimică (dQ) se determină din expresia următoare:

$$dQ = k_0 e^{(-e/(R/t))} \cdot \sqrt{T} \cdot f(C_1, C_2) \cdot q \cdot dV$$
(2.8)

unde:

q - căldura degajată în cadrul reacției;

 $f(C_1,C_2)$ – funcție, care reflectă influența concentrației substanțelor asupra vitezei de ardere;

V- un volum elementar;

 k_0 -coeficient de pe lângă funcția exponențială.

Pentru un singur tip de combustibil gazos la neglijarea schimbului radiant de căldură între diverse volume ale curentului de gaze și pereții camerei de adere, diferenței capacității termice specifice a gazelor arse, care poate condiționa un transfer de energie în zona de arderea prin transferul difuzional de masă, ecuația (2.8) se poate transcrie astfel:

$$div(\lambda_T gradT) + k_0 e^{(-e/(R/t))} \cdot \sqrt{T} \cdot f(C_1, C_2) \cdot q = \rho C_T(w\nabla)T$$
(2.9)

Sistemul de ecuații (2.1-2.9) se consideră, conform literaturii de specialitate, ca un sistem, care în linii mari descrie procesele de ardere a gazelor, dacă corect se vor aplica condițiile limită, corect și precis vor fi determinate valorile mărimilor fizice care sunt parți componente ale modelului examinat. Incertitudinea la definirea valorilor mărimilor va avea ca urmare și sporirea erorilor soluțiilor obținute prin aceast procedeu.

Modelarea matematică se prezintă ca un instrument foarte bun și eficint, dar este necesar la utilizarea lui de a satisface mai multe condiții atât inițiale, cât și marginale de limită.

Complexitatea metodei și incertitudinea valorilor mărimilor fizice, care la diferite faze a procesului pot devia de la cele utilizate în model la faza de formulare a datelor inițiale poate crea mai multe dificultăți, care se referă nu numai la obținerea soluției, dar și la estimarea gradului de corectitudine și coincidență cu caracteristicile procesului studiat, care se pot obține prin modelarea fizică.

Vom menționa, că modelarea matematică poate asigura stabilirea unbor legități a derulării procesului studiat prin analiza parametrică, care constă în executarea a mai multor calcule și simulări matematice pentru ansambluri de valori a mărimilor fizice ce intră în modelul matematic. Obținerea acestor trenduri este benefică pentru o mai bună organizare a etapei studiului experimental, care este în principiu mai costisitor în comparare cu un studiu teoretic.

Deoarece pentru calitatea procesului de ardere este exterm de important să asigurăm omogenitatea flăcării la arderea amestecului aer-gaz, ne vom axa pe problema estimăii gradului de omogenitate a flăcării prin utilizarea instrumentlor statisticii matematice, deoarece procesele de ardere, inclusiv la sarcini variabile au un caracter stohastic, cuazistaționar, iar parametrii care determină calitatea arderii își pot schimba valorile curente. Din aceste considerente este foarte important să se cunoască sensibilitatea procesului de ardere ca urmare a devierii unora din parametrii semnificativi, care caracterizează cantitativ și calitativ calitatea arderii. În acest context, vom menționa, că calitatea arderii amestecului aer-gaz depinde în primul rând de gradul de omogenitate a amestecului aer –gaz în corpul flăcării.

2.3.Estimarea omogenității flăcării amestecului aer-gaz

Procesul de formare a amestecului aer-gaze, în mare măsură este determinat de structura aerodinamică a curentului (fluxului) de gaze și aer.

Determinarea condițiilor privind asigurarea arderii complete (optimale) se poate efectua prin simularea matematică ale acestor procese și efectuarea unei analize parametrice cu scopul estimării impactului diferitor factori asupra calității arderii. Pentru aceasta este necesar de avut o bună aproximare a modelului matematic cu procesele în instalația studiată și cu parametrii combustibilului utilizat.

Problema se prezintă destul de dificilă, deoarece necesită pentru elaborarea modelului informații concrete cantitative, care se pot obține preponderent prin studii experimentale. Investigațiile experimentale trebuie să fie bine organizate și executarea lor să se bazeze pe teoria planificării cercetărilor experimentale. Ca prim pas spre atingerea scopului privind arderea calitativă a combustibilului la producerea căldurii prin ardere în condițiile date se prezintă argumentarea algoritmului de procesare a informațiilor statistice, ce caracterizează procesul de ardere a combustibilului gazos întru asigura cu eforturi și cheltuieli minimale atingerea scopului formulat.

Ca criteriu de eficiență la această fază se poate considera minimizarea numărului de probe privind cercetările experimentale, care ar asigura nivelul prestabilit de precizie și credibilitate a informației experimentale necesare pentru validarea rezultatelor cercetărilor experimentale, care în fond constituie un procedeu de analiză parametrică.

În calitate de instrumente pentru determinarea valorilor parametrilor utilizați pentru estimarea caracteristicilor cantitative ale procesului de ardere în condițiile prestabilite de scopul lucrării se utilizează metoda planificării experimentului (elaborarea matricei executării investigațiilor experimentale), iar pentru verificarea corectitudinii rezultatelor și estimarea semnificației factorilor de influență, precum și a gradului corelării lor se folosește metoda bazată pe analiza variației mărimilor respective.

Analiza diferitor aspecte ale elaborării unui model matematic sau fizic a proceselor studiate conduce la următoarele, privind paşii necesari de efectuare a exercițiului întru a atinge obiectivul stipulat:

• formularea clară a obiectivului investigației;

- selectarea sau formularea ansamblului de definiții, care în plină măsură caracterizează obiectul sau subiectul, care se preconizează pentru a fi prezentat printr-un model matematic;
- întocmirea sau elaborarea sistemului de ecuații ce descriu obiectul sau procesele și care sunt în concordanță cu ansamblului de definiții selectate pentru obiectul studiat;
- obținerea soluției matematice a sistemului de ecuații ce prezintă modelul matematic al obiectului;
- evaluarea gradului de corespundere a rezultatelor obținute cu scopul formulat al investigației, compararea cu date experimentale cunoscute și cu rezultatele obținute prin alte metode de calcul etc.

Modelarea matematică include descrierea calitativă și cantitativă a procesului, având totodată și obiectivul de a evita cât este de posibil erorile condiționate de faptul simplificării modelului matematic.

În modelul matematic, de menționat nu întotdeauna este posibil de atribuit proceselor reale o relație sau funcție absolut exactă pentru întregul domeniu de definire a procesului examinat. Cel mai frecvent se utilizează expresii și funcții care descriu procesele cu un grad oarecare de aproximare. Problema chiar poate fi de acea natură, că noi vom fi satisfăcuți și de faptul unei descrieri aproximative a proceselor nu pe întregul domeniu de evoluție a fenomenului, dar doar în zona sau spațiul din jurul unui punct din domeniul examinat.

La selectarea și argumentarea modelului arzătorului de gaze naturale s-a ținut cont de recomandările din literatura de specialitate [53,75,77].

Ținând cont de esența fizică a problemei propuse pentru examinare și recomandările din din literatura de specialitate [53,75,77], ca parametri semnificativi privind gradul de influență asupra calității procesului de ardere a gazelor s-au identificat patru mărimi:

- diametrul echivalent al stabilizatorului arzătorului (Ds, mm);
- viteza amestecului (*w*, m/s);
- distanța de la gura de ieșire a arzătorului (*x/D*, raportată la diametrul ieșirii arzătorului);
- distanța de la axa arzătorului (*h*, mm).

Ultimul parametru s-a examinat pentru două valori limită.

Deoarece calitatea procesului de ardere a combustibilului depinde de omogenitatea amestecului, iar formarea amestecului este perturbată de o multitudine de factori cu caracter aleatoriu, reiese și posibilitatea acceptării următoarei sugestii privitor la <u>caracterul stohastc și</u> <u>aleatoriu</u> al proceselor atât de formare a amestecului aer-gaz, cât și a însuși procesului de ardere. Urmare a acestora se califică necesar, ca problema formulată să fie examinată cu utilizarea statisticii matematice la lansarea ipotezei privind asigurarea condițiilor de omogenitate a flăcării amestecului aer-gaz. În acest context, ca un obiectiv specific se prezintă problema verificării ipotezei privind egalitatea dispersiilor $\sigma^2 (Y_1) = \sigma^2 (Y_2) = \ldots = \sigma^2 (Y_n)$, unde $Y_1, Y_2, ..., Y_n$ sunt factorii de influență asupra omogenității flăcării. Valorile dispersiei (σ^2) se calculează, conform [53, 56, 136], ținând cont de caracterul distribuției valorilor mărimilor aleatore:

$$S_g^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{l=1}^m (Y_{lg} - \overline{Y}_g)^2$$
(2.10)

Pentru verificarea ipotezei despre omogenitate a dispersiilor (σ^2), conform literaturii de specialitate [59,82,144] se aplică testul Kohren:

$$G = \frac{\max\left\{S_{g}^{2}\right\}}{\sum_{g=1}^{N} S_{g}^{2}}$$
(2.11)

Testarea ipotezei de adecvare se efectuează cu ajutorul testului Fisher, care permite verificarea ipotezei – nule despre egalitatea a două dispersii generale σ_{ad}^2 și $\sigma^2 \{Y\}$.

Criteriul F se determină din relația:

$$F = S_{ad}^2 / S^2 \{Y\}$$
(2.12)

Pentru testarea semnificației mărimilor de intrare a modelului expus în literatura de specialitate [5,26,151,172] se aplică testul Snedecor, care permite analiza variației unei variabile aleatoare, ținând cont de numărul gradării de libertate ale modelului și numărul gradelor de libertate ale valorii patrate a devierii.

Astfel se poate face o evidențiere a principalelor parametri constructivi ai arzătorului, care influențează omogenitatea amestecului aer-gaze:

- distanța de la gura arzătorului *x/D*;
- distanța de la axa gurii arzătorului *h/R;*
- produsul mărimilor *x*h*;
- parametrii constructivi ai stabilizatoarelor din arzător;
- viteza amestecului aer-gaz.

O caracteristică semnificativă este ecuația distribuției concentrației gazului (C_g) în dependență de distanța de la ieșirea din arzător pentru fiecare secțiune paralelă axei flăcării amplasată la distanța *h* de la axa flăcării.

Ecuația (concentrația gaz în amestec- C_8) este obținută în mod empiric și are următoarea formă comună pentru toate tipurile de stabilizatoare:

$$C_{g} = k_{1} \cdot (x/D)^{3} + k_{2} \cdot (x/D)^{2} + k_{3} \cdot (x/D) + C, \qquad (2.13)$$

unde:

 k_1 , k_2 , k_3 - sunt coeficienți de proporționalitate;

x/D - distanța relativă a secțiunii de la gura arzătorului;

C – constantă.

Astfel, factorii (principali) care influențează semnificativ omogenitatea calității amestecului sunt gradul de turbulență a amestecului și viteza lui, iar viteza de diminuare a câmpului concentrației gazului caracterizează calitatea formării amestecului, ceea ce determină unghiul de desfacere și lungimea flăcării.

2.4. Metodologia cercetării experimentale privind calitatea amestecului aer-gaze și a procesului de ardere

Calitatea amestecului aer-gaze determină performanța procesului de ardere. Deoarece calitatea amestecului este determinată de parametrii constructivi ai arzătorului (ai jeturilor), reiese că scopul sporirii eficienței arderii gazelor naturale la producerea energiei termice se poate atinge în primul rând prin perfecționarea și ridicarea performanțelor arzătoarelor.

Există mai multe cercetări în această direcție, dar în prezent problemele existente cu care se confruntă poiectanții arzătoarelor de gaze nu sunt elucidate și soluționate la un nivel satisfăcător. În calitate de o problemă semnificativă se poate menționa problema turbulenței în jeturile cu rotirea fluxului de gaze.

Turbulența determină interacțiunea dintre moleculele de gaze și oxidant, influențează viteza de propagare a flăcării și gradul de intensificare a schimbului de masă și căldură în procesul de ardere.

Calitatea procesului de amestec al gazului cu aerul se estimează cu mărimea ce caracterizează intensitatea transferului de masă, inclusiv, distribuția componentelor inițiale în amestecul aer-gaz.

Cantitativ fenomenul de rotire a fluxului produs, calitatea se poate calcula din expresia [90,119] prin determinarea valorii mărimii n_j numită intensitatea de rotire a fluxului (torentului de amestec aer-gaz) de către arzător:

$$n_j = \frac{a \cdot b}{d^2} = \frac{w_a}{w_t} \tag{2.14}$$

unde:

a, *b* – lățimea și lungimea racordului de intrare în canalul arzătorului;

d – diametrul canalului arzătorului;

 $w_a w_t$ – viteza medie axială și viteza tangențială a fluxului (torentului) de aer între racordul ventilatorului și canalul arzătorului.

Parametrul n_j caracterizează raportul dintre viteza medie tangențială și viteza medie axială a torentului de amestec aer-gaz. Acest raport se utilizează pentru caracteristica cantitativă a fenomenului de rotire a torentului de aer în jet. Calcularea valorii parametrului n_j se poate face și cu alte expresii pentru diverse realizări constructive ale arzătoarelor, însă valorile sunt foarte apropiate [52,53]. Parametrul n_j are un sens fizic concret, care caracterizează capacitățile registrului (turbulatorului) arzătorului de realizare a procesului de amestecare în regim turbulent.

Un alt parametru utilizat pentru caracterizarea performanței aerodinamice a arzătoarelor îl constituie valoarea razei r_i a flăcării în amontul stabilizatorului, care depinde de intensitatea de rotire a amestecului aer-gaz în amontul stabilizatorului [53,86-88]. Structura câmpului de viteze depinde și de parametrul r_i . Viteza axiala și viteza tangențială la ieșirea din canalul arzătorului sunt funcții a mărimilor x_i și r_i . În fig. 2.1 se prezentă conceptual elementele principale ale câmpului de viteze în procesul de formare a amestecului aer-gaz.

Analiza proceselor de amestecare în regim turbulent se confruntă cu mai multe dificultăți, dar totuși, utilitatea prezentării parametrilor ce caracterizează acest proces în sistemul de unități relative poate asigura o tratare generalizată a procesului de elaborare a soluțiilor constructive de realizare a arzătoarelor de diferită destinație și realizare constructivă. În calitate de mărimi de bază în acest caz se pot utiliza viteza U_0 , viteza de ieșire a fluxului de gaz din arzător și raza r_0 , raza gurii de ieșire a arzătorului (fig. 2.1).

În diferite surse bibliografice sunt expuse informații care se pot utiliza pentru a elabora o metodă inginerească de calculare a arzătoarelor, apte de a funcționa la sarcini termice variabile. Pentru aceasta este necesar de avut caracteristici exerimentale, care descriu raporturile componentelor vitezei axile U_x/U_0 și tangențiale U_y/U_0 și a modulului vitezei în punctul *i*, deci U_i/U_0 în funcție de variabila independetă prezentată de raportul r_i/r_0 . Parametrul r_0 este raza gurii arzătorului, iar parametrul r_i prezintă distanța de la axa *x* a zonei de formare a amestecului aergaz, deci punctul cu coordonatele (x_i ; r_i). Pentru descrierea caracteristicilor câmpului de viteze în sistemul de unități realative vom utiliza funcțiile f_1 , f_2 , f_3 , în care $f_1(U_x/U_0) = F(r_i/r_0)$, $f_2(U_y/U_0) = F(r_i/r_0)$, $f_i(U_i/U_0) = F(r_i/r_0)$.

Utilizarea caracteristicilor experimentale și a altor caracteristici aerodinamice a arzătorului (câmpului vitezelor axiale și tangențiale la ieșirea din canalul arzătorului (f_1, f_2, f_3)), conform literaturii de specialitate (figura 2.2, [53]) permite estimarea obiectivă a performanței aerodinamice a arzătoarelor, ținîndu-se cont de recomandările din [53,83,84,86-88,160]. Caracteristicile din fig. 2.2-2.4 [53,83,84,86-88,160] sunt necesare pentru faza de elaborare și cercetare experimentală a variantelor de realizare constructivă a arzătoarelor, care pot funcționa la sarcini variabile. Informațiile din fig. 2.2-2.4 [53,83,84,86-88,160] permit determinarea valorilor limită ale vitezelor de scurgere a amestecului aer-gaz pentru care se asigură stabilitatea torentului amestecului aer-gaz la varierea sarcini termice.

În calitate de parametri care caracterizează procesul de amestec în dinamică (a vedea fig. 2.2) se utilizează parametrii: U_0 - viteza fluxului de gaz la ieșirea din stabilizator; U_x componenta axială a vitezei U în punctul plasat la distanța *x* de la gura arzătorului și la distanța *r*de la axa *x* în zona de amestec; U_y - viteza tangențială a torentului aer-gaz în zona de amestec în

punctul cu coordonatele (x_i , r_i); U_i - modulul vectorului vitezei amestecului aer-gaz în punctul cu coordonatele (x_i , r_i).



Fig. 2.1. Formarea zonei de recirculație (curent invers) în curentul turbulent.

Compnetele U_x și U_y a vitezei U_i au diferite valori în spațiul zonei de amestec aer-gaz. În realitate, fincțiile ce caracterizează evoluția vitezei U_i și a componentelor ei U_x și U_y sunt neliniare în dependență de raportul mărimilor r_i/r_0 . Deoarece determinarea în formă analitică a dependenței acestor mărimi de raportul r_i/r_0 constituie o problemă deficilă, la proiectarea arzătoarelor se utilizează informațiile obținute pe cale experimentală.

Informații privind particularitățile câmpului de vitețe în zona de amestec sunt în majoritatea cazurilor doar pentru regimul staționar de scurgere privind compnentele vitezelor torentului aer-gaz în zona de amestec. Caracterizarea câmpului de viteze în zona de amestec se face pentru un diapazon limitat de variere a marimii r_i/r_0 . De obicei se examinează evoluțiile componentelor vitezelor torentului pentru diapazonul $0 < r_i/r_0 < 1$.



Fig.2.2.Câmpul vitezelor axiale și tangențiale la ieșirea din canalul arzătorului (f1, f2, f3) []

Intensitatea rotirii fluxului amestecului aer-gaz are impact asupra repartiției presiunii statice în interiorul flăcării, ceea ce poate conduce la efecte nedorite, precum sunt ruperea flăcătrii de la arzător și/sau pătrunderea flăcării în arzător. Efectele de rupere a flăcării sunt determinate și de unghiul de înclinare a paletelor stabilizatoarelor (turbulatoarelor), care influențează semnificativ structura aerodinamică a torentului aer-gaz, de exemplu: varierea intensității de rotire (r_i) [53,86-88] a torentului conduce la majorarea componentei tangențiale a vitezei (V_g și V_a); majorarea unghiului de înclinare a paletelor turbulatorului conduce la rotirea mai intensă a torentului aer-gaz și deplasează vitezele maximale de deschidere a arzătorului.

Totodată, modificarea intensității de rotire și a valorii unghiului de înclinare a paletelor turbulatorului au impact asupra repartiției presiunii în zona de amestec aer-gaz. În figura 2.3 [50] sunt prezentate caracteristicile ce se referă la descrierea comportării presiunii statice P, și a unghiul de înclinare a paletelor (α) turbulatorului în formă grafică, care au fost construite în baza analizei informației bibliografice [50,53,84,85-88,108,114,115].

Aceste caracteristici permit estimarea particularităților devierii presiunii amestecului aergaz în zona respectivă în funcție de intensitatea de rotire (n) a torentulu. Se poate constata, că la o intensitate înaltă de rotire a torentului, creșterea presiunii statice locale în zona de recirculare este mai intensivă în comparare cu cazul regimurilor cu valoarea intensității de rotire n mai scăzută.



Fig. 2.3. Dependența presiunii statice de intensitatea de rotire a torentului în canalul arzătorului, (α - unghiul de înclinație a paletelor)

Dependența presiunii statice P [50,84,85, 88,89,114,115] de distanța (x) de la gura arzătorului este prezentată în fig. 2.4 (a) și (b) în funcție de valoarea variabilei independente r_i/r_0 [86-88,89]. Analiza caracterului dependenței presiunii statice P în zona de recirculare a torentului indică la faptul, că în această zonă are loc micșorarea valorii presiunii statice P în apropierea pereților canalului cu micșorarea intensității de rotire n a torentului amestecului aergaze în funcție de parametrul r_i/r_0 .

Micșorarea intensității de rotire *n* este condiționată de particularitățile realizării constructive ale jetul de gaze și de către valoarea unghiului α a paletelor turbulatorului arzătorului.



64



Fig. 2.4. Câmpul presiunilor statice în canalul arzătorului ($\alpha = 0^{\circ}$; $\alpha = 20^{\circ}$). (n_i - intensitatea de rotire a fluxului de jet)

Fenomenul de schimbarea a valorii presiunii statice P în zona de ardere, ținînduse cont de datele din literatura de specialitate [50,84,85,88,89,114,115] are două consecințe:

- a) presiunea statică P, care este mai înaltă în apropierea pereților canalului, deseori duce la scurgerea de amestec aer-gaz din canalul arzătorului şi ca urmare apare fenomenul de ardere a combustibilului în jurul canalului sau deflagrații cu consecințele respective;
- b) pe măsura apropierii de axa gurii arzătorului presiunea statică P se micşorează, devine mai mică ca presiunea medie a torentului, şi ca urmare se formează un torent invers, care atrage flacăra în interiorul canalului arzătorului (figura 2.1).

O influență semnificativă asupra procesului de formare a amestecului de aer-gaz îl au:

- a) valoarea vitezei curente a fluxului de gaze (V_g), și
- b) valoarea vitezei curente a fluxului de aer (V_a),

deci valorile care determină atât transferul de masă și căldură, cât și pulsațiile transversale ale fluxului de căldură.

Viteza curentă a fluxului, începând cu anumite valori ale intensității de rotire pentru un anumit unghi de înclinare, condiționează o comportare contradictorie a torentului la scurgere, de exemplu, pentru unghiul de înclinare $\alpha = 45^{0}$ viteza curentă crește mai accelerat în comparare cu alte valori ale unghiului de înclinare cu valori mai mici de 45^{0} ($\alpha = 20^{0}$ și $\alpha = 30^{0}$). Caracterul influenței acestui parametru este prezentată în figura 2.5 (unghiul de deschidere a flăcării pentru diverse tipuri de arzătoare (moduri de rotire a jetului de aer), (mărimea *n* caracterizează efectul de rotire a amestecului aer gaz și are un impact evident asupra fenomenului ruperii/pătrunderii flăcării în arzător ca și valoarea unghiului α a paletelor

turbulatorului arzătorului).



Fig. 2.5. Unghiul de deschidere a flăcării pentru diverse tipuri de arzătoare (moduri de rotire a jetului de aer: M - melc, AT- axial-tangențional, T- tangențional, T-L - tangențional-lateral).

O altă particularitate a varierii valorilor vitezelor curente a torentului fluxurilor de gaze (V_g) și aer (V_a) constă în fenomenul de localizare a zonei de viteze maxime a fluxurilor de gaze și aer, care în mod esențial influențează procesul de amestecare, iar în rezultat și calitatea procesului de ardere.

Cunoscând valorile vitezelor V_g și V_a avem posibilitatea de a estima valorile parametrilor geometrici ai flăcării în zona de ardere, deoarece valorile parametrilor geometrici admisibili a flăcării (lungimea de la gura arzătorului și raza maximală de la axa de simetrie) sunt limitați de spațiul focarului.

La proiectarea arzătorului este necesar obligatoriu de ținut seama de aceste limitari, deoarece în alt caz se pot obține regimuri de contact direct a flăcării cu pereții focarului, ce conduce la o diminuare esențială a calității procesului de ardere și de diminuare a temperaturii flăcării. Contactul direct al flăcării cu pereții focarului conduce la o corodare rapidă a focarului, care se poate finaliza cu afectarea lui și pierderea capacității de funcționare, deci la refuzul complet de funcționare al instalației. În cazul de utilizare a arzătorelor puterea cărora se reglează în trepte - de putere constată, se face ajustraea parametrilor flăcării la regimul respectiv de putere prin ce și se limitează riscul de contact direct a flăcării cu pereții focarului.

În cazul sarcinilor care se modifică aleatoriu și lent asigurarea condițiilor de excludere a contactului direct a flăcării cu pereții focarului condiționează mai multe dificultăți. Se poate menționa, că arzătoarele de tip standard în regim de putere termcă constantă nu pot exclude acest risc de contact direct a flăcării cu pereții focarului, care poate conduce la un refuz timpuriu a instalației.

Soluția, care poate exclude consecințele nedorite privind apariția unui regim de contact direct a flăcării cu pereții focarușlui constă în reglarea valorilor vitezei torentului de gaz V_g și a torentului aer V_a la ieșirea din gura arzătorului.

Se poate indica, că pentru a regla valorile vitezelor V_g și V_a este propus de utilizat în calitate de parametru informativ mărimea χ (a vedea formula 1.5 din cap.1), ținînduse cont de datele din literatura de specialitate [10,16,30,44,48,83,87]. Totuși, este necesar de menționat, că rezultatele privind proiectarea și producerea arzătoarelor, ținând cont de acest parametru sunt valabile numai pentru zone ce se află la o distanță suficient de mare de la deschiderea arzătorului.

În realitate, toate metodele de calcul a procesului de formare a amestecului aer-gaz sunt bazate pe ipoteza de pătrundere a curentului gazelor din jetul de gaze în curentul de aer.

Acest procedeu permite estimarea cantitativă a procesului de amestecare în arzătoare. În calitate de factor cheie se poate indica următoarea particularitate.

Efectuarea calculului ingineresc deplin la proiectarea sau alegerea arzătoarelor este posibilă numai dacă se ține cont și de formarea amestecului în focar, care are o influență semnificativă asupra acestor procese.

În calitate de obiectiv specific al cercetării se poate considera problema lansării unei ipoteze bazate pe fizica proceselor de formare a amestecului aer-gaz, ținând cont de particularitățile și condițiile în care se produce arderea.

Aceasta trebuie să se bazeze pe o cunoaștere a particularităților constructive a zonei de ardere (focarului), gradul impactului factorilor de influență asupra omogenității și stabilității flăcării la apariția perturbațiilor aleatore interne și externe.

În calitate de factori de influență asupra calității arderii se pot indica: omogenitatea amestecului aer-gaz, unghiul de desfacere a flăcării și lungimea flăcării [80,95,122,129].

Studierea influenței factorilor indicați asupra calității arderii amestecului se efectuează prin determinarea concentrației de gaz în amestecul de aer-gaz (C_g), care se calculează cu formula:

$$C_{g} = \frac{n}{(1 + \alpha \cdot V_{0})} \cdot 100, [\%]$$
(2.15)

unde:

 C_{g} - cota concentrației gazului în amestecul aer-gaze;

n - cota volumică de gaz (metan) în combustibilul gazos;

a - coeficientul excesului de aer;

 V_0 - aerul minim necesar arderii teoretice a unui m³_N de gaz metan.

Efectuarea cercetărilor experimentale a influenței cotei gazului în amestec asupra calității procesului de ardere, de exemplu, prin efectuarea de măsurători directe a concentrației gazului sunt destul de dificile și costisitoare.

Din aceste considerente, în cercetările experimentale se utilizează metoda de simulare, de substituire a gazului cu aer încălzit, ce simplifică efectuarea probelor experimentale, metodă utilă, ținînduse cont de datele din literatura de specialitate [83,129,176,178]. Această metodă se bazează pe analogia între procesele de transfer de masă și căldură.

Concentrația gazului în amestecul aer-gaz este determinată de temperaturile componentelor și amestecului aer-gaz în diverse puncte ale "flăcării". Această investigație se face în procesul realizării a mai multor pași șau iterații.

De exemplu, la primul pas se calculează concentrația gazului în amestec (C_g), deci se determină în mod indirect parametrul C_g cu ajutorul relației:

$$C_{g} = \frac{(t_{i} - t_{a})}{(t_{g} - t_{a})} \cdot 100, [\%]$$
(2.16)

unde:

 t_i – temperatura amestecului în punctul "*i*" al "flăcării";

 t_{g} , t_a – temperaturile inițiale ale aerului cald și cel rece.

La următorul pas se determină concentrația medie (C_g^m) preponderată a gazului în "flăcără" cu formula:

$$C_{g}^{m} = \sum_{j=1}^{n} \left(\sum_{i=1}^{k} C_{g}^{i} / k \right) / n$$
(2.17)

unde:

n - numărul de puncte;

k - numărul de repetări a măsurării în fiecare punct;

 C_g^i - cota gazelor în fluxul de amestec măsurată în punctul i.

Concomitent, calculând concentrația medie pe diverse secțiuni, se calculează pentru fiecare punct *i* abaterea concentrației ΔC_i de la valoarea medie calculată în "flacără", deci se determina indicatorii ce caracterizează neomogenitatea amestecului ΔC_i , utilizând relația:

$$\Delta C_i = C_g^{\ i} - C_g^{\ m} \tag{2.18}$$

După formarea seriei valorilor numerice ale mărimilor $\{\Delta C_i\}$, urmează a se determina stabilitatea procesului de ardere atât în interiorul flăcării, cât și la granițele ei pentru diverse cazuri: tipuri de arzătoare, forme de stabilizatoare, puteri termice ale arzătoarelor.

În baza procesîrii datelor experimentale și celor calculate se poate determina parametrul denumit "grad de stabilizare a concentrației" (C_g^i) [109,135], care se determină cu ajutorul următoarei relații:

$$C_{g}^{i} = \sum_{j=1}^{n} \left(\sum_{i=1}^{k} C_{g}^{i} / k \right) / n / (n \cdot k \cdot C_{g}^{m})$$
(2.19)

unde:

$$C_{g}^{m} = \frac{(t_{m} - t_{a})}{(t_{g} - t_{a})} \cdot 100, [\%].$$
(2.20)

Temperatura medie t_m a amestecului se determină în secțiunea cu cea mai mare valoare a razei "flăcării" la distanța *x* de la gura arzătorului.

Acestă mărime se utilizează în calitate de parametru de control a omogenității amestecului aer rece și aer cald în realizarea cercetărilor experimentale pentru optimizarea și argumentarea soluției constructive de realizare a arzătorului. Valoarea temperaturii medii t_m se poate deremina prin calcul deoarece cunoaște consumul masic de aer rece și aer cald, temperaturile acestor componete și capacitățile specifice termice cu ajutorul relației [109,135]:

$$t_m = \frac{G_g \cdot t_g \cdot c_g + G_a \cdot t_a \cdot c_a}{(G_g + G_a) \cdot c_{am}}$$
(2.21)

unde:

 G_g , G_a – consumul masic de aer cald-aer rece, (kg/m³);

 c_g , c_a , c_{am} – capacitatea termică specifică masică la presiune constantă, respectiv a aerului cald, aerului rece și amestecului la temperaturile respective ale lor.

Gradul de coincidență a valorii calculate a temperaturii medii a amestecului și valorii măsurate a acestei temperaturi t_m ne servește în calitate de criteriu obiectiv privind estimarea omogenității "flăcării". Este evident, că procedeul prezentat în [141,145] este mai dificil din punct de vedere a tehnicii de realizre, deoarece precizia reglării depinde de precizia măsurărilor mărimilor G_g , G_a . Se prezintă rezonabil, reieșind din analiza relațiilor (2.16)-(2.20) pentru reglarea valorilor vitezelor V_g și V_a , și expresia (2.21) să utilizăm în calitate de parametru informativ valoarea temperaturii medii t_m a torentului de gaz și torentului de aer, care respectiv au temperaturile egale cu t_g și t_a la ieșirea din gura arzătorului.

Concomitent precedeul de cercetare experimentală prevede și măsurarea valorii temperaturii t_i în punctul *i* al modelului fizic al "flăcării". Obținând prin măsurători valorile temperaturilor în secțiunea transversală a flăcării cu cea mai mare arie a acestei secțiuni și utilizând relația (2.21) avem posibilitatea de a spori precizia soluțiilor acceptate pentru realizarea constructivă a arzătorului.

Calculând mărimea C_g^i pentru diverse tipuri de arzătoare cu diferite forme de stabilizatoare, se poate determina câmpul de concentrație a gazului în interiorul unghiului de deschidere și forma flăcării pentru arzătoare cu diverse puteri care funcționează la sarcini variabile. Acest procedeu prezintă o "sculă" pentru estimarea performaței diferitor soluții de realizare constructivă a arzătorului după criteriul gradului de omogenitate a amestecului aer-gaz. Rezultatele experimentale se vor compara cu valoarea calculată a temperaturii medii, care și va îndeplini rolul de valore etalon a gradului de omogenitate a amestecului studiat experimental.

Algoritmul de calcul a limitelor de stabilitate a procesului de ardere

Fenomenul ruperii flăcării este caracteristic pentru orice tip de arzătoare și pericolul lui constă în întreruperea arderii gazelor pe o perioadă de timp.

Întreruperea arderei poate fi urmată de explozia amestecului acumulat în acest timp în focar și în canalele de evacuare a gazelor arse.

Fenomenul pătrunderii flăcării în arzător se observă de regulă, la arzătoare cu amestec preliminar. Acest regim are loc destul de rar la arzătorele cu amestec preliminar. Mai frecvent fenomenul de rupere a flăcării persită la arzătoare difuzionale, la care arderea are loc în ambrazura arzătorului, ce prezintă un dezavantaj a acestui tip de arzător.

Analiza particularităților de funcționare a diferitor construcții ale arzătorelor, inclusiv, dotate cu stabilizatore de diferită realizare constructivă, ținînduse cont de datele din literatura de specialitate [4,5,18,19-23,53,55,65,101,163,166,183,186] ne indică la faptul, că există o gamă largă de dispozitive care realizează atât funcțiile de formare a turbulenței, cât și funcțiile de stabilizare a flăcării. În rezultat s-a formulat sugestia, că aceste elemente de formare a turbulenței în amestec au o influență calitativă și cantitativă asupra stabilității flăcării în banda diapazonului de variație a puterii arzătoarelor.

Diapazonul arderii stabile se află în intervalul dintre limitele de rupere a flăcării și pătrunderii ei în arzător. Diapazonul de reglare a puterii arzătorului este determinat de vitezele ce caracterizează starea curentă a amestecului. Acest diapazon este determinat de viteza amestecului la care flacăra pătrunde în interiorul arzătorului și de viteza de rupere a flăcării de la gura arzătorului.

Viteza de pătrundere și viteza de rupere a flăcării se pot utiliza în calitate de valori limită pentru determinarea diapazonului de reglare a puterii arzătorului la sarcini variabile, deci aceste mărimi determină și diapazonul admisibil de evoluție a sarcinii instalației.

Vitezele limită de pătrundere și rupere a flăcării depind de mai mulți factori aleatori. Ca urmare a acestora, valorile limită a vitezei de pătrundere și a vitezei de rupere a flăcării, care ulterior urmează a se utiliza în calcule, trebuie să fie determinate în rezultatul analizei statistice a ansamblurilor de date obținute experimental prin măsurători directe.

În acest scop se utilizează procedurile standarde, ținînduse cont de datele din literatura de specialitate [46, 50, 73, 74, 128], care constau în determinarea valorilor următoarelor mărimi:

• Viteza amestecului aer-gaz (w_{am}^r) pentru condițiile în momentul ruperii flăcării, cunoscând volumele de gaz și aer - V_g și V_a și coeficientul excesului de aer α :

$$\widetilde{W}_{am}^r = C_{am}^r / S_a \qquad \qquad W_{am}^r \tag{2.22}$$

unde:

 $V_{am}^r = V_g^r + V_a^r$ - debitul amestecului instantaneu egal cu suma volumelor

instantanee de gaz și aer;

 S_a – aria secțiunii echivalente a gurii arzătorului.

• Valoarea medie a vitezei amestecului la ruperea flăcării de la gura arzătorului (\tilde{W}_r) se determină:

$$\widetilde{w}_r = \sum_{i=1}^k W_{am_i}^r / k , \qquad (2.23)$$

• Dispersia (σ^2) vitezei amestecului la ruperea flăcării se determină:

$$S^{2} = \sum_{i=1}^{k} (w_{am_{i}}^{r} - \widetilde{w}_{r})^{2} / k , \qquad (2.24)$$

• Abaterea standard (\overline{S}) a vitezei amestecului (V_{am}^r) de la viteza medie la ruperea flăcării (\widetilde{W}_r) se determină conform formulei:

$$\overline{S} = \sqrt{\frac{1}{k-1} \cdot \sum_{i=1}^{k} (w_{am_i}^r - \widetilde{w}_r)^2} , \qquad (2.25)$$

• Abaterea maximă a vitezei amestecului aer-gaz (ΔW_{max}) se determină conform formulei:

$$\Delta w_{\max} = \left| w_{am}^r - \widetilde{w}_r \right| \tag{2.26}$$

 Se verifică abaterea maximă (τ) cu ajutorul t - distribuției Student [75,77] conform formulei:

$$\tau = \Delta w_{\rm max} \,/\, S \,, \tag{2.27}$$

- Se determină valorile $t_{(5\%,k-2)}$ și $t_{(0.1\%, k-2)}$ din *t* distribuția Student [72,74]:
- Se calculează valoarea mărimii $t_{(p,,k)}$, pentru valorile $t_{(5\%,k-2)}$, $t_{(0.1\%, k-2)}$:

$$\tau_{(5\%,k)} = \frac{t_{(5\%,k+2)} \cdot \sqrt{k-1}}{\sqrt{(k-2) + \left|t_{(5\%,k+2)}\right|^2}}$$
(2.28)

$$\tau_{(0.1\%,k)} = \frac{t_{(0.1\%,k+2)} \cdot \sqrt{k-1}}{\sqrt{(k-2) + \left| t_{(0.1\%,k+2)} \right|^2}},$$
(2.29)

• Se compară rezultatele obținute din (2.28) și (2.29) și valorile pentru care $\tau_{(5\%,k)} >> \tau_{(0.1\%,k)}$

se exclud;

• Se recalculează din nou valorile mărimilor $\widetilde{W}_r, \overline{S}$ (viteza medie la ruperea flăcării, abaterea

standard) pentru ansamblu de date corectat.

În baza datelor obținute prin calculare se construiesc graficele pentru ecuațiile criteriului Peklet în scară logaritmică, care permite să se calculeze valoarea numerică a coeficienților funcției exponențiale:

n și c, coeficientului m, ce caracterizează fenomenului ruperii/pătrunderii flăcării;

 α – coeficientul ce caracterizează excesul de aer.

Se determină vitezele amestecului aer-gaz de rupere/pătrundere a flăcării ($\widetilde{W}_r / \widetilde{W}_p$).

Verificarea corectitudinii parametrilor calculați se face prin compararea rezultatelor ce terbuie obținute în cadrul testărilor experimentale.

2.6. Avantaje și dezavantaje a utilizării modelului matematic la cercetarea proceselor de formare a amestecului optimal de aer-gaze pentru eficientizarea procesului de ardere

Destinția oricărui model constă în efectuarea simularii regimurilor de funcționare a obiectelor reale pentru obținerea cunoștințelor despre particularitățile de funcționare și selectraea celor mai optimale strategii de soluțoinare a scopurilor formulate a cercetări și creației inginerești.

Simularea, ca oricare alt instrument, ne oferă o gamă largă de avantaje și dezavantaje în aplicarea ei în diferite domenii (j):

Avantaje:

 permite testarea fiecărui aspect al modificări propuse sau adăugate fără a angaja resurse suplimentare pentru achiziționarea acestora, deci vă oferă posibilitatea unei alegeri corecte;
- permite accelerarea sau încetinirea unor fenomene, astfel încât să putem analiza mai bine anumite fenomene, mărind sau micşorând astfel perioada de timpul necesar analizei şi testării;
- poate reconstitui (reda) anumite secvențe in timpul simulărilor, reuşind astfel să înțelegem sau să aflăm răspunsuri la diferite întrebări, cum ar fi "de ce?, cum? " etc. explorează diferite posibilități, proceduri şi metode, fără experimentări care necesită utilizarea unor sisteme, utilaje, instalații sau obiecte reale;
- cu ajutorul modelelor și simulărilor se pot identifica și înțelege interacțiunile care concurează la utilizarea sistemului, ținând cont că unele sisteme sunt atât de complexe că este imposibil să fie luate în considerare toate interacțiunile, factorii care au loc într-un anumit moment;
- poate identifica constrângerile care pot apărea în anumite cazuri în sistem, iar cu ajutorul modelelor și simulărilor pot fi descoperite cauzele;
- poate oferi modalități de dezvoltare a înțelegerii cu privire la modul în care un sistem funcționează în mod real, decât indicând predicțiile cuiva despre modul de funcționare al unui sistem;
- permite vizualizarea unui plan care ne va ajuta să înțelegem anumite defecte de proiectare;
- putem construi un consens, astfel modelul şi simularea vor pute oferi un punct de vedere obiectiv, în locul unei anumite păreri de la o anumită persoană despre un anumit sistem sau obiect;
- poate aduce schimbări asupra unor anumite modele dintr-un sistem, dacă în urma simulărilor sa avut ca scop de a se răspunde la întrebări precum "Ce s-ar întâmpla dacă?";
- putem afirma că modelul și simularea matematică sau fizică este o investiție înțeleaptă, deoarece costurile de simulare sunt mici, în general circa 1% din suma totală care ar fi alocată pentru punerea în aplicare al unui întreg plan de testare;
- este un prilej în care se poate antrena echipa interesată în dezvoltarea unui proiect prin analiza şi evaluarea datelor de intrare şi de ieşire în simulare;
- putem utiliza modelul și simularea întru determinrea cerințele către un anumit sistem, simulând diferite configurații ale lui.

Dezavantaje:

Ca orice instrument, cât de performannu ar fi, modelele și aplicarea lor pentru simularea regimurilor de funcționare au și anumite dezavantaje, inclusiv:

- cerințele de construire a unui model se bazează pe o instruire specială care are următoarele particularități:
 - construirea aceluiaşi model de două persoane diferite pot avea similitudini, dar cu siguranță nu vor fi identice;
 - construirea unui model realistic necesită cunoștințe profunde care pot fi obținute de asemenea și de la experți sau grupe de experți care activează în domeniul respectiv.
- rezultatele simulării pot fi interpretate greşit (de multe ori rezultatele simulării sunt variabile aleatorii şi este greu de determinat dacă o observaţie este un rezultat al unui sistem sau o valoare aleatoare);
- simularea proceselor cu utilizarea modelelor construite şi efectuarea analizei ulterioare a
 rezultatelor obținuteă poate fi mare consumatoare de timp şi scumpă. Economisirea de
 resurse pentru modelare şi analiză poate duce la o simulare insuficientă pentru atingerea
 scopurilor urmărite, şi poate consuma astfel, timp, efort şi bani fără a atinge obiectivul
 propus; simularea poate fi folosită şi în mod ineficient, când metoda analitică poate
 rezolva problema.

Se consuderă că simularea reprezintă o modalitate eficientă în testarea și evaluarea diferitelor activități, fiind totuși necesară punerea în balanță a avantajelor și a dezavantajelor specifice fiecărui caz în parte.

Cercetarea științifică, ca cel mai puternic instrument de cunoaștere, formează o unitate dintre teorie și practică. *"Știința merge înainte pe două picioare numite teorie și experiment. Câte o dată este pus jos primul, altă dată celălalt, dar progresul continuu este făcut numai prin folosirea ambelor"*. Teoria se bazează pe prelucrarea datelor experimentale, obținute în procesul măsurărilor.

Experimentul cantitativ urmărește în detalii desfășurarea în spațiu și timp a unor fenomene, procese, legi, legități, proprietăți ale obiectelor din lumea reală, având ca scop stabilire relațiilor exacte între valorile mărimilor fizice caracteristice fenomenului respectiv.

Utilizarea modelelor fizice pentru studierea legităților și particularităților proceselor dinamice a arderii combustibililor gazoși se caracterizează atât de avantaje, cât și de dezavantaje:

avantajele sunt determinate de faptul, că asigură valabilitatea valorilor calculate a
parametrilor în condițiile utilizării unui ansamblu redus de date obținute experimental
(adesea aceasta este o urmare condiționată de dificultăți de ordin economic și tehnic);
necesitatea obținerii rapide a rezultatelor elaborării și realizarea în termen scurt a
prototipului produsului nou cu parametri performanți; identificarea unor noi rezultate

teoretice și confirmarea lor experimentală; elaborarea planului optim de realizare a cercetărilor experimentale;

- modelarea ca atare, iar modelarea fizică prezintă un proces destul de complex, care în dependență de problema realizată poate conduce la eforturi substanțiale în cazul a unei formulări neargumentate a subiectului cercetării care se bazează pe aspectele și cunoștințele teoretice în acest domeniul al elaboratorului și realizatorului modelului fizic;
- complexitatea ridicată a fenomenelor în procesul de ardere a combustibilului în spații închise, cum este focarul instalației, crează dificultăți în realizarea atât a modelului matematic, care trebuie să țină cont de posibilele schimburi de căldură atât prin radiație termică, cât și prin contact direct a flăcării cu pereții focarului, cât și a modelului fizic în dependență de parametrii de putere a obiectului cercetat.

Conform datelor expuse în literatura de specialitate [32,83,176], model matematic poate să asigure soluții adecvate proceselor reale, dacă se vor respecta minuțios absolut toate condițiile inițiale, de limită și criteriile (ce constituie destul de deficil)după care se determină valorile coeficienților ecuațiilor ce sunt parte componetă a modelului matematic.

Simularea matematică a procesului de ardere ale gazelor naturale constituie o procedură foarte complexă și se confrunla moment penru problema examinată sau prin efectuarea unor cercetări suplimentare în termeni rezonabili și cu costuri și eforturi acceptabile din punct de vedere economic. La fine orice model și simulae matematică are la ca bază privind eficacite utilizării lor eficiența economică privind obținerea rezultatului preconizat. Din aceste considerente selectarea celor mai opimale poceduri, modele și strategii de efectuare a cercetării depinde atât de experiența personei ce realizează lucrsrea de cercetare, dar și de cmplexittea problemei formulate în cadrul acestei lucrări. Funcție de complexitatea problemei, termenii de soluțonare a ei se determină procedeele de realizare a lucrării, inclusiv de efectuare a cercetărilor experimentale.

Reieşind din aceste considerente, în lucrare, s-a pus accentul pe aspectele modelării fizice a fenomenelor de formare și menșinere a omogenității aer-gaze pentru procesele de ardere, considerînd, că în așa caz se va obține cu cele mai mici eforturi rezultatul preconzat - elaborarea variantei sau variantelor de arzătoare cu indici de performanță înaltă, care funcționează în regim de sarcină variabiă.

La general, se pot indica următorele etape a realizării lucrării de cercetare:

 elaborarea modelului fizic al arzătorului, ținând cont de experiența acumulată în prezent în acest domeniu (ținînduse cont de datele din literatura de specialitate) și utilizarea celor mai simple și eficiente procedee de executare a cercătorilor experimentale pentru determinarea parametrilor optimali ai arzătoului;

- modelarea fizică a proceselor de ardere în cadrul instalaților experimentale, având ca subect studierea procesului de amestec la arderea directă a gazelor naturale combustibile în condițiile caracteristice pentru instalații concrete de producere a erergiei termice;
- modelarea fizică, utilizând instalații experimentale fără arderea directă a gazelor naturale combustibile prin simularea fizică a procesului de amestec aer-gaze, dar substituind gazele de combustie cu flux de aer cald.

Utilizarea și realizarea unui astfel de concept privind realzarea lucrării de cercetare se prezintă ca cea mai rezonabilă și eficientă modalitate de atingere a rezultatului preconizat în caz de elaborare și proiectare a arzătoarelor cu regim de funcționare la sarcini variabile, considerând că acest rezultat este determinat în primul rând de calitatea fomării amestecului aer-gaze admis în focarul instalațiilor de producere a energiei termice. Concomitent, prin aceasta se asigură și un grad ridicat al securității cercetărilor experimentale a proceselor de ardere [27,29, 99,167,169].

2.7. Concluzii la capitolul 2

- Eficiența transformării combustibilului primar în căldură şi impactul condiționat de aceste transformări asupra mediului depinde nu numai de tipul şi calitatea combustibilului primar, dar şi de calitatea şi incompletatea oxidării (arderii) acestui combustibil în instalațiile respective. Volumele mari utilizate ale gazelor naturale pentru producerea energiei sunt un factor, care determină actualitatea sporirii calității arderii combustibilului, deci şi a eficienței energetice, care se bazează pe optimizarea procesului arderii combustibilului.
- 2. Optimizarea constituie o problemă complexă care include atât aprofundarea cunoştinţelor despre procesul de ardere în instalaţia termică examinată, cât şi elemente de proiectare bazate pe rezultatele simulărilor cu utilizarea modelelor matemetice şi fizice. Gradul de complexitate a problemei optimizării arderii combustibilului sporeşte esenţial, în cazul funcţionării instalaţiilor în regim de sarcină variabilă, deoarece este influenţat de parametrii geometrici ai arzătoarelor şi focarelor, efectele hidraulice de scurgere, condiţiile de admisie ale fluxurilor de gaze şi oxidant, condiţiile de aprindere a amestecului, aspectele de cinetica a procesului de ardere şi a schimbului de căldură cu pereţii focarului a zonei de ardere etc.
- 3. Modelele matematice şi cele fizice sunt instrumente puternice de soluționare a problemelor aplicative cu caracter ingineresc. Modelele matemaice servesc ca bază teoretică pentru elaborarea şi realizarea modelelor fizice, dar determinarea componentelor optimale de utilizare a unui sau al altui tip de model depinde de mai mulți factori, inclusiv, şi de complexitatea problemei rezolvate. Totuşi, orice investigație teoretică necesită confirmarea experimentală şi, în acest context, modelele fizice sunt mai mult apropiate de condițiile de funcționre în regim real a instlațiilor poiectate.

4. Avantajele modelelor matematice sunt determinate de capacitatea executării a unor ample investigații parametrice, de exemplu, în cazul studierii proceslor din domeniul gazodinamicii cu utilizatrea ecuației Navier- Stokes, inclusiv, şi pentru studierea proceselor de formare a amestecului omogen aer-gaz în arzătoarele instalațiilor termice. Totuşi, în acest caz apare problema estimării corectitudinii soluțiilor numerice obținute, deoarece până în prezent sunt cunoscute soluții analitice precise doar pentru probleme particulare care nu întotdeauna se pot utiliza la compararea cu soluțiile numerice obținute în baza modelelor matematice elaborate. Această dificultate este o urmare a sensibilității înalte a caracterului soluției numerice condiționată de devierile sau incorectitudinea determinării valorilor coeficienților acestui tip de ecuații. Astfel, devierea valorilor coeficienților ecuației Navier-Stokes în regim de turbulență, de exemplu, a valorii numărului Reynolds cu 0,05% are ca urmare faptul, că soluțiile pentru regimul analizat se deosebesc extrem de mult una de alta în zona valorii critice a numărului Reynolds.

O altă problemă privind utilizarea modeleor matematice o constituie necesitatea simplificării lor, ce de asemenea poate fi o sursă de erori care se depistează în rezultatul testărilor exprimentale sau doar la faza de exploatare.

- 5. Elaborarea unui model fizic al arzătorului în baza datelor statistice și de exploatare se prezintă ca o soluție optimală și competitivă economic pentru cazul elaborării și confecționării unui arzător cu indicatori performanți de funcționare la sarcini variabile a instalației termice. Informația statistică disponibilă poate servi in calitate de o bază bună și veridică pentru elaborea și realizarea uni plan optimal de cercetare experimentală, care are ca scop determinarea valorilor optimale constructive ale parametrilor arzătorului.
- 6. Informația statistică şi de exploatare analizată pe parcurs şi procesată indică la faptul, că factorii principali care influențează semnificativ asupra omogenității amestecului aer-gaz sunt gradul de turbulență a amestecului şi viteza lui. Viteza de diminuare a câmpului concentrației gazului caracterizează calitatea formării amestecului, ceea ce determină unghiul de desfacere şi lungimea flăcării.

Această informație este rezonabil de utilizat și la elaborarea procedeului de calcul a parametrilor arzătorului, utilizînd sistemul relativ de unități, ceea ce permite transferul reciproc de experiență pentru cazul examinării instalațiilor cu putere termică diferită. Informația statistică și de exploatare selectată este utilă și pentru argumentarea unor soluții eficiente de stabilizare a flăcării arzătorului, de exemplu, ca urmare a selectării unghhiului palelor stabilizatorului arzătorului.

7. Rezultatele analizei comparative a avantajelor şi dezavantajelor modelelor matematice şi fizice în contextul problemei soluționate permit argumentarea selectării modelului fizic ca principalul instrument de lucru pentru realizarea cercetărilor cu scopul determinării

parametrilor arzătorului prin substituirea combustibilului gazos de un flux de aer cald. Gradul de coincidență a valorii calculate a temperaturii medii a amestecului și valorii măsurate a acestei temperaturi t_m ne servește în calitate de criteriu obiectiv privind estimarea omogenității "flăcării", inclusiv, în regim de sarcină variabilă și determinarea condițiilor de asigurare a formării și menținerii omogenității amestecului aer-gaze pentru regimul de ardere stabilă în tot diapazonul de variere a sarcinii.

- 8. Au fost identificați principalii parametri constructivi ai arzătorului, care influențează asupra omogenității: distanța de la gura arzătorului x/D; distanța de la axa gurii arzătorului h/R; produsul mărimilor x*hdimensiunile stabilizatoarelor din arzător; viteza amestecului aer-gaz; unghiul de desfacere și lungimea flăcării
- 9. Au fost selectați și argumentat algoritmul de calcul a limitelor de stabilitate a procesului de ardere definite ca pătrunderea și ruperea flăcării în/de la gura arzătrorului, determinatate de viteza de pătrundere și viteza de rupere, care depind de mai mulți factori aleatori.

Din aceste considerente, vitezele de pătrundere și de rupere a flăcării se califică utili de calculat în baza analizei statistice a ansamblurilor de date obținute experimental prin măsurători directe. S-a propus algoritmul de calcul a acetor mărimi.

Calculul limitelor de stabilitate a procesului de ardere se reduce la determinarea valorilor vitezei amestecului aer-gaz pentru volumele de gaz și aer (Vg și Va), coeficientul excesului de aer α , vitezei medii a amestecului, dispersiei vitezei amestecului la ruperea flăcării.

Capitolul 3. METODOLOGIA CERCETĂRII EXPERIMENTALE A PROCESELOR DE AMESTEC AER-GAZE PENTRU ARDEREA GAZELOR NATURALE ÎN INSTALAȚII LA SARCINI VARIABILE

3.1. Formularea problemei cercetării experimentale a proceselor de amestec a gazelor naturale combustibile în instalații pentru ardere la sarcini variabile

Cercetarea proceselor de ardere prezintă o problemă complexă, influențată de o multitudine de factori, care nu întotdeauna se pot lua în considerare la elaborarea modelelor matematice ale proceselor studiate. Urmare acestora, precum și a necesității de a obține rezultate credibile și veridice, conduce la necesitatea de a efectua investigații experimentale ale proceselor studiate de ardere. Întru sporirea preciziei rezultatelor cercetărilor experimentale și atingerea prin aceasta a scopului de sporire a eficienței producerii energiei termice se consideră util, ca condițiile de ardere în cadrul investigațiilor experimentale efectuate cu utilizarea ștandurilor să fie fizic cât mai aproape de cele ce există în instalațiile termice exploatate.

Deoarece, calitatea arderii gazelor naturale este determinată de procesul de formare a amestecului aer-gaz [1,16,22,43-48,50,64,65,80] reiese, că atenția principală privind elaborarea soluțiilor tehnice de spoire a eficienței arderii gazelor naturale trebuie să se acorde acestui factor. Ca rezultat al cunoașterii particularităților procesului menționat se pot propune soluții argumentate întru optimizarea procesului de formare a amestecului aer-gaz, inclusiv, și în baza unor ample cercetări experimentale.

Cercetarea în condiții reale, la scară naturală de putere a instalațiilor de producere a energiei termice se prezintă dificilă și costisitoare. Întru optimizarea procesului de efectuare a cercetărilor experimentale este necesar de un amplu studiu teoretic al proceselor de transfer de masă și căldură în instalațiile termice. Studierea transferului de masă și căldură în procesul de ardere a gazelor [8,115,123-127,134,160,170,178] în prezența unui ansamblu mare de condiții asupra cărora este greu de influențat sau de prognozat constituie o problemă dificilă și din punct de vedere tehnologic și organizatoric. Se poate menționa următoarea particularitate caracteristică pentru procesele de ardere. Arderea prezintă un proces dinamic ce se caracterizează de un grad ridicat de perturbare în timp. Gradul de perturbare crește cu instabilitatea sau varietatea în timp a sarcinii termice, care are un caracter aleator. Aspectele si particularitătile mentionate conduc la necesitatea efectuării cercetărilor experimentale ale proceselor de ardere cu aplicarea sistemelor automatizate de măsurare și stocare a informațiilor respective (datelor primare), precum și la necesitatea procesării unor masive mari de date primare [57,58]. Deoarece fiecare obiect se caracterizează de ansambluri individule de parametri ai regimului de funcționare apare și problema elaborării și/sau adaptării metodelor respective de efectuare a investigațiilor experimentale, la condițiile reale de derulare a proceselor studiate selectarea echipamentelor de putere și a sistemelor de măsurare, racordarea lor în complexe dirijate și comandate. Elaborarea și ajustarea ștandurilor de cercetare experimentală și testare a robusteții și performanței soluțiilor elaborate prezintă o problemă științifice cu impact semnificativ supra corectitudinii și preciziei cercetărilor experimentale.

Pentru etapa de cercetări experimentale se pot formula următoarele obiective specifice:

- 1. Elaborarea și argumentarea structurii instalației experimentale (stand) privind studierea proceselor de ardere a gazelor naturale în instalațiile termice.
- 2. Realizarea instalației experimentale de cercetare a calității amestecului și a omogenității amestecului (ștand) în cazul sarcinii variabile
- 3. Cercetarea formării și menținerii calității omogenității amestecului în cazul sarcinii variabile și factorilor, care influențează stabilitatea procesului de ardere a gazelor.
- 4. Analiza particularităților procesului de ardere a gazelor în cazul sarcinii variabile.
- 5. Evaluarea rezultatelor cercetărilor (bibliografice şi experimentale) obținute şi aplicarea lor la elaborarea arzătorului şi a metodicilor de implementare a arzătorului în instalații tehnologice pentru generarea energiei termice la obiectele social-comunale, industrial şi la obiectele din sectorul energetic.

3.2. Particularitățile ștandurilor utilizate în efectuarea cercetărilor experimentale.

Standul experimental pentru cercetarea proceselor de amestec în regimurile de ardere fizică a gazelor la sarcini variabile

Cercetarea performanțelor arzătoarelor în regim de variere a puterii lor are la bază efectuarea a mai multor seturi de măsurători cu scopul determinării caracteristicilor de evoluție privind urmîtorii parametri ca: calitatea amestecului, omogenitatea lui, dependența lungimii flăcării de puterea arzătorului, respectiv în regimurile tranzitorii de derulare a proceselor studiate. Varierea valorilor în ansamblul de parametri nominalizați influențează în cel mai esențial mod asupra stabilității și calității procesului, iar ca regim de limită se poate finaliza și cu stingerea lui. Studierea caracterului influenței varierii puterii arzătorului asupra stabilității și calității arderii devine unul din principalele obiective ale investigației. De regulă, arzătoarele au o anumită realizare constructivă care asigură formarea amestecul carburant [83]. Admisia gazelor naturale se produce la o anumită valoare a presiuni, iar parametrii fluxului de aer se asigură de către un ventilator. În procesul de formare a amestecului de aer-gaz cantitățile de gaz și aer ce se admit în arzător se reglează separat.

În construcția arzătoarelor se prevăd componente funcționale pentru formarea fenomenului de turbulență la scurgerea fluxurilor și de stabilizare a curentului de aer-gaz [16, 22, 30, 44, 49, 50, 55,90-92,95,106]. Deoarece, constructiv căile de admisie ale gazelor și aerului în arzător au dimensiuni constante, reiese, că reglarea puterii arzătorului se poate face prin reglarea debitului fluxurilor respective. Reglarea debitului se face prin reglarea vitezei de scurgere a gazelor naturale și a aerului. La regalarea vitezelor de scurgere a fluxurilor de gaze naturale și de aer prin arzător se va modifica și intensitatea procesului de turbulență, iar ca consecință și modifică și omogenitatea amestecului de aer-gaze, iar la fine, puterea arzătorului și calitatea procesului de ardere. Aceste constatări reiese din faptul, că întru asigurarea procesului de ardere, precum și a calității lui este necesar de realizat condițiile ce se referă la asigurarea calității amestecului aer-gaz și omogenității lui în spațiul volumului ocupat de flacără. Deoarece aceste condiții sunt determinate atât de particularitățile de realizare constructivă a arzătoarelor, cât și de parametrii de scurgere și turbulența curenților de gaze și aer.

Ca un factor important în aceste procese [1,11,10,16,44-47,82,87,117,120,162,168] se poziționează vitezele de scurgere cum sunt valoarea minimă w_{min} și valoarea maximă w_{max}, care și determină varierea bandei de putere a arzătorului. Alți parametri importanți, legați de variația puterii sunt unghiul de desfacere a flăcării și lungimea ei. Integral, acești parametri influențează atât consumul de gaze, cât și gradul de poluare a mediului. Din cele menționate se poate lansa ipoteza, că întru a optimiza și spori eficiența cercetării experimentale este necesar de utilizat metodele de planificare a cercetării experimentale și de elaborare sau adaptare a echipamentelor, care se vor utiliza în aceste cercetări. Ca un element cheie al cercetării experimentale se prezintă standul, [5,15,30,57,58,81,106,145,146,167,170,184], care ar permite efectuarea cercetărilor experimentale, reieșind din obiectivele formulate în lucrare. Deoarece există diverse soluții tehnice de realizare constructivă a arzătoarelor de gaze naturale, reiese și necesitatea, ca ștandul experimental să se caracterizeze de un înalt grad de flexibilitate și adaptivitate pentru a asigura cercetarea caracteristicilor unei game largi de arzătoare atât produse industrial, cât și noi elaborate. Totodată, standul trebuie să aibă un grad ridicat de automatizare privind regalarea regimurilor de ardere, cât și efectuarea măsurătorilor ansamblului de parametri care caracterizează procesul de ardere în timp real cu stocarea acestor informatii. Schema de principiu al unui astfel de stand pentru cercetarea complexă a proceselor de ardere ale gazelor naturale este prezentată în figura 3.1. Particularitățile și avantajele ștandului propus, elaborat și realizat pe principiile clasice, dar fiind determinat prin modificările proprii ale autorului lucrării, reieșind de gradul înalt de dotare cu echipamente moderne, inclusiv de automatizare, permite realizarea posibilității de flexibilitate a creării condițiilor de formare a amestecului de aer-gaz pentru arderea gazelor naturale în diferite modificații constructive a arzătoarelor.



Fig. 3.1. Structura generală a ștandului de cercetare a proceselor de amestec în regimurile de ardere fizică a gazelor la sarcini variabile.

Standul propus include următoarele elemente de bază [11, 15, 23, 30]:

• focarul cazanului de încălzire de o construcție tipică, dotat cu un set de senzori pentru măsurarea temperaturii gazelor, concentrației produselor de ardere, temperaturilor și presiunilor agentului de răcire;

- arzătorul de gaze cu aparate independente de control ale gazului și a curentului de aer;
- set de microcontrolere distribuite pentru controlul și monitorizarea regimurilor studiate a

proceselor din instalația de producere a energiei termice.

În scopul estimării valorilor parametrilor flăcării, standul este dotat cu echipamente și aparate de măsurare:

• senzori de temperatură tip Pt/Pt-Rh - termocuplu TIIP -1788 (5%) cu diapazonul de temperatură de 400 – 1600°C, care se montează în focar (a vedea fig.3.1 și tabelul 3.1) pentru înregistrarea temperaturii axiale și radiale în flacără și setul de senzori de temperatură tip TCP 150 (de la minus 40 până la plus 1600°C) și măsurare a presiunii agentului de răcire de tip AFN 406.238-014.02 (0 - 200 kPa) din componența sistemului de înregistrate «AFN.DO-02», produs de firma "Romany Gaz Group" pentru efectuarea măsurărilor calorimetrice la răcirea cazanului (tabelul 3.1);

• analizator de gaze la ieșire din focarul cazanului de tip Testo 350 XL, S700

pentru înregistrarea și monitorizarea componenței produselor de ardere (NO_x, CO₂, CO, O₂);

• corector electronic de reglare a debitului volumetric a gazelor și aerului.

Tabelul 3.1.

No	Margaraa	Donumiroo	Destinatio	Ca	Diapazonul și
	Marcarea	Denummea	Destinația	nt.	precizia
1	AFN.426	Unitate Centrală de	Control procese, prelucrare	1	
	493.001-16	comandă tip 1	date	1	_
2	AFN.426	Unitate Centrală de	Colectare date, control	1	
	493.001-17	comandă tip 22	procese	1	_
3	AFN 426	Unitatea Centrală	Control process	1	
	495.000-31	de Putere	Control procese	1	_
4	ТПР 1788	Termocuplu	Temperatura în focarul	4	400 - 1600 °C ±
	1111 -1788	Termocupiu	cazanului	4	1,5%
5	ТСР	Traductor de	Temperatura gazului,	4	minus 40 –plus
	100/150	temperatură	aerului, agentului termic	-	150 °C ± 1,5%
	TYAV				1000 °C,
6	0289	Termocuplu	Temperatura gazelor în coş	6	L =1250mm,
	020)				Out - 4-20 mA
		Diromatru	Temperatura gazelor în	5	0 - 1600 °C
7	110-4	rnomenu	cuptor, recuperator nivel sus	3	± 1,5%
8	AFN 406.	Traductor Prosiuno	Drosiuna în cos	2	- 0-:-500 Pa ±
	238 014	Traductor Trestune	i resiune în coș	5	1,5%
9	AFN 406.	Traductor Prosiuno	Progiunoo gozului lo introro	2	0-200kPa
	238 012-02	Traductor Freshulle	i resiunca gazurur la niu ale		± 1,5%
10	AFN 406.	Traductor Presiuna	Presiune diferențială a	2	0-2kPa
	238 011-06		gazului, aeruli		± 1,5%
11	AFN	Corector electronic	Debitare gaze/aer	1	-

Componentele funcționale ale ștandului ce realizează funcțiile de măsurare și control

Standul experimental de cercetare a proceselor fără arderea gazelor (prin simulare)

Cercetarea proceselor caracteristice pentru arderea gazelor naturale se poate face fără consum direct a acestui tip de combustibil.

Deoarece calitatea procesului de ardere este determinat în primul rând de calitatea procesului de formare a amestecului gaz-aer, aceasta deschide posibilități de a studia aceste procese utilizând componente care substituie fizic gazul natural, dar esența și dinamică de formare a amestecului cu utilizarea acestor substanțe este similară cu caracteristicile procesului de formare a amestecului aer-gaz.

Atât din punct de vedere economic, cât și ca urmare a unor limitări condiționate de altă natură (imposibilitatea asigurării puterii termice maxime în spațiul sau instalația utilizată în stand, limitarea nivelului de emisii, temperatura ridicată a gazelor de ardere eșapate e.t.c.) nu întotdeauna permit efectuarea cercetărilor experimentale în plin volum și obținerea informațiilor complete despre particularitățile derulării proceselor studiate.

Dificultățile enumerate se pot depăși în cazul substituirii arderii directe a gazelor în procesul cercetărilor cu simulări fizice a acestor procese care nu sunt însoțite de eliminări de căldură mari și emisii de substanțe nocive.

Aceasta se poate face prin utilizarea unui stand specializat în care nu au loc procese de ardere.

După structură și funcțiile pe care le realizează ștandul fără arderea gazelor naturale este mult apropiat de ștandul din figura 3.1.

Luând ca bază schema ștandului din figura 3.1 avem posibilitatea de a păstra sistemele de control, comandă, protecție și măsurare a parametrilor proceselor studiate fără arderea fizică a substanțelor combustibile.

În figura 3.2 este prezentată schema ștandului pentru studierea experimentală a proceselor [16] în instalațiile de producere a energiei termice fără arderea fizică a gazelor naturale.

Standul propus include următoarele componente funcționale de bază (figura 3.2):

- focarul, de o construcție tipică caracteristică pentru cazanele exploatate în prezent, dotat cu un set de senzori pentru măsurarea temperaturii și concentrației gazelor, temperaturilor și presiunilor agentului de răcire;
- arzătorul de gaze cu mecanisme și instalații independente de control al aerului încălzit "gazului" și debitului de aer;
- setul de blocuri funcționale ce asigură valorile comandate a fluxurilor care se amestecă (încălzitor de aer, ventilator, echipamente de reglare a debitelor fluxurilor amestecate);
- set de microcontrolere destinate pentru controlul și monitorizarea procesului de amestecare și repartiție a câmpurilor de temperaturi și presiuni.



Fig. 3.2. Structura generală a standului de cercetare a proceselor fără arderea gazelor (simulare).

Specificul acestui stand constă în aplicarea metodei substituției gazului pentru determinarea calității amestecului aerului rece cu aer încălzit [11, 14, 15,30]. În baza analogiei între procesele de transfer de masă și căldură, concentrația gazului în amestec aer-gaz se poate determina conform schimbării temperaturii amestecului aer-gaz în diverse puncte ale "flăcării". **3.3. Cercetări a omogenității amestecului aer-gaz în instalații de ardere la sarcini**

variabile.

Aspecte metodologice ale cercetării experimentale a omogenității amestecului aer-gaz

Destinația fundamentală a investigațiilor experimentale constă în confirmarea sau abrogarea ipotezelor și/sau a rezultatelor cercetărilor teoretice obținute în baza examinării modelelor matematice respective. Complexitatea problemei examinate în lucrare este determinată de faptul că procesele de ardere au un caracter dinamic și sunt repartizate în spațiu focarului. Repartițiile câmpurilor de masă, temperatură, viteze și presiune sunt influențate de mai mulți factori: constructiv

Se poate menționa și faptul, că nu numai combustibilul prezintă un amestec de compuși chimici, dar însuși aerul include o gamă largă substanțe chimice gazoase, inclusiv și vapori. Chiar din cele enumerate succint se poate lansa ipoteza, că pentru a realiza o cercetare amplă și corectă este necesar de luat în vedere o multitudine de variabile independente, care au impact direct sau indirect asupra procesului și calității arderii combustibilului în instalațiile termice. Vom menționa de asemenea, că este logic să lansăm și ipoteza, că nu toți factorii care pot fi evidențiați au unul și același impact asupra calității proceselor de ardere. Din aceste considerente este natural să presupunem, că există factori ce au o influență semnificativă asupra procesului de ardere și factori , influența cărora este puțin evidentă sau sesizabilă la devierile parametrilor controlați ai procesului de ardere. În acest caz, factorii, care au o influență puțin sesizabilă se pot

grupa în pleiade, caracterizate de mărimi cu valori termofizice medii pentru tot ansamblul de factori caracteristici pentru pleiada dată. Ca exemple caracteristice se poate indica chiar principalele componente a cărui interacțiune se cercetează: gazele naturale și aerul.

Atât gazele naturale, cât și aerul constituie amestecuri din multe componente fizice. Din punct de vedere a corectitudinii organizării unei cercetări parametrice experimentale este necesar de examinat separat ca variabile independente fiecare componentă fizică ce formează aceste substante complexe (molecule diatomice de azot (nitrogen) (N_2) în proportie de aproape 4/5 (78,2%), molecule diatomice de <u>oxigen</u> (O₂) (20,5%), <u>argon</u> (Ar) (0,92 %), <u>dioxid de carbon</u> (CO_2) (0,03%), ozon sau oxigen triatomic (O_3) si alte gaze, praf, fum, alte particule în suspensie, etc) [3.1]. Gazul natural are în compoziție 85% metan, 4% alți alcani (etan, propan, butan, pentan) și 11% gaze inerte (care nu ard), vapori de gaze condensate din care cauză mai sunt numite gaze umede, hidrogen sulfurat (H₂S), care necesită îndepărtarea sulfului, și până la 9% dioxid de carbon (CO₂) care diminuează calitatea gazului [3.2]. În modele matematice utilizate în cercetări de obicei operează cu valori termofizice ce corespund unei substante ideale cu valori mediate ale parametrilor. Urmare a acelor menționate, reiese, că modelele matematice pot asigura studiere în primul rând a legităților calitative cu aspecte cantitative, iar cercetările experimentale, bazate pe rezultatele cercetărilor teoretice permit o corectare și adaptare a rezultatelor teoretice la condițiile reale de derulare a fenomenelor studiate. Prin aceasta se reduce banda de deviere a erorilor care pot apărea la proiectarea elementelor, sistemelor și instalațiilor reale de producere a căldurii prin ardere directă combustibililor. Metodologia de programare stiintifică a experimentelor [5,27,40,141,184], de modelare si testare a modelelor contribuie la îmbunătățirea proceselor de proiectare și fabricare a instalațiilor de ardere. În cazul modelărilor și cercetărilor experimentale se utilizează valorile standard ale mărimilor termofizice a componentelor ce participă în procesul de ardere. Prin aceasta se asigură posibilitatea de a compara și estima eficiența soluțiilor tehnice orientate spre sporirea eficienței energetice în general a instalațiilor termice. Necesitatea cercetărilor experimentale este condiționată și de practica de efectuare a testărilor privind calitatea funcționării instalațiilor termice, ca urmare a verificării corespunderii prescripțiilor tehnice de funcționare și de protecție a mediului.

În orice cercetare se prezintă actuală problema optimizării procesului de cercetare fie teoretică sau experimentală. Aplicarea calculatoarelor moderne permite efectuarea unor ample investigații parametrice în termeni de timp redus și cu costuri minime, totuși, rămâne imperios – experimentarea pentru validarea rezultatelor teoretice, care necesită cheltuieli enorme (materiale, timp) cu tendința, ca ciclul de cercetări experimentale, ca volumul de rezultate obținute să corespundă totalmente caracteristicilor reale ale obiectului cercetat și totodată, obținerea lor să fie executată adecvat (în tip rezonabil) și cu cheltuieli minimale. Opțiunea de optimizare a planului de realizare a cercetării experimentale în cazul examinării influenței a mai multor factori a fost denumită planificare matematică a experimentului. Utilizarea unor astfel de tehnici privind efectuarea cercetărilor experimentale permite de a stabili dependența parametrului cercetat de la influența simultană a mai multor factori. În caz general acesta se poate prezenta ca o funcție cu mai multe variabile independente $x_1, x_2, x_3, ..., x_n$ de tipul $y = f(x_1, x_2, x_3, ..., x_n)$. În teoria

planificării experimentului această funcție este definită ca model matematic, care permite atingerea preciziei maximale prin efectuarea unui ansamblu minimal de probe. Concomitent, ca criteriu se utilizează asigurarea veridicității statistice a rezultatelor obținute în cadrul unui număr limitat de probe obținute experimental [3.3]. În strategia de planificare a experimentului [5, 16, 23, 24, 74, 75, 139, 142, 160] sunt expuse etapele principale de realizare a acestei opțiuni:

1. Formularea scopului cercetării experimentale prin determinarea caracteristicilor și proprietăților care trebuie determinate, precum și caracteristicile și mărimile etalon necesare pentru estimare a gradului de apropiere a rezultatelor simulărilor de cele dorite.

2. Precizarea condițiilor de efectuare a cercetărilor experimentale, reieșind din nivelul de dotare cu echipament de testare și măsurare, resurse umane, condițiile de executare a cercetărilor (laborator, poligon, model funcțional sau produs industrial, de scurtă durată sau de lungă durată în condiții de exploatare e.t.c.).

3. Determinarea mărimilor intrare și ieșire în baza analizei informații accesibile, stabilirea caracterului parametrilor supuși cercetării (cu caracter determinist și aleatoriu), estimarea parametrilor ce caracterizează perturbațiile, care nu sunt măsurate, precizia echipamentului utilizat pentru efectuarea măsurătorilor, cerințele privind condițiile către mediul înconjurător, impactul factorului uman etc.

4. Estimarea preciziei necesare privitor la rezultatele măsurătorilor parametrilor controlați, precum și banda posibilă de deviere a acestor parametri în cadrul experimentului. Elaborarea planului de realizare a experimentului, care include numărul și consecutivitatea executării probelor în cadrul cercetării experimentale. Consecutivitatea executării probelor în cadrul cercetărilor experimentale influențează la direct asupra numărului necesar de experimente necesare pentru a atinge indicii planificați de precizie și credibilitate a rezultatelor obținute. Cel mai bine sunt dezvoltate metodele unidimensionale de realizare a experimentelor care au scopul de determinare a unei caracteristici sau soluții optime (se variază un singur factor), cum ar fi metoda Fibonacci, secțiunea de aur.

5. Analiza statistică a rezultatelor experimentului, elaborarea modelului matematic al comportamentului caracteristicilor studiate. Necesitatea prelucrării statistice a rezultatelor obținute experimental constă și în depistarea rezultatelor care se clasifică din punct de vedere a statisticii ca erori grosolane pentru a reduce probabilitatea unor formulări și concluzii eronate. Prelucrarea rezultatelor obținute experimental include:

- determinarea valorii medie a intervalului de încredere şi varianţă (sau abaterea standard) a valori parametrilor de ieşire (date experimentale) pentru o fiabilitate statistică prescrisă;
- verificarea valorilor de eroare (de emisie), în scopul de a evita rezultate discutabile din analize suplimentare, care se face în conformitate cu unul dintre criteriile speciale, care depinde de legea de distribuție a unei variabile aleatoare și tipul de eroare grosolană;
- verificarea respectării datelor experimentale caracterului legii de distribuție selectată a priori. În funcție de acest lucru se selectează planul de realizare a cercetării experimentale și se precizează caracterul modelului matematic care poate fi.

6. Modelul matematic se elaborează în cazul în care există necesitatea de a obține informații cantitative (caracteristicile cantitative) ale parametrilor de intrare și ieșire. Opțiunea aceasta prezintă o problema de aproximare, care constă în alegerea relației matematice care corespunde cel mai bine datelor experimentale. Se utilizează modelele de regresie, obținerea cărora se bazează pe descompunerea funcției dorite în mai multe componente liniare cu utilizarea seriilor Fourier, Taylor. O metodă utilizată pe scară largă de selecție a liniei de regresie este metodă celor mai mici pătrate.

7. Explicarea rezultatelor și formularea recomandărilor pentru utilizarea lor, precizarea metodei de executare a cercetării experimentale. Întru diminuarea eforturilor la obținerea rezultatelor experimentale se utilizează automatizarea complexă. Sistemele automatizate includ ștanduri de încercare cu module automatizate de realizare a funcțiilor de funcționare a echipamentului, de măsurare și procesare automată a rezultatelor măsurătorilor, de analiza statistică a rezultatelor cercetării și documente.

3.3.1. Planul de experimente și determinarea influenței parametrilor constructivi ai arzătorului asupra omogenității aer-gaz

Planificarea sau programarea experimentelor [5,27,40,141,184] permite determinarea factorilor semnificativi, a interacțiunilor semnificative mutuale dintre factori și permite obținerea ecuației ce exprimă fenomenul în funcție de efectele obținute ca fiind influente.

Pentru executarea cercetărilor experimentale s-au selectat planuri ortogonale complete întru studierea influenții factorilor la varierea lor intre două valori. Scopul planificării experimentelor constă în optimizarea procesului de elaborare a modelului matematic obținut în baza unui număr redus de rezultate experimentale. Determinarea parametrilor de ieșire se face prin utilizarea metodei modelării matriceale, iar pentru verificarea modelului și stabilirea semnificației factorilor și interacțiunilor mutuale dintre acești factori se folosește metoda bazată pe analiza variației lor. Deoarece obiectul principal al studiului îl prezintă arzătoarele de gaze naturale care prezintă obiecte fizice tridimensionale, reiese că atenția principală este necesar de acordat factorilor ce caracterizează geometria acestor echipamente. Ca factori semnificativi de influență asupra procesului de ardere se pot considera: geometria arzătoarelor, inclusiv, elementele denumite stabilizatoare, viteza de deplasare a amestecului aer-gaze, repartiția câmpului concentrației gazelor în torentul de amestec-gaze.

Pentru estimarea gradului de influență a factorilor geometrici ai stabilizatoarelor, vitezei amestecului asupra câmpului concentrației de gaze, s-a propus următorul plan de realizare a cercetărilor experimentale și prelucrare a datelor obținute:

- stabilirea influenței parametrilor geometrici ai stabilizatoarelor asupra câmpului concentrației de gaze;
- stabilirea efectelor factorilor și a interacțiunilor dintre aceștea;
- stabilirea procedurii de prelucrare a datelor experimentale și de determinare a modelului matematic;
- verificarea modelului pentru ansamblul de parametri luați în studiu.

În acest scop se cercetează câmpul concentrației gazului la arzătoare cu diverse tipuri și dimensiuni ale elementelor de stabilizare. Experimentele au fost realizate pe standul modificat, fără arderea gazelor-condiții simulare fizice cu cele de formare a amestecului de aer-gaz în instalațiile de ardere și a repartiției concentrației gazelor naturale în spațiul ocupat de amestec (figura 3.2). Aceasta se execută prin determinarea concentrației "gazului" în punctele secțiunilor "flăcării" în baza relației 2.8 ce determină viteza de degajare a căldurii în reacția chimică, expunând echilibrul dintre căldura generată și cea consumată pentru cazul, când concomitent se degajă și se consumă căldură.

În calitate de obiecte supuse testărilor experimentale s-au utilizat mostrele de arzătoare cu capacitatea constructivă a puterii nominale în limitele de 250 kW și 750 kW cu diferite tipuri de stabilizatoare.

Planul de cercetări experimentale a fost elaborat pentru 4 parametri. Pentru acești parametri au fost definite câte două nivele de încercare notate prin minus unitate și plus unitate. De fapt, acestea sunt limitele marginale de deviere ale valorilor mărimilor selectate, care se consideră ca factori semnificativi de influență asupra calității procesului de ardere a gazelor cu utilizarea arzătoarelor de gaze.

Parametrii selectați: a) diametrul echivalent al stabilizatorului; b) viteza amestecului; c) distanța de la gura de ieșire a arzătorului; d) distanța de la axa arzătorului.

Selectarea acestor parametri s-a făcut, reieșind dintr-un șir de factori. Dat fiind faptul, că de calitatea formării amestecului depind toate celelalte etape, prin care trece combustibilul până la transformarea energiei chimice în căldură, selectarea acestor parametri s-a făcut reieșind din următoarele necesități - formarea unei concepții reale (fizice) privind aceste procese în condiții tehnice concrete prin determinarea rolului și caracterului influenței fiecărui parametru și căutarea principiilor de intensificare a acestor procese. Diametrul echivalent al stabilizatorului determină gradul de turbulență a amestecului, reflectându-se asupra vitezei; viteza de diminuare a câmpului concentrației gazului caracterizează calitatea formării amestecului, și, ca urmare, determină unghiul de desfacere și lungimea flăcării (coeficientul k_2), reflectă mărimea unghiului de desfacere a flăcării, unde omogenitatea amestecului depinde semnificativ de dimensiunile stabilizatorului ce contribuie la formarea turbulenței (cu cât unghiul de desfacere e mai mare, cu atât amestecul devine mai rapid omogen); procesul de formare a amestecului este în mare măsură determinat de structura aerodinamică a curentului de gaze și aer, influențează stabilitatea procesului de ardere. Ținând cont de faptul, că durata reacției chimice de ardere este cu mult mai mică decât durata de formare a amestecului [1,16,19,48,54,83,112,], vitezei amestecului îi revine rolul principal (de bază), ce influențează concentrația gazului, care include viteza curentului de aer-gaz, viteza de rupere/ pătrundere a flăcării (care depinde esențial de diametrul stabilizatorului), limitelor stabilității flăcării (valorile vitezelor maxime de rupere, minime de pătrundere), reflecții la determinarea puterii dezvoltate, consumului de gaze e.t.c. Distanța de la gura de ieșire a arzătorului precum și distanța de la axa arzătorului constituie factorii semnificativi din categoria celora care influențează concentrația gazului, fiind principalii

88

parametri constructivi de influență asupra omogenității, inclusiv, și interacțiunea lor asigurând "gradul de stabilizare a concentrației".

Informații concrete privind diapazonul de variere a valorilor ansamblului de parametri selectați se prezintă în tabelul 3.2.

Parametrul	Factorul de încercat	Nivel	Nivel	Unitate de
1 drametrur	i detortar de meereat	-1	+1	măsură
Ds	Diametrul echivalent al stabilizatorului	120	124	mm
W _{am}	Viteza amestecului	1,5	5	m/s
x/D	Distanța de la gura de ieșire a arzătorului	0,5	2	(raportată la diametrul "gurii" eșirii arzătorului)
h	Distanța de la axa arzătorului	0	15	mm

Tabelul 3.2. Factorii de influență și nivelele de încercare a arzătoarelor

Pentru factorii de influență și nivelele de încercare a arzătoarelor selectate, planul de experimentare pentru cele două nivele de încercare este prezentat în tabelul 3.3, iar în tabelul 3.4 sunt prezentate rezultate ale experimentelor de identificare a factorilor și nivelele lor de încercare (variere) pentru arzătoarele selectate pentru efectuarea ciclurilor de cercetări experimentale în baza planului elaborat.

Numărul	Ds			W _{am}		x/D		h/R	
experimentului.	Nivel	Valoare	Nivel	Valoare	Nivel	Valoare	Nivel	Valoare	
1	-1	120	-1	Min	-1	0,5	-1	0	
2	-1	120	-1	Min	-1	0,5	+1	15	
3	-1	120	-1	Min	+1	2	-1	0	
4	-1	120	-1	Min	+1	2	+1	15	
5	-1	120	+1	Med	-1	0,5	-1	0	
6	-1	120	+1	Med	-1	0,5	+1	15	
7	-1	120	+1	Med	+1	2	-1	0	
8	-1	120	+1	Med	+1	2	+1	15	
9	+1	124	-1	Min	-1	0,5	-1	0	
10	+1	124	-1	Min	-1	0,5	+1	15	
11	+1	124	-1	Min	+1	2	-1	0	
12	+1	124	-1	Min	+1	2	+1	15	
13	+1	124	+1	Med	-1	0,5	-1	0	
14	+1	124	+1	Med	-1	0,5	+1	15	
15	+1	124	+1	Med	+1	2	-1	0	
16	+1	124	+1	Med	+1	2	+1	15	

Tabelul 3.3. Planul de experimentare conform factorilor și nivelele de încercare (selectiv)

Num. exp.	$T_i(1)$	$T_i(2)$	$T_i(3)$	$C_g(1)$	$C_g(2)$	$C_{g}(3)$	C_g	S_{g}^{2}
1	69,0	70,0	70,6	61,1	62,1	62,9	62,0	0,8
2	38,9	40,2	41,5	26,0	27,5	29,0	27,5	2,3
3	28,7	27,8	28,5	14,0	13,0	13,8	13,6	0,3
4	26,3	26,6	26,8	11,2	11,5	11,8	11,5	0,1
5	68,9	66,9	66,3	60,9	58,5	57,9	59,1	2,5
6	36,6	37,4	36,6	23,2	24,2	23,2	23,6	0,3
7	32,4	31,4	32,4	18,4	17,2	18,3	18,0	0,5
8	25,9	27,1	25,9	10,8	12,2	10,7	11,2	0,7
9	70,4	67,6	68,8	62,7	59,4	60,8	60,9	2,7
10	38,0	38,2	38,6	24,9	25,1	25,6	25,2	0,1
11	30,9	27,7	29,2	16,5	12,9	14,5	14,7	3,3
12	25,9	25,3	24,4	10,8	10,0	9,0	9,9	0,8
13	68,1	68,4	66,3	60,0	60,3	57,9	59,4	1,7
14	37,0	36,0	35,9	23,7	22,5	22,4	22,9	0,5
15	34,4	34,3	33,7	20,6	20,5	19,9	20,3	0,2
16	26,3	26,7	25,2	11,2	11,7	9,9	10,9	0,9

Tabelul 3.4. Valorile rezultatelor cercetărilor experimentale (conform indicilor tabelului 3.3)

Folosind rezultatele obținute din fiecare serie de experimente privind determinarea valorilor mărimilor notate prin $T_i(1)$, $T_i(2)$, $T_i(3)$, se calculează cu formula (2.13) concentrația gazului $C_g(1)$, $C_g(2)$, $C_g(3)$.

În continuare se procesează rezultatele obținute experimental și prin calcule după următoarea schemă. Testarea reproducerii are la bază verificarea îndeplinirii ipotezei a doua a analizei de regresie ce se referă la omogenitatea dispersiilor S^2 ale setului de date experimentale (tabelul 3.4).

Problema constă în testarea ipotezei despre egalitatea dispersiilor $\sigma^2(Y_1) = \sigma^2(Y_2) = ...$ = $\sigma^2(Y_n)$. Dispersia se determină cu formula (2.10). Toate dispersiile sunt calculate și obținute pentru volume egale de date experimentale cu același grad de libertate egal cu $\gamma_1 = n-1$.

La testarea ipotezei despre omogenitatea dispersiilor s-a aplicat testul Kohren cu utilizarea relației (2.11).

Valoarea mărimii G = 0,189 obținută în baza datelor experimentale a testului de verificare a ipotezei (criteriul Kohren) este mai mică ca valoarea tabelară G_{cr} , determinată pentru nivelul de semnificație q=5%. Valoarea tabelară $G_{cr} = 0,5157$ depășește valoarea calculată G = 0,189, deci, ca urmare a acesteia reiese și ipoteza despre omogenitatea dispersiilor este admisibilă.

Prin prelucrarea datelor din tabelul 3.4 (factori și nivelele de încercare) conform algoritmului cunoscut [5, 23, 142], s-au determinat gradul de influență și nivelului de interacțiune mutuală ale factorilor examinați (a vedea tabelul 3.5).

Tabelul 3.5

Media	Efecte	e factorilor	la nivelu	11	Interacțiunile între factori la nivelul 1					
$Y_g(b_0)$	Ds	Wam	<i>x/D</i>	h/R	Ds&Wa	Ds &	Ds &	Wam	Wam	x/D
	(b_{1})	<i>(b</i> ₂ <i>)</i>	(<i>b</i> ₃)	(b_1)	т	x/D	h/R	& x/D	& h/R	&
					(b_{12})	(<i>b</i> ₁₃)	(b_{14})	(b ₂₃)	(<i>b</i> ₂₄)	h/R
										<i>b</i> 34)
28,17	0,33	-0,1397	-4,528	-0,223	0,0122	-1,8085	-1,278	-1,818	-1,231	-3,1

Valorile numerice ce caracterizează gradele de influență și interacțiune a factorilor cercetați

Analiza și procesarea rezultatelor experimentale obținute în cadrul realizării planului de efectuare a experimentelor la varierea parametrilor de intrare a permis obținerea următoarei relații, care conform noțiunilor introduse anterior se poate defini ca model matematic al proceselor studiate:

$$+C_{g} = Y_{g} + \begin{bmatrix} E_{D1} & E_{D2} \end{bmatrix} \cdot D_{s} + \begin{bmatrix} E_{w1} & E_{w2} \end{bmatrix} \cdot w_{am} + \begin{bmatrix} E_{X1} & E_{X2} \end{bmatrix} \cdot (x/D) + \begin{bmatrix} E_{H1} & E_{H2} \end{bmatrix} \cdot (h/R) + \\ +{}^{t}D_{s} \begin{bmatrix} I_{D1w1} & I_{D1w2} \\ I_{D2w1} & I_{D2w2} \end{bmatrix} \cdot w_{am} + {}^{t}D_{s} \begin{bmatrix} I_{D1X1} & I_{D1X2} \\ I_{D2X1} & I_{D2X2} \end{bmatrix} \cdot (x/D) + {}^{t}D_{s} \begin{bmatrix} I_{D1h1} & I_{D1h2} \\ I_{D2h1} & I_{D2h2} \end{bmatrix} \cdot (h/R) + {}^{t}w \begin{bmatrix} I_{w1X1} & I_{w1X2} \\ I_{w2X1} & I_{w2X2} \end{bmatrix} \cdot (x/D) \\ + {}^{t}w \begin{bmatrix} I_{w1h1} & I_{w1h2} \\ I_{w2h1} & I_{w2h2} \end{bmatrix} \cdot (h/R) + {}^{t}X \begin{bmatrix} I_{X1h1} & I_{X1h2} \\ I_{X2h1} & I_{X2h2} \end{bmatrix} \cdot (h/R)$$

$$(3.1)$$

Expresia (3.1) descrie procesului de formare a amestecului aer-gaz studiat în "nodurile" rețelei selectate.

Utilizând datele din tabelul 3.5 și relația (3.1) se pot determina valorile calculate ale mărimilor studiate –valoarea medie a factorului de influență, abaterea și pătratul abaterii. Aceste date sunt prezentate în tabelul 3.6.

Pentru testarea ipotezei statistice, este suficient de determinat abaterea mărimii de ieșire \hat{Y}_g , calculată cu ecuația de regresie, față de rezultatele experimentale \overline{Y}_g în punctele spațiului factorial. Distribuția rezultatelor experimentale în apropierea ecuației de legătură, care aproximează dependența funcțională căutată, poate fi caracterizată cu ajutorul dispersiei de neadecvare σ^2_{ad} , valoarea căreia S^2_{ad} se calculează cu formula (2.10).

Testarea ipotezei de adecvare constă în determinarea relației dintre dispersia de neadecvare σ_{ad}^2 și dispersia de reproducere $\sigma^2 \{Y\}$. Dacă σ_{ad}^2 nu depășește dispersia

experimentului, atunci modelul matematic obținut reprezintă adecvat rezultatele experimentului, deci dacă se îndeplinește condiția $\sigma_{ad}^2 \langle T \rangle$, reiese că descrierea obiectului cu relația propusă va fi neadecvată.

Tabelul 3.6.

Num. exp.	Ds	V_{am}	x/D	h/R	Y – val. experim.	\overline{Y} - val. medie calculată	Devierea de la medie aritmetică, $Y_i - \overline{Y}$	Valoarea patrată a devierii, $(Y_i - \overline{Y})^2$
1	-1	-1	-1	-1	62,0	54,3	-7,7	59,3
2	-1	-1	-1	+1	27,5	29,6	2,2	4,7
3	-1	-1	+1	-1	13,6	14,5	0,9	0,8
4	-1	-1	+1	+1	11,5	11,4	-0,1	0,0
5	-1	+1	-1	-1	59,1	65,1	6,0	36,4
6	-1	+1	-1	+1	23,6	24,3	0,7	0,6
7	-1	+1	+1	-1	18,0	17,1	-0,9	0,8
8	-1	+1	+1	+1	11,2	12,7	1,4	2,1
9	+1	-1	-1	-1	60,9	67,0	6,0	36,1
10	+1	-1	-1	+1	25,2	26,2	1,0	1,0
11	+1	-1	+1	-1	14,7	15,6	0,9	0,9
12	+1	-1	+1	+1	9,9	10,3	0,3	0,1
13	+1	+1	-1	-1	59,4	58,2	-1,2	1,4
14	+1	+1	-1	+1	22,9	20,8	-2,1	4,3
15	+1	+1	+1	-1	20,3	19,5	-0,8	0,7
16	+1	+1	+1	+1	10,9	11,3	0,4	0,1

Planul experimental cu rezultate și valorile calculate a mărimilor studiate și devierilor de la cele experimentale

Mențiune: Reminsciență, rămășiță/rest.

Testarea ipotezei de adecvare se realizează cu utilizarea testului *Fisher*, conform relației (2.12). În caz că valoarea mărimii calculate cu formula (2.12) este mai mică ca valoarea tabelară F_{cr} , determinată pentru nivelul de semnificație q (%), numărul de grade de libertate a numărătorului $v_{numar} = v_{ad} = v_4 = N - d$ și a numitorului $v_{numit} = v_3 = N(m-1)$, reiese, că se poate admite ipoteza nulă, în caz contrar – se respinge, iar modelul obținut se recunoaște neadecvat.

Valorile criteriului Fisher $F_{cr}(q = 5\%; v_3; v_4)$ sunt prezentate în tabelul 3.7.

V_3 / V_4	1	2	3	4	5	8	10	14
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,59	2,49	2,37
32	4,15	3,29	2,90	2,67	2,51	2,24	2,14	2,01

Tabelul 3.7 Repartiția valorilor criteriului Fisher pentru q=5%

În cazul în care dispersia de neadecvare, S_{ad}^2 a setului experimental nu depășește valoarea dispersiei de reproducere $S^2{Y} = (adică S_{ad}^2 \le S^2{Y})$, relația (2.12) nu contrazice datele lotului experimental, astfel modelul matematic descrie adecvat procesul de formare a amestecului.

Testarea semnificației factorilor de intrare la modelare [5, 23, 139, 160] s-a executat aplicând testul Snedecor, care permite analiza variației unei variabile aleatoare, ținând cont de numărul gradelor de libertate a modelului și numărul gradelor de libertate, iar rezultatele analizei dispersiei sunt prezentate în tabelul 3.8.

Obiectivul analizei variației este de a descompune variația totală în așa fel, încât să se evite partea factorilor necontrolați și partea fiecărui factor luat în studiu.

Tabelul 3.8.

		Grad	Variatiila		f	f	
Sursa	Variabilitatea	libert	(dispersiile)	F	I_{α}	I_{α}	Semnificația
	0	noen.	(uispersitie)		p=0,99	p=0,95	
D_s	$S_{\rm D} =$	1	$V_{\rm D} = 0,330625$	0,07546	16,26	6,61	Nesemnificativ
	0,550025						
Wam	$S_w = 0,000625$	1	$V_w = 0,000625$	0,00014	16,26	6,61	Nesemnificativ
/D	$S_x =$	1	V - 2220 641	757 01010	16.26	6.61	Commitication
x/D	3320,641	1	$v_x = 3320,041$	/5/,91910	10,20	0,01	Semnificaliv
1/D	$S_h =$	1	N. 1808 854	412 (001)	1()((1)	G • C•
n/K	1707,756	1	$V_{\rm h} = 1/0/, /50$	412,08810	16,26	0,01	Semnificativ
	$S_{Dw} =$		XX 1 000 (2	0.400 - 4			
D_s^*w	1,89063	I	$V_{Dw} = 1,89063$	0,40071	16,26	6,61	Nesemnificativ
D *	$S_{Dx} =$	1	XI 1.755(2	0.42152	10.00	C (1	
D_s^*x	1,75563	1	$V_{Dx} = 1,/5563$	0,43153	16,26	6,61	Nesemnificativ
D*1	S _{Dh} =	1	M = 2.515(2)	0.00242	1()	((1	N
D*n	3,51563	1	V _{Dh} -3,31303	0,80242	10,20	0,01	Nesemnificativ
*	S _{wx} =	1	N 20.2556	(17202	1()(((1	Mediu
<i>w*x</i>	28,3556	1	$V_{wx} = 28,3556$	6,47203	16,26	6,61	semnificativ
¥1	S _{wh} =	1	VI 7 700(2	1 757(2	1()(((1	NT
w*h	7,70063	1	$V_{\rm wh} = 7,70063$	1,/5/63	16,26	6,61	Nesemnificativ
<i>x</i> * <i>h</i>	$S_{xh} = 886,551$	1	V _{xh} =886,551	202,35061	16,26	6,61	Semnificativ
Rezid	$S_{err} = 4,138$	5	$V_n = 4,138$				
Total	$S_T = 5962,6$	15		-			

Rezultatelor analizei dispersiei

În baza analizei rezultatelor obținute se poate estima gradul de influență a principalilor parametri constructivi ai arzătorului asupra omogenității. Se poate constata următoarele:

- Influență semnificativă asupra omogenității amestecului, conform criteriului Fisher, pentru un nivel de încredere de 95% (risc de 5%) este determinată de parametrii: x/D distanța de la gura arzătorului; h/R distanța de la axa gurii arzătorului şi x*h interacțiunea lor. Alți factori luați în considerare la realizarea studiului se pot clasifica ca o grupă de factori nesemnificativi.
- De o influență puternică a factorilor intrare asupra omogenității amestecului se caracterizează raportului dintre distanța de la ieșirea din arzător și diametrul arzătorului. De remarcat, de asemenea, că efectele factorilor sunt mai puternice decât cele ale interacțiunilor.

3.4. Adoptarea și verificarea metodei de cercetare a omogenității amestecului aer-gaz.

Stabilirea procesului de formare a amestecului aer-gaz în instalații de ardere la sarcini variabile

Cunoașterea structurii turbulente ale curenților și câmpului de concentrație a gazului permite evidențierea posibilității de intensificare a procesului de ardere și construire rațională a arzătoarelor, precum și argumentarea selectării focarelor/cazanelor în care este rezonabil de utilizat aceste arzătoare. În compartimentul 3.3.2 s-a determinat influența a mai multor factori asupra omogenității amestecului, cum ar fi: gradul de turbulență, viteza amestecului, distanța de la deschiderea arzătorului și raza de la axa flăcării. O altă componentă importantă pentru asigurarea unei omogenității ridicate a amestecului aer-gaz îi revine elementului arzătorului denumit stabilizator.

Un aspect foarte important privind producerea energiei termice prin ardere îl constituie asigurarea securității la exploatarea acestor instalații, care la fine depinde de calitatea procesului de ardere. În acest context, ca o condiție necesară pentru a asigura securitatea procesului tehnologic se prezintă necesitatea stabilizării arderii amestecului de aer-gaz, indiferent de metoda cum se obține acest amestec.

Ca exemplu, se pot indica arzătoarele care au la baza funcționării efectele de injecție, fie a aerului sau a gazului condiționate de fenomenul de scurgere cu o viteză oarecare a unui torent prin secțiunea arzătorului.

Viteza de scurgere a amestecului de aer-gaz la funcționarea instalației termice la sarcini variabile necesită o reglare obligatorie permanentă, deoarece este necesar de modificat puterea arzătorului. Aceste reglări a debitului prin schimbarea vitezei pot avea în calitate de consecințe ruperea flăcării de la gura arzătorului, pătrunderea flăcării în arzător, stingerea flăcării care poate

conduce la formarea unui amestec explozibil în focar și în căile de evacuare a gazelor de ardere. Ca să nu avem astfel de fenomene este necesar, ca la exploatarea arzătoarelor să se respecte un șir de cerințe, inclusiv, și utilizarea stabilizatoarelor procesului de ardere. În funcție de presiunea gazului, caracteristicile procesului în care se utilizează căldura obținută prin ardere se folosesc diferite soluții de realizare ale stabilizatoarelor: cu inel, tunel din ceramică, placă stabilizatoare, care creează vârtej pe traseul de curgere.

Influența stabilizatoarelor la formarea și menținerea omogenității amestecului aer-gaz în procesul de ardere la sarcini variabile

Cunoașterea profundă a structurii turbulente a curenților și câmpului de concentrație a gazului permite evidențierea posibilității de intensificare a procesului de amestec pentru arderea calitativă și construirea rațională a arzătoarelor, precum și argumentarea selectării focarelor/ cazanelor în care este rezonabil de utilizat aceste arzătoare.

În compartimentul 3.3.2 s-a determinat influența a mai multor factori asupra omogenității amestecului, cum ar fi: gradul de turbulență, viteza amestecului, distanța de la deschiderea arzătorului și raza de la axa flăcării.

O altă componentă importantă pentru asigurarea unei omogenități depline a amestecului aer-gaz pentru arderea calitativă îi revine și elementului constructiv al arzătorului denumit stabilizator.

Studierea stabilizatoarelor de diferite tipuri, dimensiuni are ca rezultat estimarea influenței calitative și cantitative asupra stabilității flăcării pe tot diapazonul de variație a puterii arzătoarelor. În urma analizei surselor [4,5,17-:-21,23,37-:-39,44,45,47,48,57,91,132,151,154, 171,174,175] s-a constatat, că există o gamă largă de dispozitive atât 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:

- a) stabilizator cu distribuție axială a gazului format dintr-un disc cu palete sectoriale, răsucite sub un unghi față de curentul de aer (în continuare numit stabilizator de tip "A", figura 3.4;
- b) stabilizator format dintr-un număr de palete în formă de "V" cu distribuție axială a gazului [32, 121], soluție propusă de Institutul Politehnic din Kiev, numit stabilizator de tip "B", figura 3.5.

Este bine cunoscut faptul, că aceste stabilizatoare pe lângă avantajele lor, au și dezavantaje:

 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; stabilizatorul de tip "B" are un grad bun de omogenitate, însă diapazonul de variație a
puterii este mai redus decât la tipul "A".

Din aceste considerente a fost elaborat și utilizat un stabilizator de formă conică cu distribuția gazului pe partea periferică (laterală), numit stabilizator de tip "C", figura 3.6.

Stabilizatoarele utilizate în lucrare au următoarele particularități privind realizarea lor constructivă: stabilizatorul de tip A prezintă un disc cu palete "sectoriale", răsucite sub un unghi α față de curentul de aer și cu distribuție axială a gazului (figura 3.4); stabilizatorul de tip B - paletele lui au formă de "V" cu distribuția axială a gazului (figura 3.5) și stabilizatorul de tip C are forma unui con cu distribuția gazului pe partea laterală a conului (figura 3.6).



Fig. 3.6. Cap de ardere cu stabilizator de tip C.

De menționat, că unul din scopurile investigației constă în studierea influenței dimensiunii geometrice ale stabilizatorului, în cazul dat a diametrului lui asupra calității

procesului de formare și menținere a stabilității flăcării în raport cu dimensiunile geometrice ale arzătorului (diamertrele) dat fiind faptul, că se are ca scop determinarea experimentală a caracterului influenței diferitor tipuri de stabilizatoare asupra calității procesului de amestec pentru asigurarea arderii calitative și selectarea celei mai performante soluții, luându-se în vedere și necesitatea asigurării similitudinii hidrodinamice privind scurgerea amestecului aer-gaz prin stabilizator. Astfel, selectarea parametrilor constructivi ai stabilizatoarelor s-a efectuat după criteriul asigurării egalității ariilor suprafețelor baleate a stabilizatoarelor, care au diferite valori ale diametrului notat prin D_s . Mărimea notată prin D_s prezintă valoarea diametrului echivalent al stabilizatorului în raport cu arzătorul, care și determină similitudinea influenței stabilizatorului asupra amestecului aer-gaz în procesul de scurgere prin acest element. 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. Cele menționate pot fi bază pentru lansarea ipotezei, că stabilizatorul are o influentă semnificativă asupra calității arderii, iar realizarea lui constructivă prezintă o problemă destul de dificilă. Pentru a obține rezultate bune privind calitatea procesului de amestec întru a asigura arderea calitativă este necesar de efectuat investigații de optimizare a realizării constructive ale stabilizatoarelor în funcție de condițiile concrete de aplicare și utilizare a acestui element constructiv al arzătorului.

De menționat, că stabilizatoarele au o semnificație evidentă în ce privește rolul lor pentru asigurarea:

- omogenității amestecului, care depinde semnificativ de dimensiunile stabilizatorului privind asigurarea gradului respectiv de turbulență (cu cât unghiul de desfacere este mai mare, cu atât amestecul devine mai rapid omogen);
- în dependență de forma constructivă şi parametrii geometrici are loc atât fenomenul de stabilizare, cât şi destabilizarea procesului de ardere a gazelor(urmare a ruperii flăcării de la gura arzătorului sau pătrunderea ei în canalul arzătorului);
- prin metode aerodinamice și cu utilizarea stabilizatoarelor se asigură stabilizarea flacării, la ieșirea din arzător și se creează condiții sigure de aprindere a amestecului aer-gaz;
- stabilitatea procesului de ardere la etapele de variere a sarcinii arzătorului.

Din cele menționate se poate lansa ipoteza, că stabilizatorul are o influență semnificativă asupra calității arderii gazelor naturale, iar realizarea lui constructivă prezintă o problemă destul de dificilă. Pentru a obține rezultate bune privind calitatea procesului de ardere este necesar de efectuat investigații orientate spre optimizarea realizării constructive ale stabilizatoarelor în

funcție de condițiile concrete de aplicare și utilizare a acestui element constructiv al arzătorului prin optimizarea câmpului de viteze în flacără.

Aspecte metodologice privind cercetarea experimentală a influenței stabilizatoarelor asupra amestecului aer-gaz

Optimizarea realizării constructive a stabilizatorului se poate face în baza studierii experimentale a câmpurilor de repartiție a concentrației gazelor și câmpului de temperaturi prin varierea dimensiunilor geometrice a stabilizatorului pentru cazul utilizării lor în diferite tipuri de arzătoare. În acest scop, pentru soluționarea problemei optimizării realizării constructive a stabilizatoarelor se propune schema de cercetare experimentală a câmpului de concentrație a "gazului" cu utilizarea standului prezentat în figura 3.2.

Pentru a determina experimental repartiția câmpului de temperaturi în spațiul ocupat de "flacără" s-a proiectat și confecționat un element pe care s-au montat spațial traductori de temperatură. Traductorii au fost montați în planul secțiunii unui cerc. Aria acestui cerc a fost divizată în 8 sectoare cu unghiul central de 45⁰. Pe laturile acestor sectoare s–au montat senzori (traductoare) de temperatură, începând din centrul cercului spre periferie. Astfel, s-a format o rețea plană de amplasare a traductoarelor, care se pot deplasa pe axa "flăcării", deci, îndepărtîduse de la gura arzătorului, precum prin rotirea acestor traductoare fixate se poate scana tot spațiul cu rezoluția determinată de pasul de fixare a traductoarelor pe direcția razei acestui cerc. Vom menționa, că rezoluția scanării spațiului în direcția axei "flăcării, este determinată de pasul de deplasare a traductoarelor în această direcție. Ce se referă la rezoluția de scanare a temperaturii pe raza planului de rotire a elementului de fixare a senzorilor, densitatea spațială a punctelor în care se măsoară valorile temperaturii depinde de distanța lor de la axa de rotire. Totuși, se poate menționa, că și în acest caz se poate obține o densitate dorită, inclusiv, omogenă a punctelor în care se măsoară temperatura pin selectarea unghiului de rotirea în plan transversal axei "flăcării" a elementului de fixare a senzorilor de temperatură.

Deoarece senzorii de temperatură sunt racordați la sistemul automatizat de măsurare, avem posibilitatea de a obține informații detaliate despre repartiția câmpului de temperaturi prin o planificare respectivă a procedurii de măsurare a mărimilor respective. Acest procedeu se reduce la deplasarea pas cu pas a senzorilor în direcția axei "flăcării", iar la fiecare pas de mișcare longitudinală, este necesar de efectuat rotirea planului de fixare a senzorilor în limitele unghiului central de la 0[°] până la 45[°]. În dependență de îndepărtarea de la centru a senzorului și asigurarea formării unei densități omogene privind punctele de măsurare a temperaturii, unghiul de rotire a senzorilor se poate determina din relația $\alpha(r) = 2 \arcsin \frac{l_{cc}}{2r}$, în care $l_{cc} =$ *constant* și prezintă pasul de discretizare a planului de măsurare a temperaturii în spațiul ocupat de "flacără", r = h- distanța de la axa "flăcării", $\alpha(r)$ - unghiul de deplasare a senzorului aflat la distanța r = h.

Scanarea câmpului de temperaturi a "flăcării" se poate face utilizând amplasarea senzorilor de temperatură doar pe o singură rază în planul vertical. În acest caz unghiul de rotire a acestor senzori pentru a scana câmpul de temperaturi în direcție r = h va fi în limitele $0 \le \alpha(r) \le 360^{\circ}$.

În figura 3.3 este prezentată schema convențională a amplasării senzorilor de temperatură în elementul de fixare pentru a cerceta repartiția temperaturii în "flacără".

3.4.1. Verificarea vigurozității metodei experimentale de cercetare a câmpului de repartiție a concentrației gazului în flacără

Utilizând procedurile descrise, ansamblul de senzori de temperatură (fig.3.3) și ștandul (fig. 3.2) s-au efectuat măsurători a *"temperaturii flăcării*" cu recalcularea concentrației *"gazului*" în corpul *"flăcării*" în toate punctele spațiului de măsurare a repartiției mărimii informative.

Cercetările experimentale a repartiției câmpului de temperaturi în *"flacără"* s-a realizat pentru mai multe tipuri de arzătoare a căror putere nominală a variat intre 250 și 750 kW.

La cercetarea proceselor în arzător cu scopul estimării robusteții metodei de cercetare experimentală și a influenței realizării constructive asupra calității procesului de ardere s-a luat în vedere și necesitatea asigurării similitudinii hidrodinamice privind scurgerea amestecului aer-gaz prin stabilizator.



Fig. 3.3. Schema amplasării senzorilor de temperatură pentru determinarea câmpului concentrației gazului.

Unul din obiectivele speciice ale investigației constă în studierea influenței dimensiunii geometrice ale stabilizatorului, în cazul dat a diametrului lui, asupra calității procesului de menținere a stabilității *"flăcării*,, în arzător. 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 lui termică, este necesar ca modelarea fzică să fire realiztă în toată banda de evoluție a acestor mărimi.

În regimuri permanente aceste caracteristici au de obicei o evoluție monotonă. Aceasta ne permite, ca cercetările experimentale să fie executate pentru valori discrete, prin ce se diminuează mult numărul probelor experimentale executate. Deoarece, în calitate de criteriu principal al performanței procesulu de funcționare a arzătorului la sarcini variabile se consideră asigurarea atabilității flăcării, se poate lansa ipoteza, că în regimurile permanente discrete acest criteriu se va îndeplini pentru toată gama de puteri, în caz că se asigură stabilitatea pentru condițiile marginale, deci stabilitaea flăcării la puterea minimlă și la puterea maximală a arzătorulu. În acest context, planul de cercetare se poate limita la utilizarea a trei valori a puterii arzătorului – minimală P_{min} , medie P_{med} , maximală $P_{max} = P_{nom}$, care coincide cu puterea nominală a arzătorului.

Rezultatele determinării câmpului concentrației gazului în flacără, obținut urmare a recalculării câmpului de temperaturi măsurat după metoda expusă și cu utilizarea ștandului experimental (a vedea fig. 3.2) sunt prezentate în tabelul 3.9.

Le executarea probelor a fost menținut raportul volumetric de aer "rece" și "gaz" (aer încălzit) la intrarea în arzător, corespunzător calității amestecului a = 1,0. Volumul a fost măsurat (Anexa 18) la diferite temperaturi, dar calculul a fost efectuat pentru temperatura normală.

Tabelul 3.9

Nr.expe- riment / Calitate amestec coef. de (exces aer), a	Debit aer, V_a , Nm^3/s	Debit gaz, V_g , m^3/s	Debit amestec, V_{am} , m^3/s	Viteza amestecului, <i>m/s</i>	P, ¹⁾ <i>kW</i>	$G_{g}^{(2)}m^{3}/h$					
I.	(Stabilizator tip A, a = 10 grade, Ds = 124 mm, P_{\min})										
1/1,0	0,023	0,0022	0,0252	1,98	77	8,28					
(Stabilizator tip A, a = 10 grade, Ds = 124 mm, P_{med})											
2/1,0	0,039	0,0042	0,0432	3,615	140	15,19					
(Stabilizator tip A, a = 10 grade, Ds = 124 mm, P_{max})											
3/1,0	0,51	0,05	0,00574	5,25	205	22,08					
(Stabilizator tip A, a = 15 grade, Ds = 123 mm, P_{\min})											
4/1,0	0,019	0,002	0,021	1,68	65	6,96					
	(Stabilizator tip A, a = 15 grade, Ds = 123 mm, P_{med})										
5/1,0	0,0335	0,0035	0,037	3,01	117,5	12,6					
	(S	stabilizator tip A,	a = 15 grade, $Ds = 1$	23 mm, P_{max})							
6/1,0	0,048	0,005	0,053	4,35	170	18,24					
	(8	Stabilizator tip A,	a = 20 grade, $Ds = 1$	21 mm, P_{\min})							
7/1,0	0,0170	0,0018	0,0177	1,47	58	6,24					
	(S	tabilizator tip A,	a = 20 grade, $Ds = 1$	21 mm, P_{med})							
8/1,0	0,0295	0,0034	0,03315	2,67	105	11,28					
	(S	tabilizator tip A,	a = 20 grade, $Ds = 1$	121 mm, P_{max})							
9/1,0	0,042	0,005	0,0486	3,87	152	16,32					
II.	(Stab	ilizator tip B, n	= 12, b = 32 mm, Ds	$= 124 \text{ mm}, P_{\min}$)						
10/1,0	0,022	0,0023	0,0243	1,92	75	8,4					
	(Stabiliz	zator tip B, $n = 1$	2, b = 32 mm, Ds =	124 mm, Pw = m	ied)						
11/1,0	0,0415	0,00435	0,04585	3,64	142	15,42					

	(Stab	ilizator tip B, n =	= 12, b = 32 mm, Ds	$= 124 \text{ mm}, P_{med}$							
12/1,0	0,061	0,0064	0,0674	5,37	209	22,44					
	(Stab	ilizator tip B, n =	= 12, b = 31 mm, Ds	$= 123 \text{ mm}, P_{\min})$							
13/1,0	0,0191	0,0021	0,0211	1,72	68	7,32					
	(Stab	ilizator tip B, n =	= 12, b = 31 mm, Ds	$= 123 \text{ mm}, P_{med}$							
14/1,0	0,03755	0,00395	0,04145	3,39	133	14,28					
	(Stabilizator tip B, n = 12, b = 31 mm, Ds = 123 mm, P_{max})										
15/1,0	0,056	0,0058	0,0618	5,07	198	21,24					
	(Stab	ilizator tip B, n =	= 12, b = 30 mm, Ds	$= 120 \text{ mm}, P_{\min})$							
16/1,0	0,0170	0,0018	0,0177	1,50	59	6,4					
	(Stabilizator tip B, n = 12, b = 30 mm, Ds = 120 mm, P_{med})										
17/1,0	0,0335	0,00355	0,0365	2,96	115,5	12,44					
	(Stabilizator tip B, n = 12, b = 30 mm, Ds = 120 mm, P_{max})										
18/1,0	0,05	0,0053	0,0553	4,41	172	18,48					
III.	II. (Stabilizator tip C, Ds = 124 mm, P_{\min})										
19/1,0	0,021	0,0022	0,0232	1,83	71	7,7					
(Stabilizator tip C, Ds = 124 mm, P_{med})											
20/1,0	0,0445	0,00465	0,04915	4,05	158	17,2					
	(Stabi	lizator tip C, Ds	$= 124 \text{ mm}, P_{\text{max}}$)								
21/1,0	0,068	0,0071	0,0751	6,27	245	26,7					
	(Stabiliz	ator tip C, Ds =	$122 \text{ mm}, P_{\min}$)								
22/1,0	0,019	0,002	0,021	1,62	64	6,8					
	(Stabiliz	zator tip C, $Ds =$	$122 \text{ mm}, P_{med}$)								
23/1,0	0,0395	0,00415	0,04365	3,48	136	14,55					
	(Stabili	zator tip C, Ds =	= 122 mm, $P_{\rm max}$)								
24/1,0	0,06	0,0063	0,0663	5,34	208	22,3					
	(Stabil	izator tip C, Ds	$= 120 \text{ mm}, P_{\min})$								
25/1,0	0,0160	0,0017	0,0177	1,41	56	6					
	(Stabiliz	zator tip C, $Ds =$	$(120 \text{ mm}, P_{med})$								
26/1,0	0,0345	0,0038	0,0403	3,14	122,5	13,15					
	(Stabiliz	zator tip C, Ds =	120 mm, P_{max})								
27/1,0	0,053	0,0059	0,0629	4,86	189	20,3					

1) *P* – puterea termică dezvoltată de arzător;

2) G_g – debitul orar de gaze.

Pentru fiecare punct al planului de experimente se efectuează un ciclu de operații cu colectarea datelor pentru fiecare secțiune perpendiculară pe axa flăcării cu pasul $\Delta(x/D) = 0.5$.

Т

Г

Experimentele au fost efectuate pentru valorile parametrilor prezentați în tabelul 3.10.

Tabelul 3.10 Valori ale "câmpului" de temperaturi în secțiunile

٦

Nr. secțiune	Poziție	Distanta	Distanța de la gura arzătorului: x/D=0,5						
INI. secțiune	senzor	h/R, mm	T_{l}	T_2	T_3	T_{med}	C _g , %		
	12	30	17,7	20,0	19,8	19,2	2,4		
	11	27,5	20,5	20,5	21,6	20,9	4,3		
	10	25	22,4	18,9	20,6	20,6	4,1		
	9	22,5	20,1	18,2	20,4	19,6	2,9		
	8	20	18,7	20,9	19,8	19,8	3,1		
	7	17,5	22,1	19,2	19,8	20,4	3,8		
	6	15	20,2	22,4	19,5	20,7	4,1		
	5	12,5	22,0	21,3	20,5	21,3	4,8		
	4	10	20,5	18,8	20,9	20,1	3,4		
	3	7,5	20,5	19,8	19,4	19,9	3,2		
	2	5	18,7	20,8	20,1	19,8	3,1		
	1	2,5	20,5	18,3	20,9	19,9	3,2		
i=1,24	0	0	18,0	20,7	20,3	19,7	2,9		
	-1	-2,5	22,0	20,9	20,2	21,0	4,5		
	-2	-5	21,4	19,3	17,7	19,5	2,7		
	-3	-7,5	20,3	19,8	20,1	20,1	3,4		
	-4	-10	21,5	21,7	17,7	20,3	3,6		
	-5	-12,5	18,4	20,0	17,2	18,5	1,6		
	-6	-15	18,0	20,0	20,0	19,3	2,6		
	-7	-17,5	17,5	21,9	21,0	20,1	3,5		
	-8	-20	21,0	20,2	19,1	20,1	3,4		
	-9	-22,5	21,2	19,7	18,1	19,6	2,9		
	-10	-25	22,3	19,1	19,5	20,3	3,6		
	-11	-27,5	20,2	18,6	17,6	18,8	2,0		
	-12	-30	18,4	18,4	20,6	19,1	2,3		

transversale ale "flăcării" și valoarea echivalentă calculată a concentrației gazului

În tabelul 3.11 sunt prezentate datele calculării concentrației "gazului" în baza rezultatelor măsurării câmpului de temperaturi în funcție de lungimea "flăcării". Determinarea

valorilor concentrației se produce cu o prelucrare statistică a rezultatelor măsurărilor câmpului de temperaturi pentru fiecare secțiune a "flăcării".

Tabelul 3.11

Nr. experiment /	Distanța	Concentrația gazului C_g la diferite distanțe de la gura								
Poziție senzor	h/R,*)	arzătorului: x/D								
conform fig. 2.3.	mm	0,5	1	1,5	2	2,5	3			
1/12	30	6,82	5,28	4,01	3,59	3,7	3,01			
2/11	27,5	8,56	6,84	6,23	5,14	4,31	3,26			
3/10	25	10,02	9,03	6,55	6,36	5,09	4,61			
4/9	22,5	12,83	9,32	8,64	6,48	6,04	5,64			
5/8	20	16,17	10,7	9,48	7,38	6,96	5,59			
6/7	17,5	21,28	12,69	11,26	8,39	7,75	7,14			
7/6	15	25,87	13,59	12,18	9,53	8,88	7,95			
8/5	12,5	29,94	15,71	12,21	9,77	9,74	8,97			
9/4	10	37,35	17,52	13,96	10,49	9,74	8,91			
10/3	7,5	46,4	20,3	15,8	11,41	10,48	8,93			
11/2	5	53,37	23,8	16,35	11,66	10,9	9,56			
12/1	2,5	58,85	25,7	17,81	11,68	11,71	9,83			
13/0	0	60,07	29,22	20,06	13,03	12,1	10,82			
14/-1	-2,5	59,35	26,83	17,09	11,42	11,39	11,14			
15/-2	-5	53,7	23,64	14,92	12,09	10,24	10,02			
16/-3	-7,5	46,14	19,91	14,75	11,19	10,01	8,37			
17/-4	-10	37,14	17,35	12,51	10,39	9,79	8,59			
18/-5	-12,5	30,99	15,3	11,95	11,07	10,08	8,92			
19/-6	-15	26,67	14,22	11,16	9,26	9,02	7,92			
20/-7	-17,5	21,22	12,33	11,25	9	7,3	5,55			
21/-8	-20	16,09	10,56	8,87	7,78	6,73	6,12			
22/-9	-22,5	12,13	9,58	9,16	7,08	5,96	5,37			
23/-10	-25	10,57	8,85	6,59	5,71	4,79	4,95			
24/-11	-27,5	9,3	7,39	6,03	4,88	4,68	3,15			
25/-12	-30	6,69	5,28	4,84	4,93	3,66	3,19			

Concentrația gazului în dependență de diametrul și lungimea "flăcării".

*) Distanța h/R – reflectă distanța relativă de la axa flăcării.

Datele experimentale s-au prelucrat conform metodei expuse în lucrare. În fig. 3.7 și 3.8 sunt prezentate grafic particularitățile repartiției în dinamică a concentrației gazului în "flacără" obținute experimental, care elucidează în formă generalizată particularitățile amestecului de aergaz în spațiul ocupat de către "flacără". Aceste diagrame ne permit efectuarea analizei comparative a gradului de influență a factorilor examinați asupra procesului de formare și a structurii componentelor în flacără pentru fiecare tip de stabilizator.

Pentru a stabili finalizarea fazei de formare a amestecului s-a introdus următorul criteriu. Se consideră că amestecul s-a formată, dacă a fost atinsă limita inferioară a concentrației gazului în amestec de 10%. În caz contrar se consideră că amestecul aer-gaz este în stare (faza) de formare.

Rezultatele obținute experimental sunt prezentate în forme de diagrame în figurile 3.7 și 3.12. Totalmente aceste rezultate experimentale sunt incluse în Anexa 3 (a vedea figurile A.3.1-A3.32). Din diagrame (figurile 3.7-3.8) rezultă că, concentrația maximă de gaz se află la ieșirea din arzător. În procesul de amestec cu aerul această concentrație se micșorează semnificativ cu îndepărtarea de la gura arzătorului. După atingerea distanței x/D=2-2,5 amestecul de aer-gaz devine omogen, stoichiometric în toate secțiunile transversale ale flăcării și ca urmare lungimea flăcării se extinde. Din aceasta reiese concluzia că, concentrația maximă de gaz pentru acest tip de stabilizatoare este practic identică și se află la periferia flăcării după ieșirea din arzător. La o micșorare sub 50 % a vitezei în raport cu valoarea maximală, amestecul devine rapid omogen și stoichiometric pe toate secțiunile transversale ale flăcării, începând cu distanța de la ieșire de x/D = 1,5-2,0.



Fig. 3. 7. Diagrama spațială a câmpului de concentrații ale gazului (stabilizator tip A la P_{min} , D_s =124mm).



Fig. 3.8. Diagrama circulară a câmpului de concentrații a gazului (stabilizator tip A la P_{min} , D_s =124mm).

Analiza comparativă a rezultatelor experimentale demonstrează, că câmpul de concentrație a gazului este aproximativ același pentru toate tipurile de stabilizatoare, cu unele excepții în apropierea gurii de ieșire a arzătorului, ce se explică atât de modul centralizat sau periferic de livrare a gazului, cât și de dependența de formă a stabilizatorului. Celelalte zone ale câmpului de concentrație ale gazului sunt aproape similare și depind de doi factori: gradul de turbulență și viteza amestecului aer-gaz, constatat ca rezultat al calculelor.

In cazul stabilizatorului de tip C se observă, că amestecul devine omogen mai rapid și, ca urmare, arderea se va produce într-o flacără cu o lungime mai scurtă, în comparare cu cazul utilizării stabilizatoarelor de tip A și tip B în arzătoare.

Rezultatele modelării fizice și determinării experimentale ale câmpului repartiției concentrației gazului în flacără permit obținerea coeficienților ecuației (2.13) ce descrie distribuția concentrației gazului în dependență de distanța de la ieșirea din arzător pentru fiecare secțiune transversală la distanța h de la axa flăcării pentru tipurile de stabilizatoare utilizate în cadrul investigației.

În tabelul 3.12 sunt prezentate valorile coeficienților k_1, k_2, k_3 conform ecuației (2.13) ce permite efectuarea calculelor concentrației gazului C_g în dependență de parametrul h în secțiunea flăcării, deci în secțiunea transversală amplasată la distanța x/D de la gura arzătorului pentru stabilizatoarele de tipul A, B și C. Ca mărimi variabile se examinează diametrul echivalent D_s a stabilizatorului, valorile discrete ale puterii arzătorului P_{min} , P_{med} , P_{max} (valorile P_{min} , P_{med} , P_{max} – constituie limita puterii dezvoltate a arzătorului care asigură menținerea capacității de a funcționa stabil (evitare a cazurilor de rupere sau întrare a floăcării în arzător) la "treapta" de funcționare - P_{min} , P_{med} , P_{max}) în punctul secțiunii transversale amplasat la distanța h = r = 2,5 cm de la axa flăcării. Parametrul "*raza secției*" se măsoară în cm, iar diametrul în mm, deoarece aceasta este determinat de relația empirică (2.13).

Valorile coeficienților k_1, k_2, k_3 (coeficienți de proporționalitate) s-au determinat în baza rezultatelor măsurărilor concentrației, după metoda descrisă anterior, valori ce se referă la orice secțiune transversală și pentru orice valoare a parametrului h.

Tip stabilizator	Diametrul	Puterea	Raza	Parametrii			
	Diametrui, D _s , mm	dezvolt	secției,				_
		ată	cm	\mathbf{k}_1	k ₂	\mathbf{k}_3	C_{g}
А	124	P_{min}	2,5	-0,116	3,028	-25,078	73,93
		P _{med}	2,5	-0,0864	2,2934	-19,977	66,873
		P _{max}	2,5	-0,077	2,09	-19,042	70,94
	123	P _{min}	2,5	-0,112	2,919	-24,31	73,679
		P _{med}	2,5	-0,0789	2,095	-18,516	64,814
		P _{max}	2,5	-0,081	2,119	-19,66	66,59
	121	P _{min}	2,5	-0,112	2,897	-24,01	72,67
		P _{med}	2,5	-0,0824	2,188	19,188	65,886
		P _{max}	2,5	-0,075	2,049	-18,844	70,404
В	124	P _{min}	2,5	-0,1217	3,153	-25,815	75,027
		P _{med}	2,5	-0,085	2,289	-20,18	67,673
		P _{max}	2,5	-0,0814	2,17	-19,47	70,97
	123	P _{min}	2,5	-0,122	3,155	-25,82	75,7
		P _{med}	2,5	-0,085	2,289	-20,18	67,63
		P _{max}	2,5	-0,0814	2,178	-19,47	70,974
	121	P_{min}	2,5	-0,1134	2,95	-24,45	73,58
		P _{med}	2,5	-0,0817	2,16	-18,907	65,214
		P _{max}	2,5	0,0763	2,0806	-19,074	71,01
С	124	P _{min}	2,5	-0,0511	1,49	-12,098	44,605
		P _{med}	2,5	-0,0557	1,4466	-12,119	45,33
		P _{max}	2,5	-0,0546	1,395	-11,52	44,83
	123	P _{min}	2,5	-0,0546	1,311	-11,45	44,5
		P _{med}	2,5	-0,0533	1,387	-11,607	44,63
		P _{max}	2,5	-0,0569	1,6	-13,789	47,297
	120	P_{min}	2,5	-0,0495	1,206	-11,172	42,858
		P _{med}	2,5	-0,0554	1,455	-12,05	45,464
		P _{max}	2,5	-0,0618	1,62	-14,074	48,05

Tabelul 3.12 Parametrii ecuației distribuției concentrației gazului

Din rezultatele prezentate în tabelul 3.12 se poate constata, că la categoria factorilor ce influențează semnificativ gradul de omogenitate a amestecului aer-gaz se referă următorii factori:

- gradul de turbulență a amestecului și viteza lui (vezi și tabelul 3.8);
- viteza de diminuare a câmpului concentrației gazului are impact asupra calității formării amestecului, și, ca urmare, determină unghiul de desfacere și lungimea flăcării. Coeficientul k₂ reflectă valoarea unghiului de desfacere a flăcării;
- omogenitatea amestecului depinde semnificativ de dimensiunile stabilizatorului ce contribuie la formarea turbulenței, deoarece cu cât unghiul de desfacere este mai mare, cu atât amestecul devine mai rapid omogen.

3.5. Metodica de cercetare a formării omogenității amestecului aer-gaz în instalații de ardere la sarcini variabile

Omogenitatea amestecului aer-gaz determină calitatea transformării energiei chimice a combustibilului în căldură. Durata reacției chimice de ardere este cu mult mai mică în comparare cu timpul de formare a amestecului, datorită temperaturii înalte în zona de ardere. Procesul de formare a amestecului este, în mare măsură determinat de structura aerodinamică a curentului de gaze și aer. Cercetările realizate de către Ahmedov R.B., Leahovschi D.N. etc. [42, 81, 83], inclusiv, rezultatele cercetărilor din [11,17] indică la faptul, că distanța parcursă de componentele amestecului în procesul de amestecare, grație fenomenului de turbulență condiționat de rotirea curentului de aer, depășește esențial (în ori) distanța parcursă de substanțele din amestec în comparare cu amestecarea în curent direct. Regimul turbulent creează condiții pentru a transporta impulsul de mișcare, substanțele și căldura dintr-un strat în alte straturi mai îndepărtate de axa flăcării, ceea ce ridică calitatea procesului de amestecare a gazelor. Din aceste considerente, în majoritatea arzătoarelor, se utilizează procedee de rotire a curentului de aer, care asigură și rotirea gazelor după ieșirea din jetul de gaze. Însă în acest caz, alegerea tipului de rotitor (turbulator) și parametrilor lui geometrici este foarte dificilă.

În practică, particularitățile influenței diferitor metode de formare a amestecului asupra caracteristicilor flăcării (lungimea, unghiul de desfacere, luminozitatea, zona de temperaturi maxime) se pot determina prin controlul parametrilor ce caracterizează procesele aerodinamice ce derulează în acest spațiu. Se poate constata, că o influență semnificativă asupra calității procesului de formare a amestecului aer-gaz, deci și asupra calității arderii gazului în flacără, îi revine modului de furnizare a gazului: periferic sau/și axial. Asupra acestui proces influențează și caracterul interacțiunii fluxului din jetul de gaze cu curentul de aer: echicurentă, încrucișată, sau contra-curentă. În acest domeniu sunt realizate mai multe cercetări, dar totuși există și aspecte ce necesită investigații cu caracter teoretic și aplicativ. În acest context, se poate
menționa următoarea problemă, ce se referă la turbulența gazelor asigurată de jetul de de rotire a gazelor. Acest fenomen determină interacțiunea dintre moleculele de gaze și oxidant, influențează asupra vitezei de propagare a flăcării, care poate conduce la intensificarea schimbului de masă și căldură. Calitatea procesului de amestec a gazului cu aer se estimează în baza indicatorului ce caracterizează intensitatea transferului de masă, inclusiv, distribuția componentelor inițiale în curentul amestecului aer-gaz. În acest scop se utilizează parametrul χ ("cotă de amestecare incompletă") [47] ce permite estimarea gradului de finalizare a procesului de amestecare a fluxului de gaze și aer în focar [178]. Valoarea acestui parametru se poate calcula utilizând relația (2.14).

Importanța acestui parametru este determinată de faptul, că se utilizează la proiectarea și realizarea constructivă a arzătoarelor [29]. Totuși, este necesar de menționat, că valabilitatea utilizării acestui parametru este limitată și este veridică și argumentată doar numai pentru zonele ce se află la o distanță suficient de mare de deschiderea arzătorului. Aproape toate metodele de calcul examinate, ce se referă la analiza formării amestecului aer-gaz au la baza ipoteza de pătrundere a fluxului din jetul de gaze în curentul de aer și permit o estimare cantitativă a procesului de amestecare a componentelor gazoase admise în arzătoare. Totuși, efectuarea calculului ingineresc necesar la faza de proiectarea sau în cazul selectării tipului arzătorului necesită și luarea în vedere a procesului de formare a amestecului și în focar, deoarece ultimul de asemenea are o influență semnificativă asupra calității procesului de ardere. Astfel, se poate formula problema unei investigații care are ca scop determinarea condițiilor de asigurare a unui grad ridicat a calității procesului de ardere a gazelor pentru condițiile concrete de ardere, ca determinarea rolului și caracterului influenței fiecărui parametru ce caracterizează procesele de formare a amestecului aer-gaz. În formă generalizată subiectul cercetării se poate ca problema intensificării proceselor de ardere a combustibililor gazoși. Calitatea procesului de ardere este determinată de raportul aer/gaz, deci reiese, că cel mai semnificativ parametru pentru orice cercetare îl constitui determinarea concentrației gazelor în amestecul de aer-gaz. Teoretic această concentrație se poate calcula cu formula (2.16), pentru care cea mai semnificativă componentă se prezintă *n*-cota volumică de gaz (metan) în combustibilul gazos (*n*) și coeficientul excesului de aer (a).

În cazul cercetărilor experimentale măsurarea directă a concentrației gazului în amestec este dificilă, din care cauză se utilizează metoda de substituire a gazului cu aer încălzit, ce simplifică efectuarea cercetărilor experimentelor [74, 164, 166]. Această metodă se bazează pe analogia între procesele de transfer de masă și căldură. Concentrația gazului în amestec aer-gaz se determină direct în baza măsurătorilor temperaturilor componentelor și amestecului aer rece-

109

aer cald în diverse puncte ale "flăcării". În mod indirect concentrația se determină cu utilizarea relației (2.8), ținând cont de temperatura amestecului în punctul "*i*" al "flăcării" și temperaturilor inițiale ale aerului cald și celui rece (t_g , t_a).

În lucrare se propune următoarea metodă de determinare a calității procesului de amestecare a gazului în aer. Utilizând standul de cercetare prezentat în figura 3.2, se simulează procesul de ardere prin introducerea a doi curenți de aer cald și rece strict controlate volumetric în raportul *Ca:Cg* = 9.52:1 cu ajutorul obturatoarelor tip DRA și DRG și convertoarelor de frecvență, care controlează ventilatoarele ambelor curente. Primul curent de aer prezintă propriuzis oxidantul cu temperatura T_a = 10-:-25°C, iar al doilea curent de aer încălzit prezintă "gazul" cu temperatura T_g = 60-:-120°C. Măsurând temperatura amestecului în diferite puncte ale "flăcării" se calculează concentrația "gazului" în fiecare punct cu relația (2.18) ca referințe fiind numărul de puncte (*N*); numărul de repetări a măsurării în fiecare punct (*k*). Pentru fiecare punct *i* se va calcula abaterea concentrației de la valoarea medie obținută în acest punct în rezultatul executării a *k* probe de măsurare (2.19). Având setul de valori a mărimii { ΔC_i }, se determină stabilitatea procesului de ardere atât în interiorul flăcării, cât și la granițele ei pentru diverse cazuri, ce includ testarea diferitor tipuri de arzătoare, forme de stabilizatoare, varierea puterii termice a arzătoarelor.

În baza datelor obținute cu utilizarea relațiilor (2.16 -:-2.18) și având în vedere recomandările din [109,135] se determină "gradul de stabilizare a concentrației", utilizând expresiile (2.19) și (2.20).

Temperatura medie se calculează cu relația (2.21), ținând cont de consumul masic de aer cald - aer rece (G_g , G_a) și capacitatea termică specifică masică la presiune constantă, respectiv a aerului cald, aerului rece și amestecului la temperaturile respective ale lor (c_g , c_a , c_{am}).

Este evident, că procedeul prezentat în alte surse [19,141,145] este mai complicat, iar precizia lui depinde de precizia măsurărilor mărimilor G_g , G_a .

In scopul majorării preciziei metodei prezentate se folosește măsurarea concomitentă a temperaturilor în fiecare punct al spațiului flăcării: $\{t_g, t_a, t_i\}$. Calculând C_g^i pentru diverse tipuri de arzătoare cu diferite forme de stabilizatoare, se poate determina câmpul de concentrație a gazului în interiorul unghiului de deschidere, forma flăcării pentru arzătoare cu diverse puteri.

3.6. Cercetarea tehnicilor de stabilizare a proceselor de ardere în instalații la sarcină variabilă.

3.6.1. Metodica de cercetare a stabilității omogenității amestecului aer-gaz pentru asigurarea procesului de ardere calitativă a gazelor naturale combustibile în instalații cu putere variabilă

Tendința de extindere a diapazonului de variere a puterii arzătoarelor impune necesitatea varierii livrării de aer într-un diapazon larg, și ca urmare, apare riscul depășirii valorilor admisibile pentru asigurarea stabilității a multor parametri, care determină formarea amestecului (lungimea flăcării, caracteristicile hidraulice e.t.c.). Concomitent, se agravează problema asigurării stabilității procesului de ardere. În practică, deseori se întâmplă destabilizarea procesului de ardere a gazelor în legătură cu ruperea flăcării de la gura arzătorului sau pătrunderea ei în canalul arzătorului. Studiul stabilității proceselor de ardere a gazelor cu arzătoare cu putere variabilă este prezentat în [9, 10, 14, 18, 20, 21, 22, 30]. Diapazonul de ardere stabilă se află în intervalul dintre limitele de rupere a flăcării și pătrunderii ei în arzător. Cu cât este mai mică viteza amestecului la care flacăra pătrunde în interior și mai mare aceea de rupere, cu atât mai larg devine diapazonul de reglare a puterii arzătorului la sarcina cu caracter variabil. Fenomenul ruperii flăcării este caracteristic tuturor tipurilor de arzătoare și pericolul lui se manifestă prin întreruperea arderii gazelor pe un timp oarecare, cu crearea condițiilor de recere la faza de explozie a amestecului acumulat în acest timp. Fenomenul pătrunderii flăcării în arzător se observă de regulă, la arzătoare cu amestec preliminar, dar se întâmplă mai rar, și la arzătoare difuzionale. În acest caz arderea se produce în ambrazura arzătorului, ceea ce duce la defectarea lui. Pentru cercetarea diapazonului de funcționare stabilă a arzătorului ește necesar ca condițiile de ardere în timpul cercetărilor, să decurgă cât se poate mai aproape de realitate, de exemplu utilizând arderea reală a gazulu. Cercetările arzătoarelor de putere variabilă, în lucrare, se realizează în cazane de încălzire cu apă. Experimentele au fost efectuate pe standul prezentat în figura 3.1, care permite colectarea datelor în mod automatizat și repetarea experimentelor în condiții similare. Un alt aspect important este realizarea experimentelor în două cazuri diferite: cu flacără deschisă (în afara focarului); în focar, în prezența contrapresiunii din focar. Pentru a stabiliza flacăra, la ieșire din arzător, se creează condiții sigure de aprindere a amestecului aergaz. Aceste condiții se asigură prin utilizarea corectă a metodelor de cercetarea a proceselor aerodinamice și cu utilizarea stabilizatoarelor.

Tabelul 3.13.

D	S	N,	b	a	c	S"	Ds			
[<i>mm</i>] -	$[mm^{2}],$	număr de	[<i>mm</i>],	[grade],	[<i>mm</i>],	$[mm^{2}],$	[<i>mm</i>],			
diametrul	arie	intervaluri	lungime	unghi de	spațiu	arie	diametru			
arzător	ieșire	(segmente)	sector	înclinație	între	stabilizator	stabilizator			
	arzător				sectoare					
Mostră de arzător de putere $Pw = 250 \text{ kW}$										
125	12272	12	32.7	5	0.1	12225	125			
125	12272	12	32.7	10	0.5	12085	124			
125	12272	12	32.7	15	1.1	11854	123			
125	12272	12	32.7	20	2.0	11532	121			
125	12272	12	32.7	25	3.1	11122	119			
125	12272	12	32.7	30	4.4	10628	116			
125	12272	12	32.7	35	5.9	10053	113			
125	12272	12	32.7	40	7.7	9401	109			
		Mostră	de arzător de	e putere Pw	= 750 kW					
145	16513	12	38.0	5	0.1	16450	125			
145	16513	12	38.0	10	0.6	16262	124			
145	16513	12	38.0	15	1.3	15950	123			
145	16513	12	38.0	20	2.3	15517	121			
145	16513	12	38.0	25	3.6	14966	119			
145	16513	12	38.0	30	5.1	14301	116			
145	16513	12	38.0	35	6.9	13527	113			
145	16513	12	38.0	40	8.9	12650	109			

Dimensiunile stabilizatorului tip A pentru cercetarea stabilității arderii.

S-au cercetat stabilizatoare de diferite tipuri și dimensiuni, și s-a apreciat influența calitativă și cantitativă asupra stabilității flăcării pe tot diapazonul de variație a puterii arzătoarelor. În urma analizei surselor [4,5,17-:-21,23,37-:-39,44,45,47,48,57,91, 132,151,154,171,174,175] s-a constatat, că există o gamă largă de dispozitive atât 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:

- stabilizator cu distribuție axială a gazului format dintr-un disc cu palete sectoriale, răsucite sub un unghi α față de curentul de aer (în continuare numit stabilizator de tip A (figura 3.4);
- stabilizator format dintr-un număr de palete în formă de "V" cu distribuție axială a gazului [32, 121], proiectată la Institutul Politehnic din Kiev, numit stabilizator de tip

B, (figura 3.5). Este bine cunoscut faptul, că aceste stabilizatoare pe lângă avantajele lor, au și dezavantaje:

- 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;
- stabilizatorul de tip B are un grad bun de omogenitate, însă diapazonul de variație a puterii este mai redus decât la tipul A.

Din aceste considerente a fost propus un stabilizator de formă conică cu distribuția gazului pe partea periferică (laterală), numit stabilizator de tip C, (figura 3.6).

Tabelul 3.14.

D [<i>mm</i>] - diametru arzător	S [mm ²] - arie iesire arzător	N - număr segmente	b [mm] - lungime sector	c [mm] - spațiu între sectoare	S' [mm ²] - arie spațiu de trecere	D _s [<i>mm</i>] - diametru stabilizator				
Mostră de arzător de putere $Pw = 250 \text{ kW}$										
125	12272	10	35	4.3	1334	118				
125	12272	12	32	0.7	272	124				
125	12272	12	31	1.7	647	122				
125	12272	12	30	2.7	1022	120				
125	12272	12	29	3.7	1397	118				
125	12272	14	28	0.0	22	125				
125	12272	14	27	1.0	459	123				
125	12272	14	26	2.0	897	120				
125	12272	14	25	3.0	1334	118				
	M	ostră de arză	itor de puter	e Pw = 750	kW					
145	16513	12	37	1.0	418	143				
145	16513	16	28	0.5	273	144				
145	16513	16	28	1.0	563	143				
145	16513	16	27	2.0	1143	140				
145	16513	16	26	2.5	1433	139				
145	16513	20	23	0.3	200	144				
145	16513	20	22	0.8	563	143				
145	16513	20	22	1.3	925	141				
145	16513	20	21	2.0	1433	139				

Dimensiunile stabilizatorului tip B pentru cercetarea stabilității arderii.

A fost cercetată stabilitatea procesului de ardere pe trei tipuri de stabilizatoare, A, B, şi C cu diverse dimensiuni.

Ţinând cont, că din punct de vedere a securității se recomandă ca experimentarea stabilității să fie efectuată pe arzătoare de putere mică și medie [26, 89 155, 157], dar reeșind și de la gradul înalt de automatizare și securitate a standului de cercetare, au fost alese modelele mostrelor arzătoarlor de putere mică – $P_w = 250$ kW și de putere medie $P_w = 750$ kW. Selectiv, în text se expun datele cu privire la rezultatele experimentale, inclusiv în anexe.

Pentru tipurile A și B a stabilizatoarelor au fost alese dimensiunile prezentate în tabelele 3.13, 3.14, iar pentru stabilizatorul tip C diametrele $D_s = 124$, 122, 120 și 118 mm pentru arzătorul cu puterea Pw = 250 kW și respectiv $D_s = 144$, 142, 140, 138 mm pentru arzătorul cu puterea Pw = 750 kW.

Cercetarea experimentală a stabilității funcționării arzătoarelor s-a efectuat pe standul modificat (cu proces de simulare), (fig. 3.2). Senzorii de presiune diferențială cu banda de măsurare 0-:-1000 *Pa* au fost etalonați pentru mostră de arzător cu capacitatea constructivă de 250 kW, putere maximă experimentală de *Pw (max)* = 300 kW. La putere maximă, presiunea difernțială a gazului s-a calibrat la ΔP_g = 1000 Pa și corespunde consumului de gaz V_g = 300 kW/ (9,304*3600) = 0,00896 m³/s, iar presiunea difernțială a aerului - a fost etalonată la ΔP_a = 1000 *Pa* și corespunde consumului de aer V_a = V_g * 9,52 = 0,0855 m³/s. Consumurile curente de aer și gaz se calculează cu formulele:

$$V_a = \Delta P_a \cdot 0,0855/1000 \ [m^3/s], \quad V_g = \Delta P_g \cdot 0,00896/1000 \ [m^3/s]$$
 (3.2)

În mod similar, pentru mostră de arzător cu capacitatea constructivă de 750 kW cu puterea maximă experimentală Pw (max) = 950 kW, presiunea diferențială a gazului a fost etalonată la $\Delta P_g = 1000 \ Pa$ și corespunde consumului de gaze $V_g = 950 \ kW/(9,304*3600) =$ $0,0284 \ m^3/s$, iar presiunea diferențială a aerului a fost etalonată la $dP_a = 1000 \ Pa$ și corespunde consumului de aer, V_g * 9.52 = 0,2706 m^3/s . Consumul curent de aer și gaz se calculează cu formulele:

$$V_a = \Delta P_a \cdot 0,2706/1000 \ [m^3/s], \quad V_g = \Delta P_g \cdot 0,0284/1000 \ [m^3/s], \tag{3.3}$$

care s-au utilizat în procesul de realizare a cercetărilor experimentale, inclusiv, la cercetarea stabilității funcționării arzătoarelor.

3.6.2. Metodica de colectare și prelucrare statistică a datelor experimentale a proceselor de amestec aer-gaze pentru arderea gazelor naturale în instalații la sarcini variabile.

Colectarea datelor experimentale privind stabilitatea flăcării cu utilizarea standului (fig. 3.2) [35, 38, 40,98], s-a efectuat conform următoarei scheme pentru toate arzătoarele (ca capacitate constructivă) și tipurile de stabilizatoare:

- 1. Se stabilește calitatea amestecului prin menținerea la nivel constant pe parcursul experimentului a valorii coeficientului de exces de aer α .
- 2. Se pornește arzătorul la o putere minimă prestabilită, P^{min}_{w} , și se majorează treptat până la puterea $P_w \cong 0.9 P^{max}_{w}$.
- Se majorează lent puterea arzătorului, monitorizând în continuu volumurile instantanee de gaz şi aer şi starea de echilibru a flăcării.
- 4. În momentul dezechilibrului flăcării (ruperii/pătrunderii) se înregistrează automat și manual consumul instantaneu de gaz și aer V_g și V_a .
- 5. Se micșorează puterea arzătorului valoarea $P_w \cong 0.9 P^{max}_{w}$ și se repetă punctele 3 și 4 de, cel puțin 3 ori.

Tabelul 3.15.

Rezultatele experimentale privind stabilitatea arderii (mostră de arzător cu capacitatea constructivă de 750 kW, stabilizator tip *C*, *D*_s=144mm, "pătrunderea flacără")

Coef		Datele	Datele măsurate consum aer					Datele măsurate consum gaz				
exce	Exp. 1		Exp. 2		Exp. 3		Exp. 1		Exp. 2		Exp. 3	
aer, "α"	dP _a Pa	V_a m^3/s	dP _a Pa	V_a m^3/s	dP _a Pa	V_a m^3/s	dP _g Pa	V_g m^3/s	dP _g Pa	V_g m^3/s	dP _g Pa	V_g m^3/s
0.8	118	0.0318	117	0.0316	116	0.0315	127	0,0037	137	0,0037	173	0,0036
0.9	153	0.0415	154	0.0418	143	0.0388	165	0,0043	165	0,0044	169	0,0040
1	148	0.0401	138	0.0374	147	0.0397	134	0,0038	127	0,0035	134	0,0038
1.1	139	0.0375	125	0.0338	126	0.0342	134	0,0033	137	0,0029	134	0,0030
1.2	105	0.0284	96	0.0260	109	0.0294	67	0,0023	95	0,0021	95	0,0024

Trebuie de menționat, că această schemă este valabilă pentru toate cazurile propuse spre cercetare cu următoarele excepții:

(a) în cazul cercetării pătrunderii flăcării în interior, puterea arzătorului se micșorează treptat de la P^{min}_{w} , până la apariția fenomenului dat și

(b) în cazul cercetărilor în focar, s-au monitorizat mai mulți parametri cu excepția debitului instantaneu de gaz și aer $-V_g^r$ și V_a^r : contrapresiunea în focar $-P_c$, temperatura produselor de ardere în coșul de fum- T_g .

Notă: Celelalte rezultate experimentele de stabilitate a arderii sunt prezentate în formă de grafice în Anexa 4.

Tabelul 3.16.

Rezultatele experimentale privind stabilitatea arderii (mostră de arzător cu capacitate	ea
constructivă de 750 kW, stabilizator tip C, D_s =144mm, "ruperea flacără").	

Coef.		Datele măsurate de consum aer						Datele măsurate de consum gaz				
exces de	Exp. 1		Exp. 2		Exp. 3		Exp. 1		Exp. 2		Exp. 3	
aer "α"	dP _a Pa	V_a m^3/s	dPa Pa	V_a m^3/s	dPa Pa	V_a m^3/s	dP _g Pa	$V_{g}, m^3/s$	dP _g Pa	$V_{g}, m^{3}/s$	dP _g Pa	$V_g m^3/s$
0.8	687	0.186	658	0.178	743	0.201	880	0,022	845	0,021	915	0,023
0.9	839	0.227	942	0.255	957	0.259	915	0,024	951	0,027	915	0,027
1	831	0.225	865	0.234	902	0.244	845	0,021	880	0,022	880	0,023
1.1	750	0.203	824	0.223	750	0.203	704	0,018	775	0,019	704	0,018
1.2	647	0.175	610	0.165	591	0.160	563	0,014	528	0,013	493	0,013

Prelucrarea statistică a datelor colectate, s-a efectuat conform algoritmului din [38, 42, 116]:

1. Pentru volumele instantanee de gaz și aer - V_g și V_a măsurate și coeficientul excesului de aer α stabilit, se determină viteza amestecului aer-gaz în momentul ruperii flăcării cu

formulă (2.23), ca bază fiind - debitul amestecului instantaneu (V_{am}^{r}) și aria secțiunii echivalente a gurii arzătorului (*S*).

- 2. Se prelucrează statistic valorile colectate în conformitate cu metoda prescrisă în [64, 66]:
 - a) se determină valoarea medie a vitezei amestecului la ruperea flăcării cu formulă (2.23);
 - b) se calculează dispersia vitezei amestecului la ruperea flăcării cu formulă (2.24);
 - c) se calculează abaterea standard a vitezei amestecului de la viteza medie la ruperea flăcării cu formulă (2.25);
 - d) se calculează abaterea maximă cu formulă (2.26);
 - e) se verifică abaterea maximă a vitezei cu ajutorul t-distribuției Student [67, 69] conform formulei (2.27);
 - f) Se determină valorile t(5%,k-2) și t(0.1%,k-2) din t-distribuția Student [64, 66];
 - g) Se calculează t(p,,k), pentru valorile t(5%,k-2), t(0.1%, k-2) cu formulele
 (2.28);
 - h) se compară rezultatele obținute din (2.28) și (2.29) și valorile pentru care $\tau_{(5\%,k)} >> \tau_{(0.1\%,k)}$ se exclud;
 - i) se recalculează din nou $\widetilde{W}_r, \overline{S}$ pentru valorile selectate.

3. Pentru generalizarea rezultatelor obținute pe cale experimentală s-a utilizat ecuația criteriului Peklet [144, 167]:

$$Pe = Pe_n^{\frac{1}{n}} \alpha^m, \qquad (3.4)$$

în care:

Pe = wd/a - criteriul Peklet, determinat la viteza amestecului la ruperea flăcării;

 $Pe_n = u_n d / a$ - criteriul Pekle, determinat la viteza de răspândire a flăcării;

unde:

 w_r - viteza medie a amestecului la ruperea flăcării [m/s];

d - diametrul gurii arzătorului [*m*];

a – coeficientul de difuzie a temperaturii în amestec [m/s];

 u_n - viteza normală de răspândire a flăcării [m/s];

 α – coeficientul excesului de aer în amestec.

4. Conform rezultatelor experimentale, calculelor efectuate se construiesc curbele în baza ecuațiilor criteriului Peklet în scară logaritmică (vezi A4.2, A4.7, A4.12, A4.17, A4.22, A4.23):

$$\lg(Pe) = F(\lg(Pe_n)) \tag{3.5}$$

5. Reieșind din poziția de înclinare a acestor drepte se calculează valoarea numerică a **exponentului puterii** – *n*:

$$w \cdot d / a = c(u_n \cdot d / a)^{\frac{1}{n}} \text{ sau } Pe = c \cdot Pe_n^{\frac{1}{n}},$$
(3.6)

de unde:

$$n = \frac{\Delta \lg(Pe)}{\Delta \lg(Pe_n)},\tag{3.7}$$

Se calculează coeficientul de proporționalitate *c* pentru fiecare dreaptă (ecuație) în baza datelor experimentale cu formula:

$$c = \frac{wd/a}{(u_n \cdot d/a)^{\frac{1}{n}}} = \frac{P_e}{P_{e_n}^{1/n}},$$
(3.8)

6. Se mediază valoarea coeficientului de proporționalitate c, obținut pentru toate ecuațiile criteriului Peklet, apoi în coordonate logaritmice se construiește dependența de tipul:

$$c = F(\alpha^m), \tag{3.9}$$

 Unghiul de înclinație a acestei drepte determină exponentul *m*, care reflectă dependența fenomenului ruperii/pătrunderii flăcării de α - excesul de aer:

$$m = \frac{\Delta \lg(c)}{\Delta \lg(F(a^m))},\tag{3.10}$$

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

$$\frac{w_r \cdot d}{a} = c_r \cdot \alpha^m \cdot \left(\frac{u_n \cdot d}{a}\right)^{\frac{1}{n_r}},\tag{3.11}$$

$$\frac{w_p \cdot d}{a} = c_p \cdot \alpha^m \cdot \left(\frac{u_n \cdot d}{a}\right)^{\frac{1}{n_p}},\tag{3.12}$$

8. Din (3.2. și 3.3) se determină vitezele amestecului aer-gaz de rupere/pătrundere a flăcării:

$$w_r = c_r \cdot \alpha^m \cdot u_n^{\left(\frac{1}{n_r}\right)} \left(\frac{d}{a}\right)^{\left(\frac{1}{n_r}-1\right)}, \qquad (3.13)$$

$$w_{p} = c_{p} \cdot \alpha^{m} \cdot u_{n}^{\left(\frac{1}{n_{p}}\right)} \left(\frac{d}{a}\right)^{\left(\frac{1}{n_{p}}-1\right)},$$
(3.14)

Aceste expresii analitice sunt utilizate pentru verificarea rezultatelor experimentale, proiectarea noilor arzătoare și la exploatarea lor.

3.6.3. Determinarea limitelor de stabilitate a flăcării în procesul de amestec pentru arderea gazelor naturale combustibile în instalații cu putere variabilă

Pentru cercetrea acestei probleme s-au utilizat arzătoare cu puterea Pw = 250/750 kW şi stabilizatoare de tip A,B,C cu dimensiunile echivalente a diametrului $D_s = 138$ -:-144 mm, cu exces de aer a = 0,8-:-1.2. Unele diagrame ale dependenței vitezei amestecului la rupere/pătrunderea flăcării în funcție de valoarea coeficientului de exces de aer a, sunt prezentate în figurile obținute experimental și recalculate după modelul (relațiilor 3.4, 3.5) sunt prezentate în figurile 3.13-:-3.15, iar setul complet de informații este prezentat în Anexa 4.



Fig. 3.13 . Graficul dependenței vitezelor de rupere (a) și pătrundere (b) experimentale, de excesul de aer (P_w =250 kW, stabilizator tip A, D_s = 124 mm).

Prelucrarea rezultatelor obținute referitor la vitezele de rupere/pătrundere a flăcării demonstrează următoarele:

 Curbele dependenței 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 şi nu depinde de dimensiunea lui (figurile 3.13 – 3.15 şi A 4.1 -:- A 4.27). 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 şi masa de amestec consumată (deja arsă).



Fig. 3.14 . Graficul vitezelor de rupere (a) și pătrundere (b) calculate, în dependență de excesul de aer pentru cazul: P_w =750 kW, stabilizator tip C, D_s = 138, 140, 142, 144 mm



Fig. 3.15. Graficul vitezelor experimentale și calculate în dependență de excesul de aer (P_w =750 kW, stabilizator tip C, D_s = 142 mm): (a) de rupere și (b) de pătrundere

2. Viteza de rupere/pătrundere a flăcării depinde esențial de diametrul stabilizatorului și se observă că, cu cât diametrul este mai mic, cu atât fenomenul de rupere are loc la o valoarea a vitezei mai mică, iar fenomenul de pătrundere - la o valoarea a vitezei de scurgere mai mare.

Tin	Dw		Rupere		Pătrundere			
Tip	1 vv	n	с	m	n	c	m	
Δ	250	0,71	3,18	-0,10	0,74	1,45	-1,08	
A	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	
Б	750	0,70	8,47	-0,85	0,85	3,44	-0,58	
С	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	

Tabelul 3.17 Parametrii ecuațiilor de stabilitate a flăcării.

La viteze mari de scurgerea a amestecului, micșorarea diametrului duce la diminuarea turbulenței, amestecul devine neomogen în volumul flăcării și ca urmare, procesul devine instabil (figurile 3.13 - 3.15 și A 4.1 - :- A 4.27).

Verificând rezultatele experimentale cu ajutorul criteriului Peklet se constată, că procesul de ardere este stabil pentru toate tipurile de stabilizatoare, , (Anexa 19).

Dependența liniară a logaritmului, $l_e(P_{e})$ și $l_e(P_{en})$ confirmă, că procesul de ardere se află în stare de echilibru. S-au calculat valorile coeficienților *n*, *c*, și *m* din ecuațiile de stabilitate (3.2, 3.3), care sunt prezentate în tabelul 3.17.

Prin interpolarea liniară a acestor parametri se obțin valorile de calcul ale lor pentru puterile intermediare ale arzătoarelor:

$$k_{x} = k_{0} + \frac{\Delta k}{\Delta P_{w}} \cdot \left(P_{w}^{x} - P_{w}^{0} \right), \qquad (3.15)$$

în care $\Delta P_w = 750 - 250$ kW; $P_w^o = 250$ kW; P_w^x – puterea curentă a arzătorului, kW; k₀, P_x – valoarea coeficientului respectiv (*n*,*c*,*m*) la puterea 250 kW și P_w^x , respectiv.

Valorile parametrilor *c*, *n* și *m* pot fi utilizate atât în proiectarea arzătoarelor noi, cât și în faza de exploatare a lor. Aceste rezultate sunt implementate în soft pentru determinarea în mod operativ, a limitelor stabilității flăcării [2,10,31,32], (Anexa 19). În acest mod s-au calculat valorile vitezelor maxime de rupere, minime de pătrundere și diapazonul de viteze, care sunt prezentate în tabelul 3.18, din care rezultă, că performanțele stabilizatorului tip C sunt mai bune.

Tip	Pw, kW	Diametru stabilizator	Viteza maximă de rupere	Viteza minimă de pătrundere	Diapazonul de viteze
		Ds	Wr, m/s	Wp, m/s	dW, m/s
	250	124	5,50	2,00	3,50
٨	250	122	4,75	1,78	2,97
А	750	144	14,24	2,35	11,89
		142	13,45	2,77	10,68
	250	124	5,52	2,00	3,52
В	230	122	5,06	1,75	3,31
D	750	144	14,48	2,75	11,73
	750	143	13,40	2,33	11,07
	250	124	6,45	1,85	4,60
C	250	122	5,56	1,71	3,85
C	750	144	15,48	2,63	12,85
	750	143	14,07	2,29	11,78

Tabelul 3.18. Vitezele limită stabile ale flăcării cu diverse stabilizatoare



(a) (b) Fig. 3.16. Graficul puterii dezvoltate (a) și consumului de gaz (b) la pătrundere în dependență de excesul de aer (P_w =750 kW, stabilizator tip B, D_s = 139, 140, 143, 144 mm).



Fig. 3.17. Graficul zonei favorabile de ardere (a diapazonului de putere a arzătorului dezvoltată la ardere stabilă), P_w =750 kW, stabilizator tip B, D_s = 143 mm.



(a) (b) Fig. 3.18. Graficul puterii dezvoltate (a) și consumului de gaz (b) la rupere în dependență de excesul de aer (P_w =750 kW, stabilizator tip C, D_s = 138, 140, 142, 144 mm).



(a) (b) Fig. 3.19. Graficul puterii dezvoltate (a) și consumului de gaz (b) la pătrundere în dependență de excesul de aer (P_w =750 kW, stabilizator tip C, D_s = 138, 140, 142, 144 mm).



Fig. 3.20. 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.

În baza datelor colectate experimental a stabilității arderii cu diferite stabilizatoare, s-a determinat puterea dezvoltată și consumul de gaz în momentul ruperii/pătrunderii flăcării (figurile 3.16-:-3.20 și A 5.1-:-A 5.17). Aceste rezultate sunt recomandate și utilizate atât în proiectarea arzătoarelor noi [2, 9, 10], cât și în exploatarea lor, (Anexa 19). Rezultatele obținute sunt implementate în soft-uri pentru a determina electronic, în mod operativ, limitele stabilității flăcării [2, 10, 12, 18, 31, 32].

Tabelul 3.19.

Tip	Puterea nominală,	Diametru stabilizator	Puterea maxima la rupere	Puterea la pătrundere	Diapazonul de putere
	Pw, kW	Ds, mm	Pw, kW	Pw, kW	ΔPw , kW
	250	124	215	74	141
٨	230	122	180	64	116
A	750	144	800	138	662
		142	700	114	586
	250	124	220	72	148
р		122	195	64	131
Б	750	144	795	132	663
	730	143	700	118	582
	250	124	250	74	176
C	230	122	220	64	156
C	750	144	840	132	708
		143	755	115	640

I	.im	itele	e puteri	i stabile	ale	arzătoarelor	cu diverse	e stabilizatoare

3.6.4. Elaborarea metodicii și a programului de calcul a parametrilor arzătoarelor modulare cu putere variabilă pentru arderea gazelor naturale combustibile

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 NO_x . O importanță deosebită în cazul arzătoarelor cu varierea dinamică a puterii termice, controlată electronic, îi revine optimizării proceselor de ardere.

A. Soft-ul de calcul al parametrilor arzătoarelor

Optimizarea proceselor de ardere are ca rezultat benefic formarea unui amestecului aergaz adecvat pentru o ardere completă în toate regimurile de funcționare a arzătoarelor. Practic, toate metodele de calcul a formării amestecului aer-gaz sunt bazate pe ideea pătrunderii fluxului din jeturilor de gaze în fluxul de aer, care permit aprecierea cantitativă a procesului de amestecare în arzătoare. Este clară importanța respectării calității amestecului pentru a atinge o eficiență înaltă a arderii gazelor. Cunoașterea aprofundată a principiilor de bază a teoriei arderii gazelor creează premise pentru organizarea arderii eficiente a gazelor. Un rol important îl joacă tehnologiile și tehnicile de ardere a gazelor. Problemele de bază privind cercetar a proceselor de amestec aer-gaz pentru ardere sunt: formarea unei concepții reale (fizice) în condiții concrete tehnice; determinarea rolului și caracterului influenței fiecărui parametru, căutarea procedeelor de intensificare a acestor procese. Efectuarea calcului ingineresc deplin la proiectarea sau alegerea arzătoarelor (Anexa 3,6,10) este posibilă numai dacă se ia în calcul și formarea amestecului în focar, ce are o influență semnificativă asupra acestor procese.

Toate acestea condiționează necesitatea efectuării unui șir de lucrări, care constau în elaborarea metodelor de intensificare a procesului în cazul unui flux variabil, asigurarea varierii puterii arzătorului la sarcina dinamică. 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 (Anexa 6, 10). Programul de calcul al parametrilor arzătoarelor include toate aspectele: geometrice, aerodinamice, de consum și altele. Soft-ul este divizat în câteva compartimente: introducerea datelor inițiale și obținerea rezultatelor de bază; calculul aerodinamic al arzătoarelor; calculul parametrilor hidraulici ai arzătorului (conductei de gaz și aer).

Primul compartiment cuprinde parametri de bază. Primii 6 (şase) parametri constituie datele inițiale, iar ceilalți sunt consumurile de gaz, aer, amestec (tabelul 3.20). Al doilea - aerodinamica arzătorului. În calitate de date inițiale servesc diametrele de intrare și ieșire din arzător, care servesc pentru determinarea suprafeței secțiunilor la intrare și ieșire, presiunii dinamice, pierderilor de presiune, inclusiv presiunea necesară a ventilatorului arzătorului (tabelul 3.21). Al treilea - valorile dimensiunilor geometrice ale componentelor arzătorului cu putere variabilă (Tb.3.23).

Tabelul 3.20.

Nº	Denumire	Abrevieri	Unit. masură
1	Puterea termică maximă	P _{max}	MW
2	Puterea termică curentă	Pa	MW
3	Diametrul de ieșire al duzei	D	mm
4	Diametrul duzei de aprindere	d	mm
5	Temparatura de calcul	Т	^{o}C
6	Capacitatea termică minimă	Q _n	MJ/m^3
7	Consum gaz (normal)	V_{g}	Nm ³ /s
8	Consum gaz (condiții reale)	Vg	m^3/s
9	Consum gaz (orar)	V_{gh}	m^3/h
10	Calitatea amestecului (coeficientul excesului de aer)	а	-
11	Consum aer (condiții reale)	Va	Nm ³ /s
12	Consum amestec (condiții reale)	V _{am}	m^3/s
13	Consum aer (orar)	V _{ah}	m^3/h
14	Densitatea aerului	ρ _a	kg/m^3
15	Densitatea gazului	$ ho_g$	kg/m^3

Date inițiale pentru calculul parametrilor arzătoarelor

Tabelul 3.21

Parametrii	aerodinamici	ai	arzătoru	lui

N⁰	Denumire	Abrevieri	Unit. masură
	1. Caz cu extindere bruscă a intrării in arzăte		
1	Diamentrul la intrare în arzător	D _{in}	mm
2	Diamentrul la ieșire din arzător	D _{ies}	mm
3	Suprafața secțiunii de intrare	\mathbf{S}_{in}	mm^2
4	Suprafața secțiunii de extindere	S _{ies}	mm^2
5	Coeficientul de rezistență locală	Z	-
6	Viteza amestecului după extindere	W	m/s
7	Presiunnea dinamică	Р	Pa
8	Pierderi de presiune	⊿P	Pa/m
9	Coeficientul pierderilor presiunii în focar	Z	-
10	Pierderi de presiune în focar	⊿P	Ра
11	Presiunea necesară a ventilatorului	Р	Ра

Următorul compartiment determină toată lista de parametri ai conductei de gaz a arzătorului. În calitate de date inițiale suplimentare servesc diametrul conductei de gaz,

coeficientul de rezistență a robinetului, lungimea conductei, ș.a. Se calculează toți parametrii referitori la conducta de gaz, inclusiv pierderile totale de presiune (tabelul 3.22).

Tabelul 3.22

Nº	Denumire	Abrevieri	Unit. masură
1	Diametrul conductei de gaz	dg	mm
2	Suprafața secțiunii conductei	S	mm ²
3	Viteza de mișcare a gazului	W	m/s
4	Presiunea	Р	Pa
5	Densitatea (calculată)	$P_{ m g}$	kg/m ³
	3.1. Robinet sferic		
1	Coeficientul de rezistență	Z	-
2	Pierderi de presiune	⊿P	Ра
	3.2. Supape obturatoare		
1	Coeficientul de rezistență	Z	-
2	Pierderi de presiune	Р	Pa
3	Pierderi totale pe supape	⊿P	Ра
	3.3. Pierderi liniare		
1	Lungimea conductei	L	mm
2	Rugozitatea echivalentă	Кe	mm
3	Viscozitatea cinetică	u	m/s
4	Criteriul Reinolds	R _e	-
5	Coeficientul de rezistență	1	-
6	Pierderi de presiune	⊿P	Ра
	3.4. Coturi pe conductă		
1	Raza relativă a cotului	R/d	-
2	Coeficientul de rezistență locală	Z	-
3	Pierderi de presiune	⊿P	Ра
4	Număr de coturi	n	-
5	Pierderi totale de presiune	⊿P	Ра
	3.5. Pierderi pe clapeta obturator		
1	Rezistența clapetei deschise	Z	-
2	Pierderi de presiune	⊿P	Ра
3	3.6. Pierderi totale		
4	Suma pierderilor de presiune	⊿P	Ра

Parametrii referitori la conducta de gaz

Dir	nens	iunile	geometrice	ale	com	ponentelor	arzătorulu	i
$\nu_{\rm II}$	nons	iuiiii	geometrice		com	ponenteior	arzatoruiu	

Nº	Denumire	Abrevieri	Unit. masură
1	Presiunea gazului la intrare	Р	Pa
2	Consum de gaz în arzător	V_{g}	m^3/s
3	Consum de aer în arzător	Va	m^3/s
4	Consum de amestec aer-gaz	V _{am}	m^3/s
5	Presiunea în focar	P (f)	Pa
6	Presiunea reală pînă la arzător	P (r)	Pa
	4.1. Jeturile arzătorului		
1	Coeficientul de consum tehnologic	К	-
2	Consum de gaz în arzător	Vg	m^3/s
3	Coeficientul de pătrundere a jetului	к _р	-
4	Coeficientul de comprimare a jetului	Кc	-
5	Fanta (distanța) arzătorului	В	mm
6	Viteza de scurgere a gazului	W	m/s
7	Viteza amestecului	W	m/s
8	Coeficientul de influență a jetului	Кстр	-
9	Adâncimea relativă de pătrundere a jetului	h/d	-
10	Diametrul orificiului (calculat)	d _p	mm
11	Diametrul orificiului (acceptat)	d	mm
12	Suprafața orificiului	S	mm^2
13	Suprafața necesară a orificiilor	So	mm^2
14	Număr orificiului (calculat)	n _c	-
15	Număr orificiului (acceptat)	n	-
16	Suprafața orificiilor	S	mm^2
17	Pasul relativ pentru orificii	k _s	-
18	Consum real de gaz	V_{g}	m^3/s
19	Coeficientul real de consum	-	-
20	Supraconsum de gaz	-	-
21	Adâncimea de pătrundere a jetului	h ₁	mm
22	Adâncimea relativă de pătrundere a jetului h ₁		-
23	Diametrul jetului la ieșire di arzător	dj	mm
24	Pasul relativ pentru orificii	k _j	-

Continuare. Tabelul 3.23.

	4.2. Jeturi auxiliare		
1	Coeficientul de consum	к	-
2	Coeficientul de pătrundere a jetului	к _{рј}	-
3	Coeficientul de comprimare a jetului	К _{сј}	-
4	Fanta (distanța) arzătorului	В	mm
5	Viteza de curgere a gazului	W	m/s
6	Viteza amestecului	W	m/s
7	Coeficientul de influență a jetului	Кj	-
8	Adâncimea relativă de pătrundere a jetului	h/d	-
9	Diametrul orificiului (calculat)	d _c	mm
10	Diametrul orificiului (acceptat)	d	mm
11	Suprafața orificiului	S	mm ²
12	Suprafața necesară a orificiilor	S ₀	mm ²
13	Număr orificii (calculat)	n _c	-
14	Număr orificii (acceptat)	n	-
15	Suprafața orificiilor	S	mm ²
16	Pasul relativ pentru orificii	k _s	mm
17	Consum real de gaz	Vg	m/s
18	Consumul de gaz (auxiliar)	Vg	m ³ /s
19	Adâncimea de pătrundere a jetului	h ₂	mm
20	Adâncimea relativă de pătrundere a jetului	h ₂ /d	-
21	Diametrul jetului la ieșire	dj	mm
22	Pasul relativ pentru orificii	kj	mm
23	Supraconsumul total de gaz	-	-

Soft-ul este realizat în limbajul XML pentru MS Excel al firmei MicroSoft și a fost certificat de AGEPI, (Anexa 6, 10). Soft-ul ține cont de tipizarea arzătoarelor și gruparea funcție de puterea maximă posibilă, de construcția lor și cerințele normative.

B. Schema de aplicare a arzătoarelor în minicentrale termice

Soft-ul a fost utilizat la elaborarea și confecționarea de către întreprinderea SRL "Romany Gaz Crup" a arzătoarelor cu sarcină variabilă de tip "DAVA".

Parametrii tehnici a unor modele de arzătoare, proiectate cu aplicarea metodicii și softului descris, care corespunde cerințelor arzătoarelor industriale [66] sunt prezentate în tabelele 3.24 – 3.26, (Anexa 6).



Fig. 3.21. Schema de aplicare a arzătoarelor de putere medie în minicentrale termice Poze ale arzătoarelor cu sarcină variabilă de tip "DAVA" sunt prezentate în Anexa nr. 11.

Parametrii arzătoarelor cu capacitatea constructivă de putere mică sunt prezentate în tabelul 3.24, de putere medie in tabelul 3.25, de putere mare in tabelul 3.26.

Tabelul 3.24

Tip arzător	P _{min} , kW	P _{max} , kW	$p_{\text{gaz min}}$, (MPa)	$p_{\text{gaz max}}$, (MPa)
" capacitatea -15"	3,5	18	0,400	0,2500
" capacitatea -40"	8,7	48	0,400	0,2500
" capacitatea -70"	15,3	84	0,400	0,2500
" capacitatea -120"	38,6	144	0,400	0,2500

Arzătoare (capacitatea constructivă) de putere mică.

La arzătorul de gaze naturale cu putere variabilă de tip «DAVA» cuplat la cazanul de apă,



sunt utilizate următoarele traductoare și dispozitive (figura 3.21):

- *BK1* traductorul de măsurare a temperaturii apei în cazan sau a temperaturii apei la ieșire;
- *BP1/h* traductorul de măsurare a depresiunii (presiunii) în canalul de evacuare a gazelor de ardere;
- *SK1max* termostat de securitate cazan (ajustabil) reglat la temperatura maximală admisă a apei în cazan;
- SP1max presostat de securitate a cazanului (ajustabil) reglat la presiunea maximală
- admisă;
- *SP2min* presostat de securitate a cazanului (ajustabil) reglat la presiunea minimală admisă a apei;
- Alarma semnalizator da alarmă sonoră și luminoasă.

Tabelul 3. 25

Tip arzător	P _{min} , kW	P _{max} , kW	$p_{\text{gaz min}}$, (MPa)	$p_{\text{gaz max}}$, (MPa)
" capacitatea -250"	60	300	0,400	0,5000
" capacitatea -350"	75	400	0,400	0,5000
" capacitatea -550"	85	600	0,400	0,5000
" capacitatea -650"	95	690	0,400	0,5000

Arzătoare (capacitatea constructivă) de putere medie

3.7. Concluzii la capitolul 3

- 1. Realizarea cercetărilor experimentale necesită elaborarea unui algoritm cert și argumentat întru obținerea rezultatelor stipulate. Pentru etapa cercetărilor experimentale s-au formulat objective esențiale, specifice privind elaborarea și confecționarea instalațiilor experimențiale: (a) elaborarea și argumentarea structurii instalației experimentale (stand) privind studierea proceselor de ardere a gazelor naturale în instalațiile termice; (b) realizarea instalației experimentale de cercetare a calității amestecului și a omogenității amestecului (ștand) în cazul) în cazul sarcinii variabile; (c) cercetarea formării și menținerii calității omogenității amestecului în cazul sarcinii variabile și factorilor, care influențează stabilitatea procesului de ardere a gazelor; (d) analiza particularităților procesului de ardere a gazelor în cazul sarcinii variabile; (e) evaluarea rezultatelor cercetărilor (bibliografice și experimentale) obținute și aplicarea lor la elaborarea arzătorului și a metodicilor de implementare a arzătorului în instalații tehnologice pentru generarea energiei termice la obiectele social-comunale, industrial și la obiectele din sectorul energetic; (f) conceptul algoritmului de realizare a cercetării experimentale (modelare fizică) și analizei rezultatelor măsurărilor întru aplcarea lor la etapa de proiectare și producere a arzătorului, apt să funcționeze stabil la sraciniă variabilă.
- 2. A fost elaborat structurile, s-au proiectat şi confecționat ştandul dotat cu echipamente de măsurare a parametrilorilor pentru realizarea cercetarilor experimentale a proceselor de formare a amestecului aer-gaz la arderea directă a gazelor, precum şi în caz de modelare fizică a procesului de ardere prin substituirea gazelor naturale cu un flux de aer încălzit. S-a propus algoritmul şi planul de realizare a cercetărilor experimentale care includ 7 etape. În calitate de variabile independente semnificative s-au selectat 4 mărimi: diametrul echivalent al stabilizatorului; viteza amestecului; distanța de la gura de ieşire a arzătorului; distanța de la axa arzătorului.
- 3. Corectitudinea rezultatelor măsurătorilor şi calculelor valorilor prametrilor selectați în baza acestor măsurări s-au determinat cu aplicarea criteriilor Kohren, Fisher şi Snedecor. 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 şi x*h interacțiunea lor. Alți factori luați in considerare la realizarea studiului se pot clasifica ca o grupă de factori nesemnificativi.
- 4. A fost stabilit influența semnifiativă a elementului constructiv denumit stabilizator și a realizării constructive însuși a arzătorului asupra gradului de omogenitate a amestecului

aer-gaz și asupra capacității de funcționare stabilă a arzăoarelor la sarcini variabile. Banda de funcționare stabilă se determină din condițiile marginale ale regimurilor de pătrundere a flăcării în gura arzătorului (puterea minimale) și de rupere a flăcării (cazul puterii maximle).

- 5. A fost elaborat metoda de cercetare experimentală a câmpului de repartiție a concentrației gazului în flacără și a influenței stabilizatoarelor asupra amestecului aer-gaz la substituirea fluxului gazelor naturale cu un flux de aer încălzit pentru mai multe tipuri de arzătoare cu banda puterii nominale 250 750 kW, bazată pe determinarea câmpului de temperaturi, măsurat de un ansamblu de traductori cu două grade de libertate. Metoda permite calcularea concentrației gazului în amestecul aer-gaz în tot spațiul de amplasare în focar a flăcării.
- 6. A fost determinat, că 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. S-au determinat valorile coeficientului k_2 care caracterizeazăarea unghiului de desfacere a flăcării în funcție de dimensiunile stabilizatorului.
- 7. A fost elaborat, testat şi utilizat pentru atingerea obiectivelor de sporire a calității procesului de ardere a gazelor naturale la producerea energiei termice următoarele metode: de cercetare experimentală a procesului de formare; a stabilității omogenității amestecului omogen aer-gaz; de colectare şi prelucrare statistică a datelor experimentale; de determinare a limitelor de stabilitate a flăcării amestecului; limitei puterii de funcționare stabilă a arzătoarelor cu diverse stabilizatoare la sarcini variabile.
- 8. A fost propusă relațiile de calcul a parametrilor arzătoarelor în funcție de puterea lor termică şi banda de variere a sarcinii, procedeul şi a soft-ului de calcul a parametrilor arzătoarelor modulare cu putere variabilă, precum şi schema de aplicare a arzătoarelor în minicentrale termice.

Capitolul 4. CERCETAREA PROCEDEELOR DE EFICIENTIZARE A CONSUMULUI DE GAZE ÎN INSTALAȚIILE DE GENERARE DISTRIBUITĂ A ENERGIEI TERMICE LA SARCINĂ VARIABILĂ

4.1. Elaborarea metodicii și algoritmilor de reglare a sarcinii arzătorului

Problema reglării puterii arzătoarelor de gaze în diverse sisteme termoenergetice are o importanță dublă, cauzată de influența asupra consumului de gaze, și uzarea utilajului sistemelor termice.

Se propune un procedeu și algoritmi de reglare în baza principiului mixt de reglare, care permite diminuarea oscilațiilor inutile ale procesului, ce are urmare excluderea consumului suplimentar de gaze și șocurilor de sarcină asupra utilajului termoenergetic.

În prezent se manifestă tendință de utilizare a regulatoarelor digitale, care se realizează pe microprocesoare, ce asigură posibilități de utilizare a algoritmilor de reglare automată a regimurilor de funcționare a instalațiilor termice, prin ce concomitent se asigură și o precizie mai ridicată de reaglarea, chiar și în cazul aplicării sistemelor cu reglare discretă [26, 62, 83].

Algoritmii cu semnale discrete digitale de funcționare ușor se transpun în soft-uri compatibile cu microcontrolerelor, care sunt componeta intelegentă a sistemelor de reglare automată.

Sistemele de comandă automată se divizează în trei grupe în funcție de principiul de reglare [26, 62, 83]:

- sisteme cu reglare în baza unei acționări externe, care se mai numesc sisteme cu contur deschis de reglare (fără buclă), cunoscute ca sisteme ce funcționeză în baza principiului;
- sisteme cu reglare în baza abaterii parametrilor, care se mai numesc sisteme de reglare cu reacție inversă şi funcționează în baza principiul;
- sisteme cu reglare mixtă în care se realizează atât principiul Ponsele, cât şi principiul Watt.

Sistemele de reglare automată după Ponsele se caracterizează prin aplicarea la intrarea regulatorului a unui semnal g(t) prin ce se asigură modificarea mărimii de ieșire y(t) (figura 4.1, a), de tipul Watt reacționează la diferența mărimii de ieșire y(t) și a mărimii intrare g(t).

Deci, în calitate de semnal de comandă se utilizează valoarea abaterii x(t)=y(t)-g(t) a mărimii de ieșire de la valoarea de referință (semnalului etalon sau valoarea de prag) (a vedea figura 4.1.b). Sistemele mixte au mai multe bucle de reglarea a mărimii de ieșire (figura 4.1c).



Fig. 4.1. Structura schemelor de reglare a puterii arzătoarelor

Arzătoarele de gaze, fiind utilizate în diverse sisteme termoenergetice (cazane de încălzire, de apă menajeră, de abur, etc.), trebuie să-și modifice operativ puterea lor în funcție de sarcina curentă.

Există diverse abordări a acestei probleme. Cea mai simplă este la arzătoarele cu 2-3 trepte, care î-și modifică treapta de funcționare. E cunoscut faptul, că această reglare nu poate optimiza consumul de gaze [69, 70, 72, 73, 75]. O altă abordare este aplicată la arzătoarele cu modificare continuă a puterii.

De regulă, reglarea se efectuează după abaterea valorii unui parametru informativ: temperaturii de ieșire sau presiunii agentului termic [11,15,17,28,35, 54, 100 ÷ 106, 168].

Pentru realizarea regulatoarelor discrete, bazate pe acest principiu, este necesar de elaborat algoritmul și soft-ul de funcționare a regulatorului automat de tip proporțională integră discretă (PID).

Pentru aceasta se selectează intervalul de cuantizare a timpului T_c prin ce se poate prezenta ecuația regulatorului de tip PID în formă discretă fără a introduce erori mari de

aproximare. Integrarea continuă a ecuației regulatorului PID poate fi substituită prin integrarea discretă cu metoda dreptunghiului sau trapezului, spre exemplu, utilizând metoda dreptunghiului, ecuația regulatorului PID se transformă în următoarea relație [80]:

$$u[n] = K_p \left[x[n] + T_c / T_i \sum_{i=1} x[i] + T_d / T_c (x[n] - x[n-1]) \right]$$
(4.1)

În baza acestei ecuații discrete se poate elabora așa numitul algoritm pozițional (nerecursiv) de reglarea care necesită următoarele date inițiale:

a) x(n), x(n-1), ...x(1), x(0) – setul de abateri de la referință pe toată perioada de integrare;

b) *K_p* – coeficientul de proporționalitate (numit de amplificare);

c) T_i – perioada de integrare;

d) *T_d* – coeficientul *derivatei* variabilei de proces;

e) T_c – durta de discretizare a timpului în procesul de reglare.

Ideea acestui algoritm constă în salvarea de fiecare dată a setului de abateri pe n perioade de discretizare și calculul de fiecare dată a valorii semnalului de reglare u[n].

Fiind aplicat în sisteme termoenergetice, acest algoritm are în calitate de variabilă de proces x(n) – temperatura sau presiunea la ieșire din cazane și intrare în circuitele sistemului energetic, numite parametru tur, iar în calitate de parametru de reglare u[n] este puterea arzătoarelor [32, 33, 127÷130, 145, 176].

Există un aspect dezavantajos în această abordare. Datorită faptului, că se monitorizează numai abaterile temperaturii tur de la valoarea de referință, fără a ține cont de inerția sistemului, procesul de reglare este departe de a fi optimal și în multe cazuri are un caracter oscilant, ceea ce duce la consum excesiv de carburanți și la uzarea excesivă a utilajului termoenergetic.

Pentru a omite sau a diminua aceste consecințe, se efectuează proceduri de ajustare a procesului de reglare, cu scopul obținerii parametrilor regulatorului:

 K_p – de proporționalitate (numit de amplificare);

 T_i – perioada de integrare;

 T_d – coeficientul derivatei variabilei de proces;

 T_c – durata intervalului de discretizare a procesului de reglare, care asigură o reglare apropiată de regim optim. Aceste proceduri se pot efectua în baza simulării procesului de reglare, care nu poate corespunde întocmai cu procesele reale, sau pe obiectele reale, însă necesită cheltuieli suplimentare.

În lucrare se propune [16, 19] soluționarea problemei de optimizare a regimului de funcționare la sarcină variabilă, care constă în:





b)



Fig. 4.2. Regimuri tranzitorii ai procesului de reglare: a) în baza primului contur fără ajustare; b) cu două contururi fără ajustare; c) cu două contururi ajustate.

- a) descentralizarea procesului de reglare aplicarea pe fiecare arzător a unui regulator de putere termică;
- b) monitorizarea a mai multor parametri, de exemplu, atât a temperaturii tur, cât și a temperaturii retur;
- c) aplicarea schemei mixte cu două canale de reglare.

Monitorizând numai abaterea temperaturii tur T_{tur}^{i} față de cea de referință T_{tur}^{*} , și introducând în ecuația precedentă, obținem următoarea ecuație pentru primul canal:

$$\Delta T[i] = T^*_{tur}[i] - T_{tur}[i]$$

$$\Delta P'[i] = K_{P} \bigg[\Delta T[i] + T_{c} / T_{i} \sum_{i=1} \Delta T[i] + T_{d} / T_{c} (\Delta T[i] - \Delta T[i-1]) \bigg]$$
(4.2)

unde:

 $\Delta P'(i)$ - modificarea puterii arzătorului în momentul curent pentru intervalul următor;

 T_{tur}^{i} - temperatura tur curentă la ieșire din cazan;

 T^{i-1}_{tur} - 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}^{*} , obținînd ca ecuație pentru al doilea canal, atît căldura necesară pentru încălzirea unei cantități de agent, cît și dinamica acestui proces:

$$\Delta P''(i) = K_a C_a m_a (T^*_{tur} - T^i_{ret}) + K_d C_a m_a ((T^*_{tur} - T^i_{ret}) - (T^*_{tur} - T^{i-1}_{ret})), \qquad (4.3)$$

în care:

 $\Delta P''(i)$ - modificarea puterii arzătorului în momentul curent, dependentă de canalul doi;

 T_{ret}^{i} - temperatura retur curentă la intrare în cazan;

 T^{i-1}_{ret} - temperatura retur precedentă la intrare în cazan;

 T^*_{tur} - temperatura tur de referință la ieșire din cazan;

 $(T^*_{tur} - T^i_{ret})$ – 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, $[kW/^{\circ}C]$.

In final, reglatorul va impune modificarea puterii termice a arzătorului:

$$\Delta P(i) = \Delta P'(i) + \Delta P''(i) \tag{4.4}$$

Algoritmul expus a fost utilizat de către întreprinderea "Romanny Gaz Group" SRL în sistemul electronic de reglare automată a puterii arzătoarelor de tip "DAVA" [22, 50] și testat pentru diverse cazane în centrale termice de diferite capacități.

Testările s-au efectuat cu utilizarea arzătoarelor cu diferită putere termică maximă la diverse obiecte (centrale termice).

S-au studiat particularitățile derulării regimurilor tranzitorii în situații, în care conturul doi se decupla, iar primul nu era ajustat (figura 4.2, a), cu două contururi neajustate (figura 4.2, b) și cu două contururi ajustate (figura 4.2, c).

În primul caz, apar oscilații semnificative a mărimii de ieșire în procesului de reglare, care duc la depășirea semnificativă a valorii de referință, iar în al doilea caz deși, fiind neajustate sistemele de reglare automată de asemenea există oscilații a mărimii reglate, dar nu are loc o depășire semnificativă a valorii de referință.

În cazul ajustării regulatorului, utilizând metoda cunoscută ca Ziegler-Nicols se obține o reglare cu calitate ridicătă.

Verificarea procedeului de reglare.

Verificarea algoritmului de reglare a puterii s-a efectuat în mod experimental cu ajutorul standului automatizat, ce are structura prezentată în figura 4.1 pentru arzătoare cu valoarea diferită a puterii montate în cazane termice.

Modificând în mod forțat [2, 11, 13, 18] atât sarcina termică a cazanului, cât și regimul de funcționare s-a studiat procesul de reglare a puterii arzătorului.

În figura 4.3 sunt prezentate rezultatele testărilor procesului de reglare a unui arzător de tip DAVA-2000, instalat pe un cazan cu capacitatea termică de 2000 kW, având ca sarcină un circuit de încălzire și un circuit de apă caldă menajeră cu caracter fluctuant a consumului.

Scopul testărilor a constat în determinarea caracterului evoluției procesului de reglare a regimului la schimbarea valorilor de referință pentru temperatura tur a agentului termic în caz de micșorare în banda 80-60°C cu pasul de 5⁰C și de majorarea în banda de 60-70°C cu pasul de 5⁰C. Durata timpului de verificare algoritmului a constituit 4 ore.

Durata intervalului de obținere a regimului staționar a fost stabilită egală cu 30 minute la schimbarea puterii arzătorului. Rezultatele obținute în cadrul testării experimentale

demonstrează, că calitatea procesului reglării puterii se poate considera satisfăcătoare, inclusiv, în regimurile tranzitorii.

Algoritmul propus este puțin mai complicat în comparare cu cele utilizate în pezent în regulatoarele de tip PID, însă datorită faptului, că arzătoarele moderne sunt dotate cu sisteme de comandă realizate cu microprocesoare cu putere de calcul suficientă, realizarea lui nu a prezentat o problemă. S-a simplificat procedura de ajustare a regulatorului [11, 13, 14,18], deoarece în schema propusă regulatorul funcționează stabil pentru un diapazon larg de evoluție a valorii coeficientului de amplificare.

4.2. Procedee de eficientizare a proceselor tehnologice în sisteme termoenergetice

La etapa actuală se constată o decentralizare a sistemelor termoenergetice, atît pe plan internațional, cît și în plan local (de exemplu, în suburbiile municipiului Chișinău, în orașele Ungheni, Strășeni, Florești, Cantemir, ș.a.), ca urmare a trecerii sistemului de încălzire la centralelor termice locale, de cartiere, de putere mică și medie (de la 50 kW până la 10 MW).

Unul din scopurile formulate a decentralizării sistemului macro-central termoenergetic este adaptarea la sarcina dinamică a obiectelor respective. Din aceste considerente centralele termice locale se proiectează pe baza unui grup de cazane (schema bloc),utilizând arzătoare de gaz cu puterea de la 2 până la 5 MW aamblate în module interdependente funcționale. Sarcina termică a obiectelor de încălzire este fluctuantă: variază puternic pe parcursul sezonului de încălzire, ănclusiv și din cauza fluctuației temperaturii exterioare.

Problema calculului sarcinii termice pentru aceste scheme de asigurare cu energie termică se prezintă în calitate de este problema cheie pentru asigurarea eficienței energetice și economice a cestor scheme.

Problema a fost abordată de mai mulți autori [7, 8,18,27,62,66,67,83,93,101÷114, 147,185], însă, în baza analizei acestor rezultate se rezintă ca cea mai realistă abordarea din lucrările [27, 32, 83, 85, 99]. Calculele sarcinii termică sunt simple atâta timp, cât regimul de funcționare este de tip static (sau staționar, deci schimburile de energie dintre sursă și consumator sunt constante). Această ipoteză de obicei se prezintă acceptabilă pentru calculul sarcinii maxime de încălzire.

Se consideră, ca pierderile de căldură prin conducție și schimbul de aer să se exprime sintetic printr-un singur termen, deoarece ambii depind de diferența dintre temperatura interioară și exterioară:

$$Q = K_{tot}(T_i - T_e), \quad [W], \tag{4.5}$$

unde K_{tot} [W/K] reprezintă coeficientul lobal de transfer de căldură (pierderi de căldură). Deseori se utilizează preentarea pierderilor de căldură pe unitate de volum, caz în care se folosește notația

$$Q = K_{tot} / V_{clad,} [W/(m^3 \cdot K)], \qquad (4.6)$$

unde volumul clădirii V_{clad} este volumul încălzit al clădirii, delimitat de izolarea termică; G - coeficientul total de pierderi raportat la volumul clădirii [W/($m^3 \cdot K$)].

Sarcina termică instantanee a clădirii este suma dintre componentele sensibile și latente la un moment dat [90]:

$$Q = G \cdot V_{clad} \left(T_i - T_e \right) + Q_{sol} - Q_{ap} \pm Q_{stoc} \quad [W]$$
(4.7)

unde:

 Q_{sol} - cantitatea de căldură disipată în sol;

 Q_{ap} - aportul de căldură de la alte surse;

 Q_{stoc} - cantitatea de căldură stocată în clădire.

Q - coefficientul total de pierderi raportat la volumul clădirii $[W/(m^3 \cdot K)]$.

În literatura de specialitate [27] se recomandă să nu se țină seama de aportul solar la calcularea valorii a sarcinii de vârf a sistemului de încălzire (cu excepția cazurilor în care clădirea are o inerție termică mare), deoarece vremea cea mai rece poate apare în perioadele fără radiație solară. Trebuie luate în considerate numai aporturile schimburilor de căldură care pot avea loc în cazul celor mai reci zile. Dacă temperatura interioară este constantă, este suficientă o analiză statică. Aceasta înseamnă, că sarcina de vârf rezultă din relația:

$$Q_{max} = G \ (T_i - T_e) - Q_{pstoc} \ [W]$$
(4.8)

Proiectarea optimă a clădirii, în sensul minimizării costurilor pe durata sa de viață, necesită o evaluare a consumului anual de energie Q_{an}, care reprezintă integrala în timp a consumului instantaneu pe perioada de încălzire sau răcire.

Consumul instantaneu reprezintă sarcina instantanee împărțită la randamentul echipamentului de încălzire sau răcire.

Metodele de calcul sunt de două tipuri: metode statice (bazate pe grad-zi sau pe intervale de temperatură) și metode dinamice (bazate pe funcții de transfer).

Metodele grad-zi sunt adecvate dacă utilizarea clădirii și randamentul echipamentului pot fi considerate constante. Pentru situațiile în care randamentul și condițiile de utilizare variază semnificativ cu temperatura exterioară, se poate calcula consumul pentru anumite valori ale temperaturii exterioare și acesta se înmulțește cu numărul de ore din an corespunzător unor intervale centrate în jurul acestor valori, (Anexa 19).

Consumul anual rezultă prin însumarea consumurilor asociate fiecărui interval de temperatură exterioară.

Această abordare reprezintă metoda cu intervale de temperatură.

Pentru toate metodele statice este necesară, în primul rând, determinarea valorii temperaturii T_e sub care încălzirea devine necesară (temperatura de echilibru).

Metodele dinamice trebuie aplicate la calculul consumului anual de energie ori dpee câte ori temperatura interioară se dorește sau este variabilă. Deoarece metoda grad-zi este cea mai utilizată, în analiza calculului vom utiliza preponderent această metodă.

Temperatura de echilibru T_{ech} a clădirii este definită ca valoarea temperaturii exterioare T_e pentru o valoare T_i dată, pierderea totală de căldură este egală cu cotele diferitor surse de generae implicate în asigurarea echilibrului de căldură (de la soare, persoane, iluminat etc.).

În cazul unei analize statice, efectele de acumulare (stocare) sunt zero și dacă, în plus, se neglijează transferul de căldură spre sol, atunci bilanțul de energie devine:

$$G (T_i - T_{ech}) = Q_{ap} \quad [W]$$

$$(4.9)$$

De unde și rezultă temperatura de echilibru:

$$T_{ech} = T_i - Q_{ap} / G \quad [^{\circ}C] \tag{4.10}$$

unde cotele de căldură trebuie să fie valori medii pentru perioadele în cauză, nu cele de vârf.

Pentru aceste condiții consumul de energie al sistemului de încălzire este exprimat prin relația:

$$Q_{inc} = (G / \eta_{inc}) \cdot (T_{ech} - T_e(t)) [W]$$

$$(4.11)$$

unde η_{inc} este coeficientul anual de utilizare a combustibilului (sau a altei surse primare), valoarea sa luând în considerare variația randamentului la sarcini parțiale.

Dacă η_{inc} , T_{ech} și K_{tot} sunt considerate ca mărimi constante, în acest caz se utilizează valorile medii zilnice ale temperaturii exterioare $T_{e,med}$, iar consumul anual pentru încălzire poate fi calculat astfel:

$$Q_{inc} = \frac{G \cdot V_{clad}}{\eta_{inc}} \int [T_{ech} - T_e(t)]_+ dt = \frac{G \cdot V_{clad}}{\eta_{inc}} \sum_{zile} [T_{ech} - \overline{T}_e]_+ \quad [W \cdot zi/an], \tag{4.12}$$

unde numărul de grad-zi pentru încălzire, bazat pe temperatura de echilibru (denumită și baza gradelor-zile) este definit ca:

$$GZ_{inc}(T_{ech}) = 1 \ zi \times \sum_{zile} [T_{ech} - \overline{T}_e]_+ \quad [K \cdot zi]$$
(4.13)

Temperatura de echilibru este variabilă de la o clădire la alta și de multe ori este necunoscută.

Din acest motiv, se mai utilizează și parametrul de grad-zi bazat pe temperatura de referință constantă, și anume, temperatura interioară de calcul. Aceasta este de regulă de 20°C. În acest caz, gradele-zile devin o funcție numai de datele climatice și pot fi determinate independent de clădire.

Ele se calculează de regula pe bază de date climatice statistice multianuale.

$$GZ_{inc}(T_i^c) = 1 \, zi \times \sum_{zile} \left| T_i^c - \overline{T}_e \right|_+ [\text{K} \cdot \text{zi}]$$

$$(4.14)$$

Ecuația (4.14) se mai poate scrie folosind gradele zile cu referința constantă, astfel:

$$GZ_{inc}(T_{ech}) = 1 \ zi \times \sum_{zile} \left[\left(T_i^c - \overline{T}_e \right) - \left(T_i^c - T_{ech} \right) \right] =$$

$$GZ_{inc}(T_i^c) - \left(T_i^c - T_{ech} \right) \times N_{zile,inc}$$

$$(4.15)$$

Pentru o estimare mai puțin precisă, necesarul anual pentru încălzire se poate calcula folosind în ecuația (4.9) temperatura interioară de calcul în locul temperaturii de echilibru (ceea ce echivalează cu neglijarea tuturor aporturilor termice ale surselor enumerate).

Dacă numărul de grade-zile este cunoscut din datele climatice și caracteristicile clădirii [27, 83, 102], consumul anual pentru încălzire poate fi determinat astfel:

$$Q_{inc} = 0.024 \frac{K_{tot}}{\eta_{inc}} \cdot GZ_{inc}(T_{ech}) \cong 0.024 \frac{G \cdot V_{clad}}{\eta_{inc}} \cdot GZ_{inc}(T_i^c) \text{ [kWh/an]}$$
(4.16)

Deși ipoteza de bază a metodei grad-zi, menținerea temperaturii T_{ech} , nu poate fi calificată ca satisfăcător pe deplin în practică, totuțși utilizarea ei poate oferi rezultate destul de precise [27, 28, 83, 102] privind consumul anual de energie în scopuri de încălzire doar în cazul clădirilor.

Utilizarea acestei mărimi în scop de realizare a sistemlor de control automat a funcționării centralelor termice și a arzătoarelor nu este rezonabilă.

Vom propune următoarea alternativă, care simplifică esențial utilizarea în scop de control automat a funcționării centralelor termice și arzătoarelor în condițiile de incertitudine a sarcinii termice și a evoluției temperaturii exterioare. Ideea acestei alternative constă în crearea unui model comun, ușor aplicabil în practică, pentru reglarea temperaturii agentului termic la ieșire din cazan în funcție de următorii parametri:

- T_i temperaturile în interiorul obiectului,
- T_e temperatura mediului extern;
- *G* gradul pierderilor de căldură al obiectului.
Să examinăm problema optimizării proceselor tehnologice în astfel de sisteme termoenergetice, care includ un element important – arzătoarele de gaze.

Scopul optimizării constă în îmbunătățirea calității reglării proceselor tehnologice, ce ar permite:

a) utilizarea mai rațională a energiei termice generate la arderea gazelor;

b) reducerea pierderilor energiei termice și evitarea uzurii rapide a utilajului.

Conform [4, 26, 29], soluționarea problemei sintezei sistemului optim de reglare poate fi obținută pe baza teoriei construiri analitice ale regulatorilor și teoriei filtrării optime a lui Kolmogorov – Vinner.

În acest caz se poate de realizat sinteza completă a sistemului dinamic optim și a parametrilor considerați optimi pentru regimul respectiv.

Însă la optimizarea proceselor tehnologice a obiectelor industriale diferite regulatoare pentru sisteme de reglare automată se construiesc pe baza numărului relativ redus de legi, standarde de reglare, ce conduce la soluții bazate pe simplificare legilor teoretice de reglare optimă.

Cu alte cuvinte, analiza parametrică a caracteristicilor proceselor studiate este necesară pentru determinarea parametrilor optimi ai regulatorilor, construite pe baza legilor simplificate de reglare. De asemenea, este necesar de luat în considerație faptul, că la elaborarea structurii și determinarea parametrilor regulatorilor în baza unor studii pur teoretice, obligatoriu este necesar de realizat și și faza de cercetare experimentală cu scopul verificării și precizării valorilor mărimilor moelului matematic al regulatorului, a cărui descriere matematică are un caracter, care parametrii regulatorului sintetizat trebuie sa fie precizați la realizare.

Astfel, apare problema optimizării parametrice a sistemului automat de reglare (SAR). Teoria reglării automate dispune de metode destul de eficiente, ce permit rezolvarea acestei probleme.

Posibilitatea de aplicare a unei metode depinde de tipul SAR, caracterul condițiilor în care va funcționa sistemul, cerințe a indicilor calitativi a funcționării lui.

Cele mai precise metode analitice sunt bazate pe minimizarea estimărilor integrale pătratice ale diferenței între starea dorită și curentă a sistemului.

Obținerea soluțiilor analitice precise sunt posibilă numai în cele mai simple cazuri și se referă la sistemelor liniare, descrise cu ecuațiile diferențiale de ordinul cel mult trei.

Obiectele tehnologice reale, de regula, se decriu de ecuații diferențiale de grad ridicat cu diverse particularități, de exemplu întârzierea răspunsului la comanda regulatorului automat.

Obținerea soluției analitice în contextul ajustării optime a regulatorilor SAR pentru aceste obiecte este destul de dificilă. De aceea, adesea sunt aplicate în practică metode simplificate

analitico-grafice. În practica inginerească frecvent se utilizează metoda caracteristicilor de frecvență.

Cu dezvoltarea dispozitivelor de calcul, a crescut ponderea de aplicare a metodei de determinare a parametrilor ajustării SAR cu ajutorul modelării.

Tendința spre sporire a preciziei calculării parametrilor de reglare a SAR a stimulat elaborarea metodelor de automatizare a proceselor optimizării parametrice ale SAR. Metodele de optimizare automată se împart în două grupuri diferite: de căutare și fără căutare.

Metodele de căutare sunt bazate pe introducerea variațiilor artificiale de căutare ale parametrilor ajustați pentru determinarea vector-gradientului ajustării.

Avantajul metodelor de căutare constă în asigurarea posibilității optimizării sistemelor în lipsa informației inițiale complete despre obiect, iar dezavantajul este determinat de dificultatea minimizării variațiilor căutărilor de probă ale parametrilor de reglare și, de regulă, lipsa sincronizării ajustării tuturor componentelor vectorului parametrilor de reglare, ce majorează termenul de căutare și reduce precizia procesului de optimizare. Aceste dezavantaje devin mai pronunțate la majorarea numărului parametrilor de reglare, fiindcă se complică structura logică a algoritmului de căutare.

Metodele fără căutare de optimizare nu necesită variații de căutare de probă pentru determinarea vector-gradientului ajustării. La rândul său metodele fără căutare pot fi divizate în două clase: cu gradient sau fără gradient.

În metodele fără gradient, care nu se calculează in mod explicit, reglarea parametrilor se produce în funcție de diferențele între coordonate și parametrii sistemului optimizat: diferențele modelului-etalon și derivatele lor.

Algoritmul de reglare se formează [4, 26, 29] conform sugestiei, ca procesul ajustării să fie stabil.

Reieșind din cele expuse mai sus, se propune o abordare empirico-analitică a problemei date, care se reflectă în următoarea schemă:

- Analiza stării curente a obiectului și determinarea valorii sarcinii curente;
- Calculul numărului necesar de arzătoare, în funcție de sarcina curentă, parametrii individuali ai arzătoarelor și proprietățile obiectului;
- Reglarea puterii fiecărui arzător la sarcina termoenergetică curentă.

Modelul sistemului de reglare

Pentru a rezolva aceste probleme se propune următorul model structural al sistemului de reglare a obiectului termoenergetic.

Schema structurală propusă a buclei de reglare pentru sistemul de încălzire a diverselor obiecte este reprezentată în baza unui model structural din figura 4.4.

Sistemul de reglare este format pe baza regulatorului etajat format din bucla internă, care include cazanele, ca obiect de comandă a temperaturii apei în conturul primar T *caz*, iar conturul extern include alte obiecte de reglare (schimbător termic, sistem de încălzire propriu-zis, blocuri, ş.a.).

În baza modelării sistemului cercetat au fost vizați regulatori de tip proporțional-integral (PI) și au fost determinați parametrii lor optimi. În scopul de a evita apariția proceselor tranzitorii oscilante, atât în conturul intern, cât și la sistemul întreg s-a decis selectarea acestui tip de regulator [28].

Pentru a determina parametrii regulatorului *Reg.I.* se determină funcția de transfer și parametrii conturului închis *Reg.II-Wc*.

De regulă, funcțiile de transfer ale obiectului de comandă [28], au fost aproximate ca elemente de ordinul doi cu întîrziere:



Fig. 4.4. Modelul structural al sistemului termoenergetic.

$$W = \frac{ke^{-p\tau}}{(T_1p+1)(T_2p+1)};$$
(4.17)

Funcția de transfer a obiectului *Wc* include cazanul, arzătoarele, supapa de reglare a gazului. Parametrul de ieșire al obiectului este temperatura apei la ieșirea din cazan, iar comanda

puterea termică a cazanului (cantitatea gazului), care la rândul său, se determină conform algoritmilor de reglare propuși în [4, 11,13,28], iar Wf – funcția de transfer a filtrului de temperatură a aerului exterior (elementul de ordinul 1); F(Text) – transformatorul funcțional, care ia în considerare caracteristicile schimbătorului de căldură a sistemului de încălzire.

Funcția de transfer a obiectului *Ws* include schimbătorul de căldură, sistemul hidraulic, sistemul de încălzire a blocului. Factorul important la ajustarea sistemului este determinarea perioadei de eșantionare. Acest parametru trebuie ales individual pentru fiecare contur, durata fiecărei perioade este de câteva ori mai mică decât constanta de timp a fiecărui contur.

Pentru realizarea acestui regulator este necesar de elaborat modelul de funcționare.

Considerând, că masa agentului termic este practic constantă, în calitate de parametri ai regulatorului vor fi: T_c – temperatura de referință a agentului la ieșire din cazan – parametru de ieșire; T_e – temperatura mediului extern – parametru de intrare ;

T_i – temperatura internă a obiectului, care este în funcție de T_{c..}

Acest model poate fi determinat prin metode de sinteză a regulatoarelor [4, 29], sau prin metodă empirico-analitică. În rezultatul analizei acestor metode, s-a adoptat metoda empirico-analitică. La baza metodei date este determinarea temperaturii de referință a agentului la ieșirea din cazan, cu care se vor compensa pierderile de căldură în obiect, care se calculează prin următoarea ecuație de bilanț termic:

$$cm_a \left(T_c - T_{ret}\right) = G_{rdi} V_o \left(T_i - T_e\right) , \qquad (4.18)$$

unde:

 m_a – cantitatea de agent termic în cazane;

 G_{rdi} – gradul de pierderi a căldurii obiectului [W/m^3K];

 V_0 – volumul obiectului aproviyionat cu agent termic;

 T_{ret} -temperatura retur a agentului termic în cazane.

După rezolvarea ecuației (4.18) în raport cu T_c obținem:

$$T_{c} = \frac{G_{rdi}V_{o}(T_{i} - T_{e})}{cm_{a}} + T_{ret}.$$
(4.19)

Această relație nu este simplu de aplicat în practică din următoarele considerente:

- trebuie de cunoscut cu precizie cantitatea de agent termic şi de calculat volumul obiectului, care mai poate varia în timp;
- trebuie de calculat cu precizie gradul pierderilor de căldură a obiectului.

Pentru a depăși situația dată, s-a propus de determinat în mod empiric dependență (4.19), în forma sa generală, $T_c = F(G, T_e, T_i)$ efectuând cercetări experimentale pentru obiecte cu diverse categorii cu grad de pierderi de căldură G, variind T_c la anumită T_e pentru a menține temperatura interioară preconizată a obiectului, de exemplu, a fost stabilit $T_i = 20^{\circ}$ C, (Tabelul 4.1) și expunerea grafică (fig. 4.5, 4.6, 4.7), apoi interpolând aceste date se obține ecuația respectivă în forma polinomială:

$$y = -ax^2 - bx + c \tag{4.20}$$

		Temperatura T _c								
T _{ext} ,										
*C	G _{1.6}	G _{1.8}	G _{2.0}	G _{2.2}	G _{2.4}	G _{2.6}	G _{2.8}	G _{3.0}	G _{3.2}	G _{3.4}
5	48	52	55	58	62,5	66	68	72,5	75	80
4	49,5	53,9	57,1	59,8	64,7	68,3	70,2	75,5	77,7	83,6
3	50,9	55,7	59,1	61,5	66,8	70,7	72,4	78,6	80,5	87,2
2	52,4	57,6	61,2	63,3	69	73	74,6	81,6	83,2	90,8
1	53,9	59,5	63,3	65	71,2	75,3	76,8	84,6	85,9	94,4
0	55	60	64	68	73	77	82	86	92	95
-1	56,4	61,4	65,6	70,2	75,1	79,1	84,3	88,5	94,5	97,6
-2	57,7	62,8	67,2	72,3	77,1	81,2	86,5	91	97	100
-3	59,1	64,3	68,9	74,5	79,2	83,3	88,8	93,4	99,5	103
-4	60,4	65,7	70,5	76,7	81,2	85,4	91	95,9	102	105
-5	61	67	72,5	77,5	82,5	87	92,5	98	104	108
-6	62,1	68,4	74,3	79,2	84,3	88,9	94,5	100,3	106,3	111
-7	63,2	69,8	76	80,9	86,1	90,9	96,5	102,7	108,7	113
-8	64,3	71,2	77,8	82,7	87,9	92,8	98,5	105	111	116
-9	65,4	72,5	79,5	84,4	89,7	94,7	101	107,4	113,3	118
-10	67,5	74	80	86	92,5	98	104	110	115	121

Tabelul 4.1. Temperatura T_c pentru $T_i = 20$ ° C la obiectele cu diverși indicatori ai pierderilor de căldură (G)

Un parametru determinant în reflectarea coeficientului G, este rezistența termică specifică corectată și conductibilitatea termică echivalentă (λ_{ech} - W/mK) a elementelor de construcție.

Rezistența termică specifică corectată, ține cont de existența punților termice, de dimensiunile geometrice ale acestora. Punțile termice conduc la creșterea fluxului de căldură transferat către exterior. Prelucrarea metodică a datelor experimentale s-a efectuat în două etape: interpolarea setului de date, apoi determinarea formulei (trend-ului) respectivului set de date interpolat. Este cunoscut faptul, că condițiile experimentale nu este posibil cunoașterea funcției f: $[a, b] \rightarrow R$ în formă analitică ca să se determine valoarea în orice punct x_c din intervalul de definire.



Fig. 4.5 Ecuațiile în baza datelor obținute prin interpolare

Din acest motiv, pe baza măsurărilor experimentale și prin alegerea convenabilă a tipului de funcție f (clasă de continuitate, derivabilitate, model teoretic, etc.) se poate determina valoarea $y_c \cong f(x_c)$ în orice punct din [a, b]. De cele mai multe ori, însă, datele experimentale sunt afectate de erori. În acest caz graficul funcției f nu trece obligatoriu prin punctele experimentale, fără a depăși intervalul de eroare corespunzătoare fiecărui punct.

De multe ori în problemele de interpolare, datele care trebuie interpolate sunt obținute în așa mod, încât variabila considerată independentă *x* corespunde unor valori echidistante astfel încât x_{i+1} *i* $x_i = h = const.$ cu i = 0...n (h - pas de interpolare).

În acest caz se definesc diferențe finite pentru funcția f(x) = y: $\Delta y_i = y_{i+1} - y_i$

- diferența finită de prim ordin; $\Delta^2 y_i = \Delta y_{i+1} - \Delta y_i$

- diferența finită de ordin secund ; $\Delta^k y_i = \Delta^{k-1} y_{i+1} \Delta^{k-1} y_i$
- diferența finită de ordin k



Fig. 3.6. Set I de caracteristici de reglare.





Aceste mărimi sunt importante și sunt elemente a calculelor privind problemele de interpolare polinomială și pentru derivarea numerică bazată pe formule de interpolare.

					<u> </u>		
	Caracte- ristica	Coeficienții polinomului:					
Nr.		Coeficientul λ, W/mK	a	b	с		
1	0.2	0,020	0,0015	0,188	1,216		
2	0.4	0,035	0,0030	0,368	1,438		
3	0.6	0,050	0,0038	0,581	1,660		
4	0.8	0,025	0,0044	0,763	1,875		
5	1.0	0,15	0,0085	0,925	2,100		
6	1.2	0,25	0,0080	1,113	2,300		
7	1.4	0,45	0,0103	1,294	2,545		
8	1.6	0,65	0,0075	1,503	2,730		
9	1.8	0,75	0,0137	1,678	2,986		
10	2.0	0,95	0,0086	1,899	3,155		
11	2.2	1,15	0,0155	2,040	3,410		
12	2.4	1,35	0,0191	2,221	3,656		
13	2.6	1,55	0,0200	2,377	3,858		
14	2.8	1,75	0,0249	2,515	4,061		
15	3.0	2,00	0,0186	2,809	4,271		
16	3.2	2,50	0,0291	2,893	4,506		

Tabelul 4.2. Parametrii caracteristicilor de reglare

Aici s-au utilizat formula lui Taylor de interpolare polinominală cu puncte echidistante [85]:

$$Pn(x) = y_0 + q\Delta y_0 + \frac{q(q-1)}{2!}\Delta^2 y_0 + \dots + \frac{q(q-1)(q-2)\dots(q-n+1)}{n!}\Delta^n y_0$$
(4.21)

unde:

 $q = (x - x_0)/h$ - este numărul de pași necesari pentru a ajunge la valoarea x plecând de la x_0 .

Aplicând acest mod de interpolare s-au obținut seturi de date pentru obiecte cu diverși coeficienți de pierderi de căldură.

Determinarea formulei (trend-ului) respectivului set de date interpolat s-a efectuat în mod computerizat, utilizând funcția statistică TREND din MS Excell (figura 4.5), a creat posibilitatea de a determina următoarea formulă comună pentru toate seturile:

$$T_c = -a T_e^{2} - bT_e + c T_i$$
(4.22)

unde *a,b,c* – coeficienții polinomului de interpolare a gradului de pierderi de căldură (G) a obiectului.

Modelul regulatorului este stabilit în formă de următoarea ecuație [50, 52]:

$$T_{c} = -a T_{e}^{2} - bT_{e} + c T_{i} + \Delta T, \qquad (4.23)$$

la care s-a adăugat componeta ΔT – o rezervă de temperatură a agentului la ieșire din cazan față de temperatura agentului furnizat la consumator.

Au fost determinat experimental coeficienții a,b și c a ecuației (4.23) pentru o gamă largă de obiecte cu coeficientul

 $\lambda = 0.02 - 2.5$, [W/mK],

care sunt prezentați în tabelul 4.2.

Astfel s-a obținut un set de ecuații (G_i) pentru obiecte cu grad divers de rezistență termică specifică. În baza setului de ecuații obținute s-au calculat caracteristicile teoretice, care pot fi divizate formal în două părți:

a) obiecte cu un grad mai înalt de protecție - rezistență termică înaltă (figura 4.6);

b) obiecte cu grad infrior de protecție - rezistență termică joasă (figura 4.7).

Verificarea modelului regulatorului. S-a elaborat un program-simulator pentru modelul de reglare a sistemelor termoenergetice, care permite modelarea reglării proceselor tehnologice și analiza lor.

Pe acest simulator a fost analizată funcționarea obiectului integral și a diferitor aspecte separate, au fost analizați diferiți algoritmi de optimizare a proceselor tehnologice în sisteme termoenergetice.

S-a constatat, că aplicarea programului-simulator în procesele tehnologice va permite menținerea mai precisă a parametrilor în blocurile încălzite, ca urmare - economisirea resurselor energetice.

În calitate de date inițiale s-a luat variația reală, zilnică a temperaturii exterioare [171] în lunile de iarnă (decembrie, ianuarie, februarie); s-a determinat temperatura la ieșire din cazan de putere termica P=650 kW; s-a calculat puterea arzătorului și volumul de gaz consumat zilnic și integral pe sezon pentru două cazuri:

a) cu caracteristica C 1.0 – a obiectelor cu termoizolare medie;

b) cu caracteristica C 2.0 – a obiectelor cu termoizolare joasă.

Rezultatele modelării sunt prezentate în figurile 4.8 -:- 4.13.



Fig. 4.8. Graficul de monitorizare a temperaturii agentului termic în cazan, în funcție de T_{ext} în sezonul de încălzire.



Fig. 4.9. Dependența temperaturii agentului termic în cazan, puterii arzătorului și consumului de gaz zilnic pe sezonul de încălzire în cazul obiectului cu termoizolare bună.



Fig. 4.10. Graficul de monitorizare a dependenței temperaturii agentului termic în cazan, puterii arzătorului și consumului de gaz zilnic pe sezonul de încălzire în cazul obiectului cu termoizolare redusă.



Fig. 4.11. Graficul de monitorizare a temperaturii agentului termic in cazan în funcție de T_{ext} în sezonul de încălzire în cazul obiectului cu termoizolare nesatsfăcătoare.



Fig. 4.12. Graficul de monitorizare a dependenței puterii arzătorului, consumul de gaz, temperatura agentului termic în cazan. funcție de temperatura exterioară în sezonul de încălzire în cazul obiectului cu termoizolare bună.



Fig. 4.13. Graficul de monitorizare a dependenței puterii arzătorului, consumului de gaz zilnic și temperaturii agentului termic în cazan, funcție de temperatura exterioară în sezonul de încălzire în cazul obiectului cu termoizolare redusă.

După cum reise din indicii acestei diagrame, reglarea temperaturii cazanului în funcție de temperatura mediului exterior și temperatura interioară a obiectului conduce la o reducere considerabilă a consumului de gaz, inclusiv, și în sezoane nefavorabile. Cu cât sezonul este mai favorabil, cu atât reducerea relativă este mai mare.

Evaluarea cantitativă a consumului de gaz, în procesul de simulare, pentru ambele sezoane și ambele tipuri de obiecte în regimul de menținere a temperaturii constante s-a efectuat, ținând cont de practică exploatării în sistemelor mari termoenergetice.

Analiza rezultatelor obținute permite de a constata coincidența lor cu valorile calculate cu ajutorul programului-simulator. Din aceastea reiese, că utilizarea modelului respectiv și simulare pe calculator a reglării proceselor tehnologice poate fi aplicată cu succes în diverse sisteme termoenergetice.

Aplicarea programului-simulator în procesele tehnologice permite menținerea mai axactă a parametrilor (temperaturii necesare) în obiectele încălzite, ce conduce la economisirea resurselor energetice, permite funcționarea centralei termice în regim mai favorabil pentru utilajul termoenergetic.

Realizarea acestei abordări este posibilă practic în majoritatea unităților de comandă pentru arzătoare, cazane și centrale termice.

Totuși se va menționa, că utilizarea acestei abordări privind problema examinată constituie prima condiție pentru asigurarea reducerei considerabile a consumului de gaz, însă sunt importante și alte aspecte, inclusiv, cum se vor monitoriza arzătoarele ce funcționează în grup și cum se va regla puterea fiecărui arzător – problemă, care se va reflecta în compartimentul următor.

156

4.3. Metodica și algoritmi de distribuție a sarcinii pe un arzător din grup pentru centrale termice cu sarcină variabilă

Promovarea generării distribuite a energiei termice în bza centralelor termice de putere mică și medie (de la 50 kW până la 10 MW), unele dintre care se proiectează ca centrale - modul conduce la apriția problemei distribuirii sarcinii intre unitățile de generare, iar în cazul utilizării unei singuri unități, dar dotată cu ansambluri de arzătoare conduce la necesitatea reglării sarcinii fiecărui arzător

Sarcina termoenergetică a obiectelor de încălzire, nefiind constantă, variază pe durata sezonului de încălzire, depinzând de temperatura mediului exterior și proprietățile obiectelor. Necesitatea optimizării consumului de combustibil prin organizarea corectă a arderii, diminuarea poluării mediului, impune automatizarea complexă a centralelor termice.

Recent, pentru automatizarea centralelor termice/electrice se utilizează, de regulă, câteva contururi de reglare, inclusiv conturul de cazane, care funcționează în regim "cascadă" [64, 69 ÷ 71, 73, 74, 102, 107, 148, 174], care și în prezent are o utilizare largă cunoscută sub denumirea control în cascade a arzătoarelor.

Utilizarea arzătoarelor cu una sau două trepte, impune funcționarea lor în mod "Start/Stop" [$70 \div 74$], care necesită operații de pre - și post-ventilare a cazanelor în conformitate cu cerințele normative în vigoare [44, 76]. Aceste operații de ventilare duc la un consum excesiv de combustibil (în depință de frecvența acestor operații). Concomitent în acest context de probleme de ordin tehnogen – se ține cont de persistența riscuri de pericol, incidente, avarii.

Problema organizării proceselor tehnologice în sisteme termoenergetice în scopul minimizării consumului de gaze, la fel și evitarea uzurii accilerate a utilajului, inclusiv, fiabilitatea este dependentă de mai mulți factori. Utilizarea arzătoarelor de putere variabilă crează doar premise pentru reducerea consumului excesiv de combustibil gazos [11, 13, 18, 75]. Din aceste considerente se prezintă actualitatea problemelor ce se referă la studierea lor dar și elaborarea metodei de control a puterii integrale a arzătoarelor adecvată pentru diverse regimuri a exploatării, având la bază principiul de automatizare a proceselor de dirijare în comun cu instalația în aceste condiții.

În rezultatul studiului proceselor tehnologice a mai multor centrale termice de putere mică, medie, s-a elaborat metoda de control a puterii sumare a arzătoarelor [12 ÷ 14, 17, 18, 35], care se bazează pe următoarele condiții și criterii:

- 1. Centrala termică are un număr limitat de arzătoare $N_{arz} = 2 \div 10$;
- 2. Fiecare arzător poate să-și varieze puterea, fiind activ între P_{min} și P_{max} ;

3. Puterea optimă de funcționare a fiecărui arzător se află în limitele $0.65P_{max} < P_{opt} < 0.85P_{max}$;

4. Toate arzătoarele trebuie monitorizate pentru a asigura echilibrul gradului lor de uzare;

5. Orice avarie a unui arzător duce la oprirea lui imediată și relansarea altuia cu o putere curentă echivalentă;

6. 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 cazanilor. Metoda de control cu un grup de arzătoare are ca scop activarea arzătoarelor în orice etapă, care pot să acopere sarcina curentă, fiind la puterea lor optimă, respectând condițiile și criteriile enumerate mai sus $[12 \div 14, 17, 18, 35]$.

Metoda se realizează printr-un set discret de stări de funcționare-staționare a arzătoarelor, cu reguli strict definite de trecere dintr-o stare în alta. Metoda de control servește ca fundament pentru crearea unor algoritmi de automatizare a acestui proces. Metoda aceasta se va utiliza și pentru comanda de funcționare a instalației cu două arzătoare, având ca scop elucidarea sensului metodei și extinderea pentru cazul dirijării a unui număr mau mare de arzătoare. În tabelul 4.3 se reflectă stările de funcționare-staționare posibile în care se vor afla arzătoarele:

- *S*₀ stare inițială, în care ambele arzătoare staționează;
- S_1 starea, în care arzătorul 1 funcționează la putere optimă, iar al doilea este oprit;
- S_2 starea, în care arzătorul 2 funcționează la putere optimă, iar primul este oprit;
- S_{12} starea, în care ambele arzătoare sunt în funcție;
- S₁₀ starea, în care arzătorul 1 funcționează la putere optimă, iar al doilea funcționează la putere minimă posibilă;
- S₂₀ starea, în care arzătorul 2 funcționează la putere optimă, iar primul funcționează la putere minimă posibilă.

Din oricare stare concretă există anumite condiții de trecere în altă stare. De exemplu, pentru a trece din starea S_0 în starea S_1 , este necesară realizarea comenzii "Start cu un singur arzător" și durata de funcționare a primului arzător trebuie să fie mai mică decât la a doilea sau pentru a trece din starea S_1 în starea S_{12} , este necesară condiția $P_{sum} > 0.85 P_1^{max} \& T_{caz1} < T_{com}$, adică puterea necesară curentă este mai mare decât puterea optimă a primului arzător și concomitent temperatura agentului în cazan este mai joasă ca valoarea temperaturii de referință, unde: P_{sum} - puterea sumară a arzătoarelor active;

 P^{max} - puterea maximă a arzătorului;

 T_{caz1} , T_{com} - temperatura curentă și de referință a agentului termic în cazan.

Tabelul 4.3. Starea arzătorului și condițiile de transfer

Starea curentă	Acțiuni în starea curentă	Condiții de transfer	Cod condiție	Starea următoare	Explicații
		Comanda "Stop"	CO	SO	Ambele arzătoare staționează.
	Arz. 1 = OFF &	Comanda "Start 1 Arz" & Cont 2 > Cont 1.	<i>C010</i>	S1	Se lansează Arz. 1, până $P_{sum} < 0.85 P_1^{max}$ & lipsa alarme la Arz.1
50	Arz. $2 = OFF$	Comanda "Start 1 Arz" & Cont 1 > Cont 2.	<i>C020</i>	<i>S2</i>	Se lansează Arz. 2, până $P_{sum} < 0.85 P_2^{max}$ & lipsa alarme la Arz.2
		Comanda "Start 2 Arz"	<i>C02</i>	<i>S12</i>	Se lansează Arz.1 și Arz.2.
	Arg 1 - ON g	$P_{sum} < 0.85 P_1^{max}$ & lipsa alarme Arz.1	C1	<i>S1</i>	Funcționează Arz. 1 dacă $P_{sum} < 0.85 P_1^{max}$ & lipsa alarme la Arz.1
S1	AIZ. $1 - ON \alpha$ Arz $2 = OFF$	Alarme Arz.1	C12	S2	Se trece la Arz.2, dacă Arz.1 s-a avariat.
	7112.2 011	$P_{sum} > 0.85 P_1^{max} \& (T_{c1} < T_{com})$	C112	<i>S12</i>	Se lansează și Arz.2, dacă nu ajunge putere și $T_{c1} < T_{com}$.
	Arz. $1 = OFF \&$ Arz. $2 = ON$	$\begin{array}{l} \text{Psum} < 0.85 \text{ P}_2^{\text{max}} \& \text{ lipsa alarme} \\ \text{Arz.2} \end{array}$	<i>C</i> 2	S2	Funcționează Arz. 2, dacă $P_{sum} < 0.85 P_2^{max}$ & lipsa alarme la Arz.2
S2		Alarme Arz.2	C21	<i>S1</i>	Se trece la Arz.1, dacă s-a avariat.
		$P_{sum} > 0.85 P_2^{max} \& (T_{c2} < T_{com})$	C212	<i>S12</i>	Se lansează si Arz.1 dacă nu ajunge putere si $T_{c2} < T_{com}$.
		Arz. 2 = Avarie	C121	<i>S1</i>	Se trece la Arz.1, dacă s-a avariat Arz.2
		$(P_{sum} < 0.6 P_1^{max}) \& T_{c1} > T_{com} \& T_{c2} >= T_{com} \& (P_1^{max} >= P_2^{max})$	C1210	S0Ambele arzătoare staționează.S1Se lansează Arz. 1, până $P_{sum} < 0.85 P_1^{max}$ & lipsa alarme la Arz.1S2Se lansează Arz. 2, până $P_{sum} < 0.85 P_2^{max}$ & lipsa alarme la Arz.2S12Se lansează Arz. 1 și Arz.2.S12Se lansează Arz. 1 dacă $P_{sum} < 0.85 P_1^{max}$ & lipsa alarme la Arz.1S2Se trece la Arz.2, dacă Arz.1 s-a avariat.S2Se trece la Arz.2, dacă Negum < 0.85 P_2^{max} & lipsa alarme la Arz.2S1Se trece la Arz.1, dacă s-a avariat.S2Se trece la Arz.1, dacă s-a avariat.S1Se trece la Arz.1, dacă s-a avariat.S1Se trece la Arz.1, si Arz2 suspendat, dacă $P_{sum} < 0.60$ P1max, Temp. în cazane > T_{com} si $P_1^{max} < P_2^{max}$.S2Se trece la Arz.2 i Arz 1 suspendat, dacă $P_{sum} < 0.60$ P_2 ^{max} , Temp. în cazane > T_{com} si $P_1^{max} < P_2^{max}$.S12Se trece la Arz.2 i Arz 1 suspendat, dacă $P_{sum} < 0.60$ P_2 ^{max} , Temp. în cazane > T_{com} si $P_1^{max} < P_2^{max}$.S2Se trece la Arz.2 i Arz 1 suspendat, dacă $P_{sum} < 0.60$ P_2 ^{max} , Temp. în cazane > T_{com} si $P_1^{max} < P_2^{max}$.S12Se trece la Arz.2 i Arz 1 suspendat, dacă $P_{sum} < 0.60$ P_2 ^{max} .S12Se trece la Arz.2 i a Arz 1 dacă s-a avariat Arz.1S2Se trece la Arz.2 i Arz 1 suspendat, dacă $P_{sum} < 0.60$ P_2 ^{max} .S12Functionează ambele arzătoare.S13Se trece la Arz.2 i a Arz	
S12	Arz. $I = ON \&$	Arz1. = Avarie	<i>S2</i>	S2	Se trece la Arz.2 dacă s-a avariat Arz.1
	Arz. $2 = ON$	$\begin{array}{l} (P_{sum} < 0.6 \ P2max) \& \ (T_{c1} > T_{com} \\ \& \ T_{c2} >= T_{com}) \& \ (P_1^{max} < P_2^{max}) \end{array}$	<i>S</i> 2	<i>S2</i>	Se trece la Arz.2 si Arz 1 suspendat, dacă $P_{sum} < 0.6$ P_2^{max} , Temp. în cazane $> T_{com}$ si $P_1^{max} < P_2^{max}$.
		In caz contrar	<i>C12</i>	<i>S12</i>	Functionează ambele arzătoare.
		Arz. 2 = Avarie	<i>S1</i>	<i>S1</i>	Se trece la Arz.1 dacă s-a avariat Arz.2
S10	Arz. $1 = ON \&$	$P_{sum} > 0.85 P_1^{max} \& (T_{c1} < T_{com})$	<i>S12</i>	<i>S12</i>	Se relansează și Arz.2 dacă nu ajunge putere și $T_{c1} < T_{com}$.
	Arz. 2 = Pmin	Arz1. = Avarie	S2	S2	Se trece la Arz.2 dacă s-a avariat Arz.1
		In caz contrar	<i>S10</i>	S10	Funcționează ambele cazane, însă Arz 2 la P_{min}

Modelul grafic al controlului arzătoarelor este prezentat în figura 4.14, care reflectă tot ansamblul de stări și condiții de transfer.

Numărul de stări ale modelului se determină cu formula:

$$N_s = N_{arz}^2 + 2, (4.24)$$

unde:

N_s - numărul de stări posibile;

Narz - numărul de arzătoare

Este evident, că numărul stărilor crește considerabil cu creșterea numărului de arzătoare, de



Fig. 4.14. Diagrama stărilor de comandă cu două arzătoare.

exemplu, pentru patru arzătoare vom avea 18 stări.

De aici, se observă că controlul manual (de un operator/om) este foarte complicat, practic irealizbil, ceea ce constituie ca argument necesitatea elaborării algoritmului de comandă cu regimurile de funcționare a arzătoarelor instalației termice și realizării unui sistem de reglare automată adaptat la condițiile de funcționare a instalației la sarcini variabile.

În baza modelului prezentat pot fi elaborate mai multe algoritme de realizare a sistemelor de reglare automată a regimului de funcționare a instalațiilor termice dotate cu mai multe arzătoare. În baza rezultatelor simulărilor matematice s-a elaborat un algoritm de comandă a puterii pentru un grup arbitrar de arzătoare. De regulă, numărul de arzătoare ce formează grupul pentru algoritmul propus este limitat din punct de vedere a practicilor de proiectare și soluțiilor constructive de amplasare a arzătoarelor în focarul instalației termice, dar nici de cum din punct de vederea a obținerii soluției teoretice, ce se referă la capacitățile algoitmului elaborat de comandă cu arzătoarele. Pentru determinarea numărului de arzătoare active ce vor funcționa în regim optim și se va asigura minimizarea numărului de opriri ale arzătoarelor servește minimizarea consumului integral de gaze naturale. Datele inițiale pentru algoritmul propus sunt următoare:

- N_{arz} numărul de arzătoare din grup;
- P_i^{max} puterea maximă de funcționare a arzătorului;
- P_i^{min} puterea minimă de funcționare a arzătorului;
- k₁, k₂ coeficienții, care reflectă limitele puterii optime ale arzătorului față de puterea maximă (de regulă, e stabilit că k₁ = 0,65 şi k₂ = 0,85);
- T_{caz} temperatura curentă a agentului, în cazanul respectiv arzătorului;
- T_{com} temperatura de referință a agentului, în cazanul respectiv arzătorului.

În scopul diminuării consumului excesiv de combustibil, algoritmul creat determină sarcina curentă necesară pentru centrală și redistribuie sarcina separat pe cazane active, recalculează puterea de referință pentru fiecare arzător și ține cont de parametrii individuali ai arzătoarelor cu respectarea următoarelor condiții:

- puterea arzătoarelor trebuie să se mențină în limitele $(0,65\div0.85)P_{max}$;
- arzătoarele se opresc complet numai ca excepție, iar în celelalte cazuri se impune funcționarea la putere minimă P_{min} .

În figura 4.15 este prezentată structura algoritmului eleborat pentru comanda cu arzătoarele instalației termice. Se determină lista de arzătoare disponibile din numărul total de arzătoare. Se verifică, dacă este dată comanda "Start" - se trece la realizarea algoritmului propriu-zis, în caz contrar – se vor opri toate arzătoarele. Pentru realizarea algoritmului, inițial se determină sarcina curentă necesară în baza parametrilor temperaturii curente a agentului termic și temperatura de referință. Apoi se verifică corespunderea puterii sumare a arzătoarelor în funcție de sarcinile curente 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 respectiv arzătorul ve fi trecut 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 automat la putere minimă.



Fig. 4.15. Schema-bloc a algoritmului de control al puterii sumare a unui grup de arzătoare.

Verificarea algoritmului propus s-a efectuat prin simularea regimurilor instalației termice conform următoarei metode.

Se selectează valoarea temperaturii de referință pentru agentul termic, se variază într-un diapazon limitat temperatura agentului termic pentru fiecăre cazan și se determină puterea umară, apoi se aplică algoritmul pentru a determina, care arzătoare să funcționeze și în ce regim de putere.

Se expun două cazuri de simulare. În primul caz se simulează funcționarea unei centrale termice dotată cu 3 arzătoare cu puterea: P_1 = 650kW, P_2 = 650 kW, P_3 = 250 kW. Sarcina termică a obiectului simulat variază (în mod special) între 480÷1050 kW pe o durată de 6 ore.

Programul determină, care arzătoare și în ce regim trebuie să funcționeze: cu putere minimă P_{min} , sau cu puterea optimă, P_{opt} .

În rezultat, se obține puterea sumară a centralei și se compară cu sarcina solicitată.

Exemplu cu rezultatele monitorizării puterii a trei arzătoare, pentru cazul examinat este prezentat în figura 4.16, din care reiese, că variația sarcinii se acoperă prin funcționarea primului arzător în limitele optime, iar al doilea arzător – dezvoltă o putere sub nivelul optim numai pentru a acoperi necesarul de putere al primului arzător la varierea sarcinii, iar al treilea se menține permanent la putere minimă.

În cazul doi se simulează funcționarea unei centrale termice dotată cu 3 arzătoare de puterea: $P_1 = 850 \text{kW}, P_2 = 750 \text{kW}, P_3 = 650 \text{kW}.$

Sarcina termică a obiectului simulat variază (în mod special) între 980÷2250 kW pe o durată de 6 ore. În mod similar cu cazul precedent, se determină care arzătoare și în ce regimtrebuie să funcționeze:cu putere minimă P_{min} sau putere optimă, P_{opt} .

În rezultat se obține puterea sumară a centralei și se compară cu sarcina necesară.

Un exemplu de funcționare a centralei cu trei arzătoare în diapazonul de variere a arcinii indicate este prezentat în figura 4.17, din care, în rezultatul studiului reiese, că variația sarcinii se suprapue prin funcționarea primului arzător la puterea maximă în limită optimă, al doilea și al treilea arzător – dezvoltă o putere pentru a compensa necesarul de putere condiționat de devierea sarcinii termice cu menținerea regimului optim de funcționare a primului arzător cu trecerea arzătoarelor doi și trei în regimul permanent la putere minimă.

Criteriu de calitate a funcționării algoritmului servește devierea puterii sumare a arzătoarelor în comparare cu valoarea sarcinii solicitate, calculată teoretic, iar în cazul simulărilor pentru regimul selectt de fluctuare a sarcinii (în realitate fluctuațiile sunt cu mult mai mici și mai lente).



Fig. 4.16 Diagrama variației sarcinii obiectului puterii sumare și puterii arzătoarelor.



Fig. 4.17 Diagrama variației sarcinii obiectului puterii sumare și puterii arzătoarelor.

Aceasta permite estimarea gradului de flexibilitate a algoritmului de a se alinia acestor devieri a sarcinii.

Rezultatele testărilor experimentale ale algoritmului propus pentru dirijarea cu regimul de funcționare a centralelor termice la sarcină variabilă au demonstrat o diferență de 2-:-7% dintre puterea sumară a arzătoarelor și sarcina curentă solicitată de către consumator.

Acest algoritm este realizat în sisteme distribuite de comandă de tip DO-02 [26] pentru

centrale termice, dar se recomandă spre utilizare și în alte sisteme similare.

Rezultatele testărilor indică la faptul, că acest algoritm asigură un consum mai redus de gaze în comparare regimul de funcționarea constant (1-2 trepte) cu modul de comandă "în cascadă" sau "start/stop". Aceasta se datorează faptului alinierii puterii sumare a arzătoarelor de sarcina necesară, precum și prin excluderea opririi complete a arzătoarelor.

4.4. Estimarea efectului economic a implementării tehnologiei elaborate de funcționare în regimul de variere a sarcinii la arderea gazelor naturale

Consumul mare de gaze naturale în industrie și alte ramuri ale economiei, majorarea enormă a prețurilor impune revizuirea tehnologiilor tradiționale de funcționare și aplicarea a noi abordări a problemei de generare a energiei termice, electrice prin arderea gazelor, care ar permite atât ridicarea randamentului, respectarea normelor ecologice și securității tehnice în exploarea instalațiilor termice.

Implementarea rezultatelor cercetărilor în proiectarea arzătorului și tehnologia de funcționare la sarcină variabilă permite obținerea unui efect economic substanțial.

Efectul economic al implementării rezultatelor tezei constă din următoarele componente:

- micşorarea volumului consumului de gaz, datorită menținerii stricte a raportului aer-gaz pe tot diapazonul de variere a puterii arzătorului;
- micșorarea volumului consumului de gaz, datorită reglării puterii arzătorului în funcție de temperatura exterioară, temperatura internă și gradul pierderilor de căldură a obiectului;
- minimizarea uzurii arzătoarelor, respectiv şi cazanelor în rezultatul distribuției puterii arzătoarelor în centrala termică.

Estimarea efectului economic se poate face pentru mai mulți factori ce determină rezultatele funcționării arzătoarelor în cazul sarcinii variabile.

În primul caz efectul economic este determinat de micșoarea volumului consumului de gaz, datorită menținerii stricte a raportului aer-gaz în toate regimurile arzătorului.

Rezultatele cercetărilor experimentale au demonstrat, că consumul de gaz se micșorează la menținerea strictă a excesului de aer în toate regimurile arzătorului la nivel de 2,5-:-4,0%.

Vom determina efectul economic, bazându-ne pe volumul de consum mediu de gaz economisit pe parcursul unei ore și volumul de producere a arzătoarelor propuse în teză, reieșind din capacitățile de producere a acestor arzătoarede către firma "Romany Gaz Group" (figura 4.18):

$$E = \Delta Q_{med} \cdot N_{arz} \cdot C_{gaz}, [\text{Lei/h}]$$
(4.25)

unde:

 ΔQ_{med} - volumul mediu de gaz economisit într-o oră pe un arzător;

 N_{arz} - numărul de arzătoare;

 C_{gaz} - costul gazului [lei/m³].

Costul gazelor naturale (tabelul nr.4.4.1) în bază volumul de consum mediu de gaz într-o oră la capacitatea medie a arzătoarelor 750 kW, aplicând formula (4.25), constituie : E=536250, [lei/h], unde . $Q_{med}=65 \ m^3/h$ - volumul mediu al gazului consumat în tehnologia precedentă; $N_{arz}=1500$ bucăți, $C_{gaz}=5.5 \ \text{lei/m}^3$.

La aplicarea arzătoarelor elaborate și a algoritmului de dirijare cu puterea arzătoarelor se asigură la nivelul puterii medii sumare de 750 kW o economie de gaze naturale la nivel de cca 13 m^3/h .

În tabelul 4.4.1 se prezente pentru varianta examinată economia de la reducerea consumuluide aze aturale pentru tehnologia de ardere elaborată:

Τ	abei	lul	nr.	4.	4.	1

Nr. arzătoare produse și instalate la obiectele din sectorul energetic	Puterea medie a arzătoarelor Pw, kW	Consum mediu de gaze naturale de un arzător Qgaz, m ³ /h	Volumul reducerii consum.gaze naturale, m ³ /h	Costul gazelor naturale, (cost mediu) Lei/ m ³	Efectul economic, Lei/h
1500	750	65	13	5.5	107250

Calcularea pe perioada de studiu inițial pentru sezonul de încălzire, aplicând formula (4.25), calculînd efectul economic în baza reducerii consumului de gaz sau obținut următoarele rezultate (tabelul 4.4.2), de la 2931,6 Lei/h pe primul sezon de încălzire studiat până la 10796,8 Lei/h în al doilea sezon de încălzire studiat.

Anul	Nr. arzătoare,	Putere arzătoare Pw, <i>kW</i>	Consum mediu <i>Qgaz, m³/h</i>	Reducere de consum, m^3/h	Cost gaz, Lei/ m^3	Efectul, <i>Lei/h</i>
	22	40 - 120	7,5	1,5	1,4	46,2
2003	67	250 -1000	65	13	1,4	1219,4
	17	1500 - 5000	350	70	1,4	1666
	48	40 - 120	7,5	1,5	1,4	100,8
2004	65	250 -1000	65	13	1,4	1183
	14	1500 - 5000	350	70	1,4	1372
	33	40 - 120	7,5	1,5	1,6	79,2
2005	29	250 -1000	65	13	1,6	603,2
	29	1500 - 5000	350	70	1,6	3248
	42	40 - 120	7,5	1,5	2,9	182,7
2006	37	250 -1000	65	13	2,9	1394,9
	11	1500 - 5000	350	70	2,9	2233
	26	40 - 120	7,5	1,5	3,2	124,8
2007	165	250 -1000	65	13	3,2	6864
	17	1500 - 5000	350	70	3,2	3808

Tabelul 4.4.2. Efectul economic în baza reducerii consumului de gaz

Notă:

Conform tarifelor stabilite la gazele naturale adoptate de Consiliul de administrație al Agenției Naționale pentru Reglementare în Energetică pe perioada anilor 2003- 2015 (Anexa nr. 1, pagina) tariful la gazele naturale furnizate altor consumatori finali, inclusiv centralelor termice pentru producerea și aprovizionarea cu energie termică a consumatorilor prin sisteme de alimentare locale conectați la rețelele de distribuție în dependent de presiune (înaltă, presiune medie, presiune joasă) se adoptă valorea medie a tariful la gazele naturale furnizate producătorilor de energie termică consumatorilor casnici și necasnici.

A doua modalitate de sporire a eficienței ce are impact asupra efectului economic ca urmare a scăderii consumului de gaz se datoreză reglării puterii arzătorului în funcție de temperatura exterioară, temperatura interioară și nivelul pierderilor de căldură a obiectului. Determinarea valorii acestei componente are la bază compararea consumului de gaze în cazul cu reglare a puterii arzătoarelor în funcție de sarcină și alt caz fără reglare pe câteva exemplare de obiecte.



Fig. 4. 18. Volumul de producție de arzătoare tip "DAVA" al firmei "Romany Gaz Group"

Notă: Numărul de arzătoare produse de firma "Romany Gaz Group" la etapa anului 2015 constituie total 1500 de arzătoare de diferite capacități (pentru calculare se utilizează valoarea medie a capacității (Pw) arzătorului -750 kW, [lei/h].

Parametrii tehnici, consumul tehnologic de gaze naturale combustibile la producerea energiei termice ale arzătorului cu sarcină variabilă de tip "DAVA" Pentru calcul sa utilizat datele anului cu el mai înalt indice de producere a arzătoarelor(2006).

În perioada sezonului rece de încălzire, sarcina termică a obiectelor de încălzire (a consumului) este foarte dinamică. Sarcina termică variază puternic de la sezon la sezon, inclusiv pe parcursul unui sezon depinzând de temperatura mediului exterior pe parcursul perioadei sezonului de încălzire; de starea tehnică a obiectului (izolarea termică).

În figurile 4.19 și 4.20 se prezintă variația temperaturii mediului exterior (reale, la etapa de studiu) pe perioada cea mai rece a sezonului de încălzire - în lunile decembrie-februarie a sezonului de incalzire - în baza datelor statistice meteorologice (reale, la etapa de studiu) [170], din care se observă fluctuații puternice a valorilor de temperatură a mediului.

Se expune calculul efectului economic pentru două obiecte reale din orășelul Strășeni:

1) bloc de locuit din piatră (calcaroăsă);

2) școală din panouri (de beton armat). Ambele obiecte sunt încălzite de centrale termice de putere maximă 400 kW.

S-a monitorizat consumul de gaze pe parcursul a trei luni: decembrie, ianuarie și februarie, consecutiv în două sezoane de încălzire, aplicând tehnologia de reglare a puterii arzătoarelor.

Se compară rezultatele consumului de gaze pe aceste obiecte atât în cazul de menținere a puterii variabile, cât și în cazul menținerii puterii constante.



Fig. 4.19 Variația temperaturii mediului extern în Chișinău în sezonul de incalzire





S-a monitorizat consumul orar de gaze Q_1^j , Q_2^j și Q_3^j , apoi s-a determinat consumul sumar pe întregul sezon de încălzire (vezi figura 4.21, 4.22):

$$Q_{1}^{\Sigma} = \sum_{j}^{n} Q_{1}^{i}; \ Q_{2}^{\Sigma} = \sum_{j}^{n} Q_{2}^{i}; \ Q_{3}^{\Sigma} = \sum_{j}^{n} Q_{3}^{i};$$
(4.26)

unde: Q_I^{j} - consumul orar curent pe obiectul cu pierderi mici de căldură;

 Q_2^{j} - consumul orar curent pe obiectul cu pierderi mari de căldură;

 Q_{β}^{j} - consumul orar curent pe ambele obiecte la menținerea puterii constante.



Fig. 4.21. Rezultatele monitorizării consumului orar pe ambele obiecte în perioada în sezonul de incalzire.



Fig. 4.22 Rezultatele monitorizării consumului orarde gaze pe ambele obiecte în perioada în sezonul de incalzire.



Fig. 4.23 Consumul sumar de gaze în sezonul de încălzire



Fig. 4.24 Consumul sumar de gaze în sezonul de încălzire.

Din figurile nominalizate se observă, că consumul orar curent pe ambele obiecte Q_I^{j}, Q_2^{j} în cazul reglării puterii, variază în strictă dependență de temperatura exterioară, pe când consumul orar curent pe ambele, obiectul Q_{3j} în cazul lipsei de reglare se modifică numai la variația semnificativă a temperaturii exterioare și rămâne mai înalt decât Q_I^{j}, Q_2^{j} . Aplicând relația (4.26) se obține consumul sumar în toate trei cazuri pe ambele sezoane, rezultatele cărora sunt prezentate în mod grafic în figurile 4.23, 4.24 și 4.25.

Aceste rezultate demonstrează că modul de reglare a puterii arzătoarelor cu putere variabilă, propus în lucrare este cu mult mai eficient decât modul menținerii puterii constante a arzătoarelor cu funcționare în 1 sau 2 trepte.



Fig. 4.25. Consumul sumar în sezonul de încălzire.

1. În privința consumului instantaneu de gaze (figurile 4.21 și 4.22):

- se consumă momentan mai puțin gaze cu 6 -:- 12% în blocuri cu pierderi mari de căldură și cu 4 -:- 10% în blocuri cu pierderi medii în sezon foarte rece, după cum a fost sezonul de încălzire 2005/2006;
- se consumă momentan mai puțin gaze cu 7 -:- 15% în blocuri cu pierderi mari de căldură și cu 5 -:- 12% în blocuri cu pierderi medii în sezon cald.

2. În privința consumului cumulativ de gaze (figurile 4.23, 4.24 și 4.25.), ținând cont de prețul gazelor de 3,0 lei/m³ se poate constata :

se consumă integral mai puțin gaz cu 16 mii m³ (echivalent financiar la tarifele respective ale gazelor naturale - 48.000 lei) în blocuri cu pierderi mari de căldură și cu 24 mii m³ (echivalent 72.000 lei) în blocuri cu pierderi medii în sezonul foarte rece;

 se consumă integral mai puțin gaze cu 6 mii m³ (echivalent 18.000 lei) în blocuri cu pierderi mari de căldură și cu 14 mii m³ (echivalent 42.000 lei) în blocuri cu pierderi medii în sezonul considerat cald.

4.5. Recomandări privind proiectarea arzătoarelor cu sarcină variabilă

Ținând cont de datele oficiale din cu privire la experiența pe plan mondial, inclusiv rezultatele testărilor realizate în cadrul tezei și a celora care revin din experiența de implementre a arzătoarelor elaborate, se pot formula următoarele cerințe la care trebuie să corespundă arzătoarele de gaze ce funcționează la puterea termică variabilă, inclusiv să asigure:

- fiabilitate, securitate înaltă în exploatare;
- arderea completă a gazului, în toate regimurile de funcționare și la orice putere admisibilă;
- rezistență gazodinamică joasă atât în canalul de aer, cât și canalul de gaz;
- menținerea condițiilor sigure de aprindere a gazului și stabilitate a flăcării;
- corespunderea caracteristicilor flăcării cerințelor proceselor tehnologice;
- posibilitatea reglării puterii arzătorului și caracteristicilor flăcării la funcționare cu sarcină variabilă;
- comoditate în deservire și profilactică;

Este evident, că a satisface totalmente aceste cerințe este destul de deficil, deoarece ele au un caracter contradictoriu. Ca exemplu, majorarea diametrului atât a conductei de aer, cât și cea de gaz, cu scopul micșorării rezistenței hidraulice la un nivel mai jos de limita stabilită duce la formarea zonelor de neuniformitate a vitezelor aerului și gazului, iar amestecul devine neomogen și, ca urmare, arderea va fi incompletă și instabilă la puteri mici. Pe de altă parte, aceasta duce la micșorarea limitelor de variație a puterii arzătorului. La micșorarea dimensiunilor de gabarit ale arzătorului, inclusiv, a diametrului conductei de aer și de gaz, cu menținerea consumului de aer și gaz mare sau majorarea intensității de rotire a fluxului de aer – vor duce la majorarea pierderilor gazodinamice. Aceste cerințe se pot respecta în mod diferit la diverse tipuri de arzătoare. Pe de altă parte, o influență semnificativă o au dimensiunile și proprietățile termotehnice ale focarului în care va fi utilizat arzătorul. În dependență de regimul de exploatre , indicii tehnici ai instalației pot apare și alte cerințe suplimentare.

Întru asigurarea corespunderii cerințelor prescrise privind asigurarea regimului optimal de ardere a gazelor naturale în diverse instalații termice se pot formula unele recomandări privind proiectarea arzătoarelor, având o concepție concretă despre tipurile și caracteristicile arzătoarelor pentru a adopta și realiza cele mai rezonabile soluții:

- Asigurarare racordării caracteristicilor flăcării şi procesului tehnologic pentru instalația termoenergetică concretă. Asigurarea condițiilor de racordare necesită cunoașterea aprofundătă şi cu înaltă precizie a particularităților schimbului de căldură a flăcării cu elementele instlației termice în cazul sarcinii variabile (regim tranzitoriu de funcționare), dar pentru determinarea acestor caracteristici practic nu există metode inginerești de calcul, ce impune aplicarea modelării fizice a proceselor de ardere a gazelor naturale în aceste condiții.
- 2. Caracterul evoluativ al sarcinii termice solicitate de consumator determină nu numai utiliarea unor arzătoare mai performante cu proprietăți de adaptare a puterii la schimbarea sarcinii, dar şi utilizarea sistemelor de reglare automată a regimului individual de sarcină a arzătoarelor din aceste insatalații ca unica soluție tenică rezonabilă de eficientizare a arderii gazelor naturle.
- 3. De asigurat productivitatea necesară a oricăror instalații termice (cazan) cu o gamă cât mai restrânsă de arzătoare de dimensiuni şi parametri tipizați. De regulă, cea mai importantă dimensiune tipizată este gura arzătorului (diametrul ieşirii), deşi gura arzătoarelor actualmente utilizate nu este standartizat. Totuşi, trebuie de ținut cont atât de experiența firmelor producătoare de arzătoare, cât şi de dimensiunile şi parametrii instalațiilor termotehnice, precum şi de realitatea curentă privind utilizarea centralelor termice de generare distribuită şi industrială. În acest context, pentru o clasificare profesională, normativă se poate recomanda:
 - divizarea arzătoarelor cu flux forțat de aer (cu ventilatoare) în următoarele grupe:
 - > arzătoare de putere mică: $P_w = 15 :- 120 \text{ KW};$
 - > arzătoare de putere medie: $P_w = 200 -:- 750 \text{ KW};$
 - > arzătoare de putere mare: $P_w = 1000 -:- 10000 \text{ KW};$
 - > arzătoare de putere excepțională: $P_w > 10$ MW.
 - de utilizat următoarele dimensiuni tipizate cu respectivele valori de limitare a puterii termice și consum de gaze (tabelul 4.5)
 - 4. Arzătoarele modulare cu putere variabilă pot avea un efect mai eficient şi pentru instalațiile cu mai multe arzătoare pentru a acoperi sarcina necesară. Pentru a satisfacere această condiție se recomandă, utilizarea arzătoarelor de diversă productivitate cu amplasarea lor în

partea de sus a instalației. Astfel de amplasare este mai eficientă și extinde diapazonul de lucru a instalației datorită faptului, că se îmbunătățește umplerea focarului cu produse de ardere. Acest efect este condiționat de faptul, că la arzătoarele cu productivitate mai mică și lungimea flăcării este mai mică, ca urmare a acestei amplasări calea de circulație a gazelor până la ieșirea în coș este mai lungă – în rezultat schimbul de căldură, devine mai intens, în sezonul de incalzire, (Anexa 19).

5. Aceste recomandări sunt utile atât pentru faza de proiectare a arzătoarelor, cât și pentru cazul selectării unei soluții mai optime constructive de amplasare a arzătoarelor în instalția termică.

		Parametri					
Grup de	Puterea nominală,	Calibru,	Putere	Consum	Putere	Consum	
arzătoare	KW	mm	min,	min,	max, KW	max,	
			KW	m ³ /h		m ³ /h	
	$P_w = 15 \text{ KW}$	120	3,5	0,4	18	2,0	
Arzătoare de	$P_w = 40 \text{ KW}$	120	8,5	1,0	45	5,0	
putere mică	$P_w = 70 \text{ KW}$	145	15	1,8	85	9,0	
	$P_w = 120 \text{ KW}$	145	38	3,5	145	15,5	
	$P_w = 250 \text{ KW}$	145	60	6,5	300	32,5	
Arzătoare de	$P_{\rm w} = 350 \text{ KW}$	155	75	8,5	400	45,5	
putere medie	$P_w = 550 \text{ KW}$	165	85	13,0	600	64,5	
	$P_{\rm w} = 650 \text{ KW}$	165	95	15,0	690	75,0	
	$P_{\rm w} = 1000 {\rm KW}$	185	150	16,0	1150	125,0	
Arzătoara da	$P_{\rm w} = 2000 {\rm KW}$	200	190	20,0	2300	250,0	
nutere mare	$P_{\rm w} = 2500 {\rm KW}$	200	220	25,0	2800	305,0	
putere mare	$P_{\rm w} = 3000 {\rm KW}$	250	285	30,0	3350	365,0	
	$P_{\rm w} = 5000 \text{ KW}$	280	350	37,0	5250	570,0	

Tabelul 4.5. Arzătoare cu dimensiuni tipizate

4.6. Concluzii la capitolul 4

- 1. În baza analizei proprietăților diferitor algoritmi de reglare a puterii arzătoarelor s-a propus algoritmul de reglare descentralizată a puterii arzătoarelor, utilizând în calitate de parametri informativi temperatura tur şi retur a agentului termic în timp real pentru cazul utilizării regulatorului de tip proporşional, integru şi discret (PID), care include două bucle de reacție inversă. Procesarea semnalelor se realizează pentru intervale discrete de timp cu aplicarea metodei diferențelor finite la realizarea soft-ului sistemului de comandă.
- 2. A fost studiate caracteristicile dinamice ale soluților de realizare a regulatorului cu funcționarea doar a unei bucle de reacție inversă, cu ambele bucle pentru cazul, că parametrii acetor bucle nu s-au ajustat la particularitățile arzătoarelor comandate şi pentru cazul funcționării regulatorului PID în regim ajustat. Algoritmul şi soluția de realizare a regulatorului au fost testate experimental la dirijarea cu arzătoarele de tip "DAVA" cu diferite valori a puterii nominale a arzătoarelor şi insalațiilor termice 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.

- 3. A fost studiat experimental dinamica procesului de reglare a puterii arzătorului după algoritmul de comandă propus la evoluția aleatoare a consumului pentru valori discrete a temperaturii agentului termic în circuitul tur în banda de temperatură 60-80^oC. S-a stabilit, că calitatea procesului reglării parametrilor comandați este bună, inclusiv, în regimurile tranzitorii. Valoarea suprareglării temperaturii agentului termic la ieşire este sub 4%, iar a suprareglării valorii instantanee a puterii generate de către sursă în regim tranzitoriu se află în diapazonul de 9-17 %.
- 4. A fost propus procedeul de calcul a sarcinii termice a clădirii, ţinând cont de factorii de influenţă asupra echilibrului termic a clădirii, întru determinarea parametrilor sistemului de comandă cu puterea instalaţiei termice. S-a propus o abordare empirico-analitică de obţinere a soluţiei acestei probleme 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.

5. A fost elaborată schema de structură a regulatorului de tip PID și sa elaborat metodica de determinare experimentală a valorii mărimii de referință ce prezintă temperatura de ieșire a agentului termic, care este o funcție a caracteristicilor termice a obiectului încălzit: temperaturii exterioare și temperatura interioară în clădire. 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(mK). Rezultatele simulărilor matematice a regimului instalației termice au confirmat stabilitatea ridicată a temperaturii agentului termic la barele de ieșire pentru cazul alimentării clădirilor considerate cu izolare termică ridicată și redusă la varierea temperaturii exterioare zilnice. Rezultatele simulărilor sunt apte de utilzat la elaborarea arzătoarelor de gaze si a sistemelor

de comandă pentru îmbunătățirea calității procesului de ardere, deci și a eficienței instalațiilor de producere a căldurii.

6. A fost elaborată metoda și algoritmii de distribuție a sarcinii individuale a arzătoarelor asamblate în grup la centrale termice cu sarcină variabilă, având la bază următoarele criterii:

(a) numărul de arzătoare este limitat (2-10 bucăți);

(b) fiecare arzător permite reglare separată;

- (c) monitorizrea permanentă a arzătoarelor pentru supravegherea gradului de uzură;
- (d) substituirea automată a arzătorului neconectat autumat cu arzătorul de rezervă;

(e) minimizarea cazurilor de pornire/oprire prin asigurarea posibilității funcționării arzătoarelor la puterea termică minimală.

- 7. A fost elaborată metoda şi algoritmul de comandă (denumite de stare) cu funcționarea arzătoarelor asamblate în grup pentru un număr nelimitat de stări şi sistemul de reglare automată adaptat la condițiile de funcționare a instalației la sarcini variabile. În calitate de criteriu privind determinarea numărului minimal de opriri şi a numărului minimal de arzătoare în grup se utilizează minimul consumului integral de gaze naturale în sezonul de încălzire.
- 8. A fost elaborat şi realizat algoritmul şi sistemul de dirijare cu regimul de funcționare a arzătoarelor instalației termice, în funcție de sarcina curentă, prin acoperirea sarcinii solicitate de cel puțin de un arzător, care funcționează la sarcină optimală, iar fluctuațiile sarcinii sunt acoperite de alte arzătoare din grup.

- 9. A fost estimat efectul economic al utilizării tehnologiei elaborate de ardere a gazelor naturale determinat de menținerea riguroasă a exesului aer-gaz în limitele 2,5-:-4,0%, diminuării consumului de gaze naturale ca urmare a reglării puterii arzătoarelor în funcție de valorile reale ale temperaturii externe şi interne, precum şi de nivelul pierderilor de căldură a clădirii în timp real, micşorarea cheltuielilor de exploatre condiționate de uzura arzătoarelor. Pentru primele două componente, ținând cont de aria implementării arzătoarelor, efectul economic s-a estimat la nivel de cca 100 mii lei/h (în mediu la o instalație de 750kW). Sunt incluse date concrete din procesul de exploatare pentru perioada sezonului de îcălzire, ce se referă la efectul economic privind utilizarea arzătoarelor elaborate la producerea căldurii de către diverse instalații cu puterea intre 40 kW şi 5 MW, care confirmă rezonabilitatea implementării tehnologiei cu regim de sarcină variabilă. Ca exemplu, în cazul centralelei 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 şi redusă) şi condițiile climaterice (sezon rece şi relativ cald).
- 10. Au fost elaborate recomandări privind proiectarea arzătoarelor cu sarcină variabilă și utilizarea lor în instalațiile de producere a energiei termice de diferită putere.

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

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

Aspecte teoretice și practice.

1. Importanța majoră acordată aspectelor teoretice și practice de eficientizare a consumului de gaze naturale în instalațiile de generare distribuită a energiei termice bazată pe elaborarea și perfecționarea arzătorului de gaze pentru funcționare cu sarcină variabilă, întru reducerea consumului de gaze naturale și a impactului asupra mediului ambiant este încă o dovadă a faptului că în domeniul dat mai există cîmp de investigații. Calitatea arderii gazelor trebuie să fie percepută ca un întreg, dar și tratată ca o entitate singulară la generarea distribuită a ergiei termice, pentru a se putea asigura o continuitate coerentă, de o eficiență maximă. Au fost sintetizate cu succes, determinandu-se condiitile optime de ardere calitativă, eficiența, fiabilitate. Atît eficiența cît și fiabilitatea avînd un rol hotărâtor în atingerea scopului lucrării: siguranța în alimentare, avantajul regimului de variere a sarcinii variabile în raport cu actualul regim constant de funcționare (*1-2 trepte*).

2. Au fost caracterizatate din punct de vedere structural si tehnologic că omogenitatea amestecului și stabilitatea flăcării este determinată de viteza de scurgere a amestecului aer-gaze din arzător, valoarea coeficientului de exces de aer, caracterul mișcării amestecului, diametrul gurii arzătoruluii, realizrea constructivă a stabilizatorului și alte particularități constructive; a fost obținută ecuația fenomenului formării amestecului aer-gaz. (p.2.3, Anexa nr. 7,8, 9).

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 ecuației Navier-Stokes în regim de turbulență, are ca urmare obținerea soluțiilor ce se deosebesc extrem de mult una de alta în zona valorii critice a numărului Reynolds;

4. S-a elaborat Metodica de dirijare a arzătorului, stabilind principiul de menținere a raportului de gaz-aer în regimuri variabile de funcționare a arzătorului, (Brevet, AGEPI), Anexa nr.7.

5. Sa constatat, ca modelele fizice să se elaboreze în baza rezultatelor cercetărilor experimentale şi cele din exploatare, în cazul proiectării unui arzător performant apt să funcționeze la sarcini variabile. Modelele fizice sunt relativ sumplu de realizat şi sunt mult apropiate de conidțiile de funcționare la sarcină variabilă (regim real) ale instlațiilor cu puterea termică 0.04-5,0 MW, utilizate pentru generare distribuită.

6. 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 și monitorizarea cămpului repartiției vitezelor prin măsurarea concentrației cotei "gazului în flacără". 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.

7. Au fost identificați principalii parametri constructivi ai arzătorului, care influențează asupra omogenității: 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 desfacere și lungimea flăcării.

8. 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 arzătrorului. S-a propus algoritmul și metoda de calcul a acetor mărimi, care se reduce la determinarea valorilor vitezei amestecului aer-gaz, excesului de aer α , vitezei medii a amestecului, dispersiei vitezei amestecului la ruperea flăcării.

9. A fost elaborată structura și realizat instalația pentru cercetarea experimentală a procesului de ardere la substituirea combustibililui gazos cu un flux de aer cald, metoda de cercetare experimentală a câmpului de repartiție a concentrației gazului în flacără și a influenței stabilizatoarelor asupra amestecului pentru mai multe tipuri de arzătoare cu puterea nominală 250-750 kW, bazată pe determinarea câmpului de temperaturi, măsurat de un ansamblu de traductori cu două grade de libertate, algoritmul de măsurare a omogenității amestecului, care include 7 etape de măsurare a valorilor a 4 valori: diametrul echivalent al stabilizatorului; viteza amestecului; distanța de la gura de ieșire a arzătorului; distanța de la axa arzătorului cu achiziționarea automată a rezultatelor măsurătorilor.

10. În rezultatul experimentelor efectuate la insrtalația confecționată, a fost confirmat cu aplicarea criteriilor Kohren, Fisher și Snedecor, că omogenitatea amestecului (pentru nivelul de încredere de 95%) este determinată de mărimile: 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 prin ce se asigură parametrii necesari ai gradulul de turbulență, vitezei de
scurgere, vitezei de diminuare a câmpului concentrației gazului, unghiului de desfacere și lungimii flăcării. Alți factori luați in considerare la realizarea studiului se pot clasifica ca o grupă de factori nesemnificativi.

11. A fost elaborată metoda și soft-ul de calcul a parametrilor arzătoarelor destinate pentru funcționare în instalații termoenergetice cu sarcină variabilă și schema de aplicare a arzătoarelor elaborate în minicentrale termice, care include algoritmul de reglare descentralizată a puterii arzătoarelor la utilizarea regulatorului de tip PID cu două bucle de reacție inversă și procesarea semnalelor pentru intervale discrete de timp cu aplicarea metodei diferențelor finite la realizarea soft-ului sistemului de comandă; (Certificat AGEPI, (*p.3*, Anexa nr.3,6,10).

12. Algoritmul și soluția 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 %.

13. 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).

14. A fost elaborată metoda și algoritmii de distribuție a sarcinii individuale a arzătoarelor asamblate în grup la centrale termice cu sarcină variabilă, având la bază următoarele criterii:
a) numărul de arzătoare este limitat (2-10 bucăți);

b) fiecare arzător permite reglare separată;

c) monitorizrea permanentă a arzătoarelor pentru supravegherea gradului de uzură;

d) substituirea automată a arzătorului la refuzul lui ce cel de rezervă;

e) minimizarea acțiunilor de pornire/oprire prin asigurarea posibilității funcționării

arzătoarelor la puterea termică minimală cu elaborarea și realizarea în formă de soft pe microcontroler a metodei și algoritmului de comandă (denumite de stare) cu funcționarea arzătoarelor asamblate în grup pentru un număr nelimitat de stări și sistemul de reglare automată adaptat la condițiile de funcționare a instalației la sarcini variabile.

15. 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 centralelei 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); evaluarea teoretică și rezultatele practice obținute și expuse în lucrare și implementate de către întreprinderea "Romanny Gaz Group" SRL la producerea arzătoarelor cu putere variabilă de tip "DAVA", testările în Sistemele Naționale de Certificare (Rep. Moldova, România, Ucraina, Rusia) potențează criteriile tehnice calitative de elaborare și gradul performant al instalației, înscriindu-se cerințelor cadrului normativ tehnic din domeniu - eficiență în exploatare, fiabilitate de grad înalt, eficacitate de consum, protecție ecologică, (An. nr.12-15).

Recomandări pentru implementare.

16. Ca rezultat al evaluarii teoretice și rezultatelor practice obținute și expuse în lucrare au fost următoarele:

 a) metoda de dirijare a arzătorului, stabilind principiul de menținere a raportului de gaz-aer în regimuri variabile de funcționare a arzătorului, (Brevet, AGEPI), [10, 16, 22, 34, 177], Anexa nr.7;

b) metoda și soft-ul de calcul a parametrilor arzătoarelor destinate pentru funcționare

în instalații termoenergetice cu sarcină variabilă și schema de aplicare a arzătoarelor privind proiectarea arzătoarelor cu sarcină variabilă și utilizarea lor în instalațiile de producere a energiei termice de diferită putere, recomandări implementate de către de întreprinderea "Romanny Gaz Group" SRL la producerea arzătoarelor cu putere variabilă de tip "DAVA", arzătoare ce asigură eficiență în exploatare, fiabilitate de garad înalt, eficacitate de consum, protecție ecologică, [10, 11, 20], Anexa nr. 8;

c) metoda și algoritmii de distribuție a sarcinii individuale a arzătoarelor asamblate

în grup la centrale termice cu sarcină variabilă, [14, 32], Anexa nr. 8;

d) programul de calcul a temperaturii cazanelor pentru optimizarea proceselor

tehnologice în sisteme termoenergetice, [17, 18, 21], Anexa nr. 8;

e) algoritmul și soluția de realizare a regulatorului de tip PID cu două bucle de reacție

inversă pentru comandarea (dirijarea) separată cu puterea de generare a fiecărui arzător din grupul instalației termice la varierea aleatoare a sarcinii.

Problema științifică rezolvată și expusă în lucrare include:

17. Identificarea și realizarea unei soluții inovative de confecționare a arzătorului apt să funcționeze stabil și sigur la sarcini termice variabile; elaborarea metodei de calcul a arzătoarelor cu distribuție optimală a concentrației gazului în flacără; a metodei de determinare a limitei de funcționare stabilă în dependență de valoarea vitezei calculate a amestecului, efectul pătrundere/rupere a flăcării arzătorului, [10,16,22, 23], inclusiv:

a) elaborarea algoritmului de calcul a limitelor de stabilitate a procesului de ardere în baza fenomenului de pătrundere și rupere a flăcării în/de la gura arzătrorului, fiind propus algoritmul și metoda de calcul a acetor mărimi;

b) vitezele de pătrundere și de rupere a flăcării se califică util de calculat în baza analizei statistice a ansamblurilor de date obținute experimental prin măsurători directe. S-a propus algoritmul de calcul a acetor mărimi;

c) calculul limitelor de stabilitate a procesului de ardere se reduce la determinarea

valorilor vitezei amestecului aer-gaz pentru volumele de gaz și aer (Vg și Va), coeficientul excesului de aer α , vitezei medii a amestecului, dispersiei vitezei amestecului la ruperea flăcării.

Drecții 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 singzaz, având ca scop determinarea regimurilor optimale de ardere eficientă a astfel de tip de combustibil gazos.

Bibliografie

- 1 Antonescu N., Stănescu P.D., Antonescu N.N. Procese de ardere bazele fizice și experimentale. Editura MATRIX București 2003.
- 2 Arzătoare automatizate de gaz de tip "DAVA". In: http://www.rgg.md/doc.arzro.html
- 3 Balanța de combustibil și energie, balanța energetică, balanța energiei electrice în economia națională în anii 1997-2004. In: http://www.statistica.md/
- 4 Bejan I., Balaban G., Automatizări și telecomenzi în energetică. București: Ed. Didactică și Pedagogică, 1976.
- 5 Bercea M. Bazele cercetării experimentale. Vol. 1. Iași: Universitatea tehnică, 1997
- 6 Berzan Vladimir. Energetica și electrofizica. Universitatea Academiei de Științe a Moldovei. Chișinău, 2014. 262p.
- 7 Centrale termice cu condensare cu arzător cu preamestec pentru gaze naturale . In: http://www.tehnicainstalatiilor.ro/articole/nr_11/nr11_art.asp?artnr=15
- 8 Cruceru M. Contribuții la intensificarea transferului de căldură în cazane, schimbătoare și recuperatoare, Universitatea Tehnică de Construcții București, Teza de doctorat, 1999.
- 9 Cu privire la activitatea industriei Republicii Moldova în ianuarie-martie 2007-2009.
 In: http://www.statistica.md/
- 10 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.
- 11 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.
- 12 Daud V. Controlul emisiilor poluante în baza efectului de ardere a gazelor naturale în câmp electric. In : Meridian Ingineresc, Nr. 4, 2006.
- 13 Daud V. Procedee şi algoritmi de reglare a puterii arzătoarelor în sisteme termoenergetice. In: Tezele conferinței anuale a doctoranzilor şi studenților UTM. – Chişinău, 17 noembrie 2006.
- 14 Daud V. Program de calcul a temperaturii cazanelor pentru optimizarea proceselor tehnologice în sisteme termoenergetice. In: Registrul de Stat a operelor ocrotite de dreptul de autor și drepturi conexe. Seria PC, Nr. 358/1411, *AGEPI*, 2007
- 15 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.
- 16 Daud V. Procedee și tehnici de stabilizare a proceselor de arderea gazelor în instalații cu putere variabilă. In : Meridian Ingineresc, Nr. 5, 2015.
- 17 Daud V., Nicu R. Power control algorithms of gas burner in thermoenergetic systems.
 In: Tezele Conferenței SIELMEN 2007, Chişinău, 2007.
- 18 Daud V., Nicu R. Procedee și algoritmi de reglare a puterii arzătoarelor în sisteme termoenergetice– In: Tezele Conferenței ICMCS 2007, Chișinău, 2007.

- 19 Daud V., Nicu R. Procedee şi dispozitive electronic de identificare a oscilațiilor termoacustice în arzătoarele de gaze. – In: Tezele Conferenței ICMCS 2007, Chişinău, 2007.
- 20 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 şi drepturi conexe. Seria OS Nr. 1667/1634, AGEPI, 2007.
- Daud V., R. Nicu. Procedeu de optimizare a proceselor tehnologice în sisteme termoenergetice. In: Tezele conferinței anuale a doctoranzilor și studenților UTM. – Chişinău, 17 noiembrie 2006.
- 22 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", Timişoara, 2011.
- 23 Daud V., Tonu V., Metodologia studierii performanțelor de realizare a procesului fizic în instalațiii de ardere de putere variabilă, Conferința tehnico-ştiințifică cu participare internațională "Instalații pentru construcții şi economia de energie", Ediția XIX, Iaşi, Romania,2011.
- 24 Directiva 2012/27/UE a Parlamentului European şi a Consiliului din 25 octombrie 2012 privind eficienţa energetică, de modificare a Directivelor 2009/125/CE şi 2010/30/UE şi de abrogare a Directivelor 2004/8/CE şi 2006/32/CE. www.justice.gov.md/file/.../32012L0027.pdf.
- 25 Hotărîrrea Guvernului 958/21.08.2007 Hotărîre cu privire la Strategia energetică a Republicii Moldova pînă în anul 2020 //Monitorul Oficial 141-145/1012, 07.09.2007
- 26 HUTTE. Manualul inginerului. Fundamente. București: Editura Tehnica, Ed. 29., 1995.
- 27 Ionescu R., Amarandei D. Planificarea experimentelor eficiență și calitate. București, Editura AGIR, 2004.
- 28 Ionescu Stefania. Influenta soluțiilor de realizare a anvelopei asupra mediului hidrotermic interior la clădirile de locuit / Stefania Ionescu, cond.ştiințific prof.dr.ing. Dan Ghiocel. - [Bucuresti] : [s.n.], 2004. – 178p.
- 29 Ionescu V., Teoria sistemelor. București: Ed. Didactică și Pedagogică, 1985.
- 30 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 "Telecommunications, Electronics, Informatics". Vol. I. -Chișinau, 2008, pp. 193-198.
- 31 Nicu T., Daud V. Studiul procesului de ardere a gazului natural în câmp electric. – In: Tezele "Conferenței jubiliare UTM – 40", Chișinău, 2004.
- 32 Nicu T., Daud V. Un algoritm de control al puterii a unui grup de arzătoare. In: Tezele "Conferenței jubiliare UTM – 40", Chișinău, 2004.
- 33 Nicu T., Daud V., V. Nicu. Studiul procesului de ardere a gazului natural în câmp electric şi necesitatea controlul electronic. In: Tezele "Conferința Națională Telecomunicații, Electronică, Informatică", Chişinău, 2006, p. 224-230.
- 34 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.

- 35 Nicu T., Nicu V., I. Ciobanu. Microcontroller electronic control for monoblock gas burners type «DAVA». – In: PROCEEDING OF CNE-2000, Chişinău, 2000.
- Planului național de acțiuni în domeniul eficienței energetice pentru anii 2013-2015.
 HG nr. 113 din 07.02.2013.
 http://lex.justice.md/index.php?action=view&view=doc&lang=1&id=346722
- 37 Programul Național pentru eficiență energetică 2011-2020. Hotărîrea Guvernului nr.833 din 10 noiembrie 2011. lex.justice.md/viewdoc.php?action...id...
- 38 Raportul Naţonal de Inventariere, Surse de emisii şi sechestrare a gazelor cu efect de seră in Republica Moldova 1990-2010, Chişinău, 2013. Ch.:,,Imprint" SRL, 2013 -381 p. CZU 551.583 (049.1) (478) F 59, ISBN 978-9975-9650-8-8. Chapter 3. Elena Bicova, Vitalii Postolatii, Marius Taranu.
- 39 Resurse energetice și de combustibil. Principalele tipuri de resurse energetice (mii tone echivalent cărbune). http://www.statistica.md/category.php?l=ro&idc=128&
- 40 Rumuşinski I. Prelucrarea datelor experimentale (traducere din limba rusă). -Bucureşti: Editura Tehnică, 1974.
- 41 Strategia energetică a Republicii Moldova până în anul 2020, aprobată prin Hotărârea Guvernului nr. 958 din 21.08.2007.
- 42 <u>Strategia energetică a Republicii Moldova pînă în anul 2030</u>. lex.justice.md/md/346670/
- 43 Aărodinamiceskie ustanovchi Instituta mehanichi MGU. - In: http://www.imec.msu.ru/pages/02-10-10-1374853.html.
- 44 Aărodinamika zacrucennoi strui/ Pod red. Ahmedov R.B, 1977. p. 240.
- 45 Abramovici G.N Pricladnaia gazovaia dinamica. M.: Nauca, 1976, p, 890.
- 46 Acsenov A.A., Gudzovskii A.V., Deadkin A.A. Tişin A.P. Smeşenie gazov pri vduve nizconapornoi strui v poperecinîi potok // Izvestia RAH. MJG, 1996, № 3, p. 67-74.
- 47 Afrosimova V.N., Poliatschin M.A. Isledovanie smesiobrazovanie v modeli țelindricescoi gorelchi s periferiinoi podaci gaza. Teploănerghietica, 1965, № 4, p. 26-30.
- 48 Ahmedov R.B- Țiriulnicov L.M. Tehnologhia sjigania goriucih gazov i jidkih topliv. L.Nedra, 1984. p- 283.
- 49 Ahmedov R.B, Golidberg I.M. Diffuzionoe regulirovanie fakela pri sjiganie gaza. Teploănerghetica, 1975, № 7, p. 36-39.
- 50 Ahmedov R.B. Balagula T.B. Rașidov A. I. Aărodinamica zacrucennoi strui/ Pod red. - Ahmedov R.B. M: Ănerghia, 1977.p. 240.
- 51 Ahmedov R.B. Tehnologhia sjigania goriucih gazov i jidkih topliv. –L: Nedra, 1984. p. 283
- 52 Ahmedov R.B. Dutievîe gazogorelocinîe ustroistva.-M: Nedra, 1977. p. 263.
- 53 Ahmedov R.B. Ghidravlicescoe soprotivlenie goreloc s tanghențialinîm lopatocinîm podvodom.- Ănergomașinostroenie, 1965, № 11, p. 15-18.

54 Alexeeva T.I., Novicov L. M. Novîe zaconomernosti stabilizații plameni.- Fizica gorenia

i vzrîva. 19796 № 4, p. 135-137.

- 55 Alimov R.Z. Ghidravlicescoe soprotivlenie i massoobmen v zacrucennom potoke. Teploănerghetica, 1965, № 3, p. 28-31.
- 56 Artamonov N.A. Otcistca gazov vihrevîe i fotohimiceschie apparatî. M: Nefti i gaz, 2002, p.336.
- 57 Åksperimentalinîi kompleks dlea isledovania proţesov gorenia razlicinîh topliv i umenşenia vrednogo vozdeistvia vrednogo vozdeistvia TĂS na okrujaiuşiu sredu. Vserossiiskii dvajdî ordena Trudovogo Krasnogo znameni Teplotehniceskii naucinoisledovateliskii institut.

- In:ww.fasi.gov.ru/fcp/technika/konkurs/2006/ri/.

- 58 Åksperimentalinîi stend dlea provedenia naucinîh isledovanii gazodinamiceskih proţessov polucenia i pererabotki submikronnîh i nanoporoşkov i sintez materialov. Tomskii Gosudarstvennîi universitet. In: www.fasi.gov.ru/fcp/technika/konkurs/2006/ri/.
- 59 Ălectroognevaia ustanovka po pererabotke nefteşlamov v neprerîvnom ţikle. - In: http://ntpo.com/techno/techno2 3/4.shtml.
- 60 Åsterkin R-I-, Isserlin A.S. Pevzner M.I. Teplotehniceskie izmerenia pri sjiganie gazovogo topliva. L: Nedra, 1981, 424 c.
- 61 Bloh A.G. Teplovoe izlucenie v kotelinîh ustanovkah.L:Ănergoatomizdat, 1984.239 c.
- 62 Bloh A.G. Teplovospriatie ăkranov v gazovîh topkah parovîh kotlov. Teoria i praktica sjigania gaza. L: Nedra, 1964, p. 205 213.
- 63 Bruc I.G. Sjiganie gaza v nagrevatelinîh peceah. M: Nedra, 1977, p. 270.
- 64 Bușmarin O.N. Zakrucennaia struia v sputnom potoke toi je plotnosti. Ghidravlika i aărodinamica, 1965, p. 74-80.
- 65 Dubov V.C. Rasprostranenie zakrucennoi strui v zatoplemnom prostranstve. Ănergomașinostroenie, 1965, № 176, c. 137-145.
- 66 Dudyshev V.D. Novîe ălectroognivîe tehnologhii intensivnogo i ăcologhiceski cistogo gorenia veşcestv. In: http://www.dudysh-refer.narod.ru/electra.mht.
- 67 Dudyshev V.D. Unicalinaia ălectroognevaia tehnologhia ăcologhiceski cistoi pererabotki i utilizații nefteșlamov In: http://ntpo.com/techno/techno2_3/4.shtml.
- 68 Fedorov N.A. Tehnica i ăfectivnosti ispolizovania gaza. M: Nedra, 1983. p. 311.
- 69 Gazovîe gorelki In: http://www.gorelki.ru/cash/vid /51 301.html.
- 70 Gazovîe gorelki Cuenod. In: http://www.rusklimat.ru/catalog/burners/
- 71 Gazovîe gorelki dlea otopitelinîh cotlov: sovremionîe reşenia In: http://aquatherm.ru/archive/23/2005/03/09/0903051.html.
- 72 Gazovîe gorelki, Apen Group, Cib Unigas, Lamborghini, Oilon. In: http://airs.ru/catalog/heating/burner/gas.
- 73 Gazovîe gorelki. In:http://www.cuenod.ru/products/gas-jets/1_stage_12_16_21/tech/
- 74 Gazovîe otopitelinîe kotlî Vaillant s atmosfernoi gorelcoi In: http://www.thermomontage.ru/vaillant.php.

- 75 Gorelki gazovîe blocinîe «GBL», «GBL-R», «GBL-K» s razdelinîm regulirovaniem sootnoşenia gaz-vozduh, planovîm regulirovaniem moscinosti http://www.staroruspribor.ru/docs.php/prod/gorelki/gorelki gas/gbl-r-k.htm.
- 76 GOST 21204-97. Gazovîe gorelki. Gorelki gazovîe promîşlennîe. Obşcie tehnicesche trebovania. Minsk, Mejgosudarstvennîi sovet po standardizaţii, metrologhii i sertificaţii, 1998.
- 77 GOST P 51383-99. Gazovîe gorelki avtomaticeskie s prinuditelinoi podaci vozduha M: Gosstandartt Possii, 2000.
- 78 Громов А.И. Энергетическая стратегия 2050: Методология, вызовы, возможности. Институт энергетических исследований РАН. Круглый стол «Энергетическая стратегия России: догма или изменяющийся взгляд на перспективу». Москва. 07 февраля 2013 года.
- 79 Gurvici A.M. Teplovospriatie ăkranov v gazovîh topcah parovîh kotlov. Teoria i practika sjigania gaza.L: Nedra, 1964, p. 205 213.
- 80 Hitrin L.N. Fizica gorenia gaza. M. Izd. MGU, 1957, p. 450.
- 81 Hitrîh D.I. Modelirovanie proțesov gorenia v ANSYS CFX. In: ANSYS Solutions. «Russkaia redakția » № 3, '2006.
- 82 Hristici V.A., Liubcik V.N. Struino-stabilizatornîe gazogorelocinîe ustroistva i ih primenenie v ănerghetike i promîşlennosti. M: Vokl. X Mejdunarod. Kongressa gaza. 1970, p. 39-70.
- 83 Iserlin A.S. Osnovî sjigania gazovogo topliva. L: Nedra, 1987. p, 336.
- 84 Iserlin A.S. Ustoicivosti turbulentnogo plameni. V kn: Teoria i practica sjigania gaza L: Nedra, 1984, p. 111-123.
- 85 Krivandin V.A., Marcov B.L., Metalurgiceskie peci. M: Metallurghia, 1977.p. 464.
- 86 Kuzneţov V.P., Sabelinicov V.A. Turbulentnosti i gorenie. M: Nauka, 1986.
- 87 Lapin Iu.V., Streleţ M.H. Vnutrenee tecenia gazovîh smesei. M: Nauca, 1989.
- 88 Larionov V.M., Zaripov R.G- Avtokolebanie gaza v ustanovkah s goreniem. Kazani: Izd-vo Kazan. Gos- teh. n-ta, 2003. 227 p.
- 89 Lavrov N.P. i dr. Proţesî gorenia topliva i zaşcita okrujaiuşcei sredî. M_ Metalurghia, 1981. 240 p.
- 90 Leahvski D.N. Aărodinamika zakrucennîh strui dlea fakelininogo proțesa sjigania gaza. L: Gostzehizdat, 1958, p. 28-77.
- 91 Leahvski D.N. Tturbulentnosti v preamotocinîh i zacrucenîh sruiah. Teoria i practika sjigania gaza.- M: Nauca, 1964, p. 18-47.
- 92 Leahvski D.N. Vliynie construktivnîh parametrov cpruglîh gorelok na ih soprotivlenie i aărodinamiku fakela. Ănergomaşinostroenie, 1968, № 3, p. 15-18.
- 93 Levin A.M. Prințipî raționalinogo sjigania gaza. L: Nedra, 1977, p 247.
- 94 Lisenco V.G. Intensificația teploobmena v plamennîh peceah. M.:Metalurghia,1979, p. 224
- 95 Loițianskii L.G. Rasprostranenie zakrucennoi strui v bezgranicinom prostranstve Prikladnaia matematika i mecanica, 1963, № 17, p. 3-16.

- 96 Maзo A.Б., Поташев К.А., Гидродинамика, Казань 2008 http://window.edu.ru/resource/276/69276/files/posob1.pdf
- 97 Miheev V.P., Dîmov G.D. Sjiganie prirodnogo gaza, M: Nedra, 1975, p.391.
- 98 Mnogofuncţionalinaia ăkspermentalinaia baza. Isledovateliskii ţentr imeni M.V.KELDÎŞA.
 - In: http://www.kerc.msk.ru/ipg/stand/stand.shtml.
- 99 Murzacov V.V. Goriucie gazî i ih svoistva. M: Nedra, 1970.
- 100 Murzacov V.V. Osnovî teorii i practiki sjigania gaza v parovîh kotlah . M: Ănerghia, 1969, p. 462.
- 101 Naumenco A.V Optimizația konstrucții gazovozduşnogo teplogheneratora. Izv. Vuzov. Problemî ănergetiki, № 11-12, 2002. p. 58-62 (soavtori: Gofman M.S., Deynejenco V.I., Rîjkov A.F.).
- 102 Naumenco A.V. Ånergosberejenie i Rossiyskii megapolis. Ecaterinburg. UGTU UPI. 2002r. P. 22 (coautori N, Danilov, A.F. Rîjkov).
- 103 Naumenco A.V. Gazovaia gorelka s prinudielinoi podacei vozduha. Patent RF № 2187758 din 20.08.2002.
- 104 Naumenco A.V. Gorelki gazovsasîvaiuşcie blocinîe avtomaticeskie s polnîm predvaritelinîm smeşivaniem / Otciot o NIIR OOO «Uraltransgaz». Ecaterinburg, 2002.p. 440.
- 105 Naumenco A.V. Kuzneţov P.V., Tolstova Y,I., Şumilov R.N. Ănergoăfectivnîe sistemî otoplenia. Ekaterinburg: GOU VPO UGTU-UPI, 2003. p. 106.
- 106 Naumenco A.V. Usroistvo dlea regulirovania sootnoşenia gazovîh componentov. Patent RF № 93038249 or 20.11.1996.
- 107 Osnovî prakticescoi teorii gorenia./ Pod red. Pomeranţeva V.V. L: Ănerghia, 1973.
 264 s.
- 108 Pereskok S.A. Intensifikația objiga țementnogo klinkera v peciah suhogo i combinirovanogo sposobov proizvodstva. Avtoreferat disertații na soiscanie uceonnoi stepeni candidarâta tehniceskih nauc, Belgorod, 2007.
- 109 Poeaţkin M.A., Menşikov V.P. Vîbor i rasciot gazomazutnîh gorelok. Isledovanie i rasciot gazomazutnîh goreloc. Trudî ȚKTI, vîp. 76, 1967, p. 93-111.
- 110 Potapov V.N., Ustygov I.V. Modernizația ănergheticeskih cotlov dlea optimizații sjigania topliva. In: http://subscribe.ru/archive/science.news.ecoenergo/200212/26101524.html.
- 111 Potapov V.N., Ustygov I.V. Prințipî reconstrucții topok i goreloc mocinîh parovîh cotlov TGMP-204HL dlea snijenia teplovîh poteri// Ănergo-i resursosberejenie. Netradiționnîe i vozobnovleaemîe istociniki ănerghii: Sbornic materialov Vserossiyskoi studenceskoi olimpiadî, naucino-practiceskoi konferenții i vîstavki studentov, aspirantov i molodîh uceonîh. 3-7 dekabrea 2001 g. Ekaterinburg UGTU-UPI, 2001. p.26-30.
- 112 Preobrajenskii N.I. Kontroli za raționalinîm ispolizovaniem gaza. L: Nedra, 1983, p.368.
- 113 Прогноз развития энергетики мира и России до 2040 года. ИНЭИ РАН , АЦ 2013.
 -108с.

- 114 Ravici M.B. Gaz i ego primenenie v narodnom hoziaistve. M: Nauka, p. 357.
- 115 Skelkin K.I., Troşin Y,K. Gazodinamica gorenia. M:IZD. AN SSSR, 1963, p. 255.
- 116 Semionov N.N. O necotorîh problemah himicescoi kinetiki i reakţionnoi sposobnosti. M.Izd. AN SSSR, 1958, p.187.
- 117 Sigal I.Y Naydenov G.F. Konstruirovanie i rascet turbulentnîh gazovîh gorelok. Teoria i practika sjigania gaza. L: Nedra, 1964, p. 416 - 433.
- 118 Sigal I.Y Zaşcita vozduşnogo baseina pri sjiganie topliva. L: Nedra, 1977, 294c.
- 119 Sigal I.Y. Gazogorelocinoe ustroistva kotelinîh ustanovok. Kiev,Gosizdat, 1961, p. 162.
- 120 Socolic A.S. Karpov V.P., Semeonov E.S. Turbulentnoe gorenie gazov. Teoria i praktica sjiganie gaza. L: Nedra, 1964, p. 139 156.
- 121 Speişer V.A. Sjiganie gaza na electrostanţiah i promîşlennosti. M. Ånerghia, 1967, p. 250.
- 122 Speişer V.A., Gorbanenco A.D. Povîşenie ăfektivnosti ispolizovanie gaza i mazuta v ănergeticekih ustanovkah. M: Ănerghia, 1974, p.208.
- 123 Şcetnikov E.S. Fizika gorenie gaza. M: Izd. MGU, 1957, p. 450.
- 124 Şciukin V.K. Teploobmen, massoobmen i ghidrodinamica zacrucenîh potocov v ossmmitricinîh kanalah. M. Maşinostroenie, 1982.
- 125 Şorin S.N. Teplomassoobmen v kamerah sgorania gaza. Teoria i practica sjigania gaza, L: Nedra, 1964, p.214 - 233.
- 126 Şur I.A. Perevod otopitelinîh cotlov na gazovoe toplivo. Izdatelistvo "Nedra", Leningradscoe otdelenie, leningrad, 1973. <u>http://www.himi.oglib.ru/bgl/6508/221.html</u>
- 127 Teoria i practica sjigania gaza, VII/ Pod. Red. Isserlina A.S., Pevznera M.I., L: Nedra, 1981. p. 344.
- 128 Teoria obrazovanie oksidov azota pri gorenii.- http://natural.claw.ru/20762.htm.
- 129 Teoria topocinîh proțesov/Pod red. G.F.Khorre. L: Ånerghia, 1966, 375 c.
- 130 Teplovoi rascet cotelinîh agregatov. M: Ånerghia, 1973, 295p.
- 131 Ustanovka po komplexnoi pererabotke prirodnogo gaza s poluceniem ăkologhiceski cistogo ănergheticeskogo topliva i uglerodnîh materialov şirokogo promîşlennogo naznacenia. Institut vîsochih temperatur RAN. In: www.fasi.gov.ru/fcp/technika/konkurs/2006/ri/.
- 132 Volcov Ă.P., Kudreavţev N.Iu. Modelirovanie obrazovaniea ochislov azota v turbulentnom diffuzionnom fakele. IFJ, 1979, V.56, N 6, p. 775-794.
- 133 Vseiadnaia ăkonomicinaia ălektropolevaia gorelca Dudîşeva..
 In: http://www.ntpo.com/techno/techno2_3/16.shtml.
- 134 Vulis P.A., Erşin Ş.A., Iarin L.P. Osnovî teorii gazovogo fakela. L. Ånerghia, 1968. 203 c.
- 135 Vulis P.A., Iarin S.P., Aărodinamica fakela. L: Ănerghia, 1978.p. 320.
- 136 Zelidovici I.B. i dr. Matematiceskaia teoria gorenia. M: Nauca, 1975.
- 137 Zelidovici I.B. i dr. Okislenie azota pri gorenii. M: Nauca, 1974.p. 146.
- 138 Zobin B.F., Kaziaev M.D., Kitaev B.I. i dr. Teplotehniceskie rasciotî metalurgiceskih pecei. M: Metallurghia, 1982 p 360.

- 139 Adler Q. J. Flame ignition from a spherical hot gas pocket. -In: Mechanics Appl Math.1966; 19: 485-495.
- 140 Annamalai Kalyan Combustion Science and Engineering In: CRC TAYLOR, 2006.
- 141 Carleton, F.B. aND Weinberg, F.J. Simulation of microgravity by the application of electric field to flame. Joint meeting of the Portuguese, British, Spanish, and Swedish Sections of The Combustion Institute, April 1-4, Madeira, p.8.5.1, 1996.
- 142 Combustion Engineering and Gas Utilisation, 3rd Ed.- British Gas: Routledge Taylor, 1990
- 143 Combustion Research Centre. In: http://www.polidoro.com/usa/en/combustion-research-centre/index.html.
- 144 Dery R.J. Electrical proprieties of flames in the transverse electrical fields. In: National Syncrotron Radiation Labarotary, University of Science and Technology of China, 2000, pp. 245-254.
- 145 Experimental study of the fuel combustion and swirling flame dynamics for the premixed and non-premixed combustion conditions. In: http://ipul.lv/new/?nav=combustion.
- 146 Expirimental Physics and Industrial Control Systems. Los Alamos: Advance Photon Source National laboratory, 1998.
- 147 Flamme, M.; Brune, M.; Haep, J. and Kremer H. NOx-Emission bei der Erdgasverbrennung mit sauerstoffangereicherter Verbrennungsluft. GWI Report No. 9912, Essen, 1994.
- 148 Fuel burning efficiency determination system.- In: http://www.freepatentsonline.com/4171637.html.
- 149 Gomez, A., Sidcbotham, Ci., and Glassman, I. Sooling Behavior in Temperature Conlrolled Laminar Dithsion Flames, Comhustion and Flame, 1984, Vol. 58, pp. 45-57.
- 150 Gregory T. Linteris, Ian Rafferty. Scale model flames for determining the heat release rate from burning polymers. - In: Fourth International Symposium on Scale Modeling (ISSM-IV, Cleveland, Ohio, September 17 - 19, 2003.
- 151 Gulber F. Influence of electrical field on the flame. Energy Wendlung, V. 26, no.9, 1977.
- H.Morris. Ignition of Gas mixtures by electrical sparks. In: National Syncrotron Radiation Labarotary, University of Science and Technology of China, 2000, pp. 361-363.
- 153 Harten Van A., Matkowsky B. J. A New Model in Flame Theory In: SIAM Journal on Applied Mathematics, Vol. 42, No. 4 (Aug., 1982), pp. 850-867.
- 154 Hartman K., Letskii Å., Şefer B. I dr. Planirovanie ăksperimenta v isledovanii tehnologhiceskih proțesov/ Pod red. Ă.K Lestnogo. M: Mir. 1977.
- 155 Haslam R. T., Lovell W. G., and R. D. Hunneman Radiation from Nonluminous Flames.

-In: INDUSTRIAL AND ENGINEERING CHEMISTRY Vol. 17, No. 3, 1994.

156 Kaarstad, O., Audus, H. Hydrogen and electricity from decarbonised fossil fuels, Energy Conversion and Management, 38, 431-436., 1997.

- 157 Kishimoto K. Study of electric field controlled flames. Jap. Fuel, Socicety Jap, V. 56, no. 52, 1977.
- 158 Kolhan J.K. Energy transfer from flame Gases to solid. In: National Syncrotron Radiation Labarotary, University of Science and Technology of China, 2000, pp. 733-740.
- 159 Kuhl A.L., Leyer A.A., Borisov W.A. Dynamics of Gaseous Combustion. AIAA, 1993
- 160 Kurt Wohl, Carl Gazley, N. Kapp. Diffusion flames. In: National Syncrotron Radiation Labarotary, University of Science and Technology of China, 2000, pp. 288-300.
- 161 Lawton, J., Weinberg, F.J. Electrical Aspects of Combustion, Clarendon Press, Oxford (1969).
- 162 Linnett J.W., Hoare H.F. A study of burning velocity. In: National Syncrotron Radiation Labarotary, University of Science and Technology of China, 2000, pp. 195-204.
- 163 M.J. Henkel, W.P. Spaulding, H. Hummel. Theory of propogation of flame. In: National Syncrotron Radiation Labarotary, University of Science and Technology of China, 2000, pp. 121-135.
- 164 Method and apparatus for monitoring the burning efficiency of a furnace.United States Patent 4435149. - In: http://www.freepatentsonline.com/4435149.html.
- 165 Milani, A.; Salamone, G.V. and Wünning, J.G. Abatement of fuel consumption with compact regenerative burners in energy intensive furnace. THERMIE Final Report, CSM Report 9448 R, 1998.
- 166 Monitor pollutant gas emissions from industrial processes. In: http://www.landinst.com/combustion/landing pages/ad portable gas analyser 1.html.
- 167 MONITORING, TESTING & CONTROL: Analytical Laboratory Equipment.- In: http://www.environmental-expert.com/tech_result.asp.
- 168 Norbert Peters. Turbulent Combustion. In: Measurements, Science and Technology, 12, 2022.
- 169 Posner J.D., Dunn-Rankin D. Temperature Field Temperature Field Measurements of Small, Measurements of Small, Nonpremixed Nonpremixed Flames using Flames using Abel Inversion of Holographic Abel Inversion of Holographic Interferograms. -In: 2nd Joint Meeting of the U.S. Sections of the Combustion Institute -- Oakland, CA, March 25--28, 2001.
- 170 R.Mayoracs, W. Pritchard, M.W. Thring. The problems of Gas temperature measurement.
 In: National Syncrotron Radiation Labarotary, University of Science and Technology of China, 2000, pp. 727-733.
- 171 Regional weather data. In: http://www.weather.com/outlook/travel/businesstraveler/monthly/MDXX0001.

- 172 Ron Cohen, Bruce Curtis, Bill Dannevik, Andris Dimits, Don Eliason, Art Mirin, Tom Peyser, Oleg Schilling. Simulation of Richtmyer-Meshkov Simulation of Richtmyer-Meshkov Instability, using the SPPM Code Instability, using the SPPM Code on the IBM SST System -In: "Combustion and Flame, 1976, Vol. 24, pp. 119-126.
- 173 Roper, F. G. Prediction of Laminar Jet Diffusion flame Sizers . I, Theoretical-Moddel." Combustion and Flame, 1977, Vol. 29, pp. 219-226.
- 174 Senkara T. Warmetechnische Rechnungen fur gas und olbehenzte Warmeofen. Essen, Vulkan-Verlag, 1977, 510 p.
- 175 Silverman Sh. The determination of flame temperatures by infrared radiation. In: National Syncrotron Radiation Labarotary, University of Science and Technology of China, 2000, pp. 498-501.
- 176 The measurements and Automation. Austin: National Instruments, 2000.
- 177 Tonu V., Tuleanu C. Daud V. Research of homogeneity of fuel mixture in burners with different types of stabilizers. Meridian Ingineresc. Nr. 2, 2011.
- 178 Ueda T., Mizomoto M., Ikai S. Velocity and temperature fluctuations in a flat plate boundary layer diffusion flame// Combust. Sci. Technol.1982. V.27, N3-4. P.133-142.
- 179 Virtual Industrial Exibution: Gas Burners. In: http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/gas-burner-73473.html.
- 180 W.R. Hawthrone, D.S. Weddel, H.C. Hottel. Mixing and Combustion in turbulent Gas jets.
 In: National Syncrotron Radiation Labarotary, University of Science and

Technology of China, 2000, pp. 266-288.

- 181 Wiktor Eckhaus Theory of flame-front stability, In: Journal of Fluid Mechanics Digital Archive, 28 Mart, 2006.
- 182 Wünning, J.A., Wünning, J.G. Burners for flameless oxidation with low NOx formation even at maximum air preheat. Gaswärme International 41, No. 10, pp. 438-444, 1992.
- 183 Young, M.. The Impact of International and Regional Air Pollution Initiatives on Diesel Engine. Design and Operation. Technical Paper Number 10. Maine Maritime Academy., 2006.
- 184 Zake M. Experimental investigation of field and flame interaction// Advances in Engineering Heat Transfer. -Ed. Bengt Sunden, E. Blums, A.Zukauskas. - CMP. -1995. -pp. 461. -469.
- 185 Zake M., Purmals M. Effects of DC field-enhanced heat and mass transfer on NOx formation in a flame flow // Proceedings of International Scientific Colloquium "Modelling and Material Processing, 1999. Riga.
- 186 Zake, M., Purmals, M. The electric field-controlled heat and mass transfer and fuel combustion in the flame channel flows, Magnetohydrodynamics, 35, 131-142., 1999.
- 187 Zake, M., Turlajs, D., Purmals, M. Electric field control of NOx formation in the flame channel flows, GLOBAL NEST: the International Journal, 2, 99-109, 2000.
- II. Literatură bibliografică consultativă acte legislative, directive al Uniunii Europene, rapoarte, acte ministeriale.

- a) a) Legea n**r.** 142 din 02.07.2010 Cu privire la eficiența energetică (Monitorul Oficial nr. 155-158 art. Nr : 545 din 03.09.2010).
- b) Legea energiei regenerabile nr. 160-XVI din 12 iulie 2007 (Monitorul Oficial, 2007 nr. 127-130)
- c) Hotărîrea de Guvern cu privire la Programul național pentru eficiență energetică 2011-2020 (Monitorul Oficial Nr. 197-202, art Nr : 914 din 18.11.2011)
- d) Hotărîrea de Guvern nr. 102 din 05.02.2013 cu privire la Strategia energetică a Republicii Moldova pînă în anul 2030 (Monitorul Oficial din 08.02.2013, nr. 27-30 art nr: 146)
- e) Directiva 2003/55/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 26 iunie 2003 privind normele comune pentru piața internă în sectorul gazelor naturale;
- g) Directiva 2004/8/CE a Parlamentului European și a Consiliului din 11 februarie 2004 privind promovarea cogenerării pe baza cererii de energie termică utilă pe piața internă a energiei ți de modificare a Directivei 92/42/CEE;
- g) DIRECTIVA 2006/32/CE a Parlamentului European şi a Consiliului din 5 aprilie 2006 privind eficienţa energetică la utilizatorii finali şi serviciile energetice şi de abrogare a Directivei 93/76/CEE a Consiliului Parlamentului European şi Consiliului Uniunii Europene;
- h) Raport informativ privind politicile naționale în domeniul eficienței energetice și surselor regenerabile de energie, Instituția națională participantă / Oficiul Schimbarea Climei, Ministerul Ecologiei și resurselor Naturale, Iunie 2009.
- i) Raport privind activitateaAgenției Naționale pentru Reglementare în Energetică în anul 2013
- i) Electrofizica și energetica. V.P. Berzan;
 - * Rapoarte, DOE SUA
 - * Rapoarte, Institutul de cerecetări energetice din rusia; Gromov și compania, Rusia;

* Rapoarte, *Быкова Е.В.*, Прогнозирование при решении проблем энергетики и экономики с позиций энергетической и экономической безопасности, Институт энергетики АНМ, семинар «Подходы к прогнозированию в энергетике и экономике», 2017 г.

Anexa 1.

Structura resurselor energetice din Republica Moldova.

Evoluția consumului și a prețului la gazele naturale combustibile



Fig. A1.1



Procurările de gaze și prețul mediu de import în perioada 2000-2013

Fig. A1.2



Fig. A1.3





Fig. A1.4

	Unitatea		2005	2010	2011	2012	2013	Modificări			
Indicii	de	2001						2012/2011		2013/2012	
	măsură							Suma	%	Suma	%
1. Volumul de gaze	mil. m ³	1 127, 0	1 418, 6	1 187, 8	1 152, 1	1 095, 5	1 031, 2	-56,6	-4,9	-64,3	-5,9
total	mil. lei	1 131, 8	1 364, 9	3 674, 0	4 614, 0	5 185, 0	4 922, 2	+571, 0	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	- 262,8	-5,1
2. Prețul mediu de	\$/1000 m ³	78,0	76,1	250,1	339,3	394,0	379,6	+54,7	+16, 1	-14,4	-3,7
naturale	lei/1000 m ³	1 004	962	3 093	4 005	4 733	4 773	+728	$\frac{1}{+18}, +40$	+40	+0,8
3. Volumul de gaze naturale livrate (inclusiv din rețelele de transport) - total	mil. m ³	1 108, 5	1 315, 0	1 089, 8	1 036, 3	989,6	945,3	-46,7	-4,5	-44,3	-4,5
	mil. lei	1 004, 0	1 551, 0	4 362, 2	5 327, 1	5 942, 6	5 786, 7	+615, 5	+11, 5	- 155,9	-2,6
4. Tariful mediu de livrare a gazelor naturale (<i>cu TVA</i>)	lei/1000 m ³	906	1 180	4 003	5 140	6 005	6 121	+865	+16, 8	+116	+1,9

Volumul procurărilor și livrărilor de gaze naturale către consumatori

Fig. A1.5

Structura livrărilor de gaze naturale pe categorii de consumatori Categoriile

Categoriile de	2011		2012		2013		2012 / 2011			2013 / 2012		
consumatori	mil. m ³	%	mil. m ³	%	mil. m ³	%	mil. m ³	%	р. р.	mil. m ³	%	р. р.
Consumul de												
gaze naturale (livrat util consumatorilor),	1 036, 3	100, 0	989, 6	100, 0	945, 4	100, 0	-46,8	-4,5	0,0	-44,2	-4,5	0,0
			200	-	070		-	-		-		
incl.: gospodării casnice	314,0	30,3	298, 9	30,2	278, 1	29,4	-15,0	-4,8	-0,1	-20,8	-7,0	-0,8
instituții publice	52,7	5,1	50,3	5,1	42,4	4,5	-2,4	-4,5	0,0	-7,9	-15,8	-0,6
sectorul energetic	430,8	41,6	428, 9	43,3	393, 5	41,6	-2,0	-0,5	+1, 7	-35,4	-8,3	-1,7
alți agenți economici	238,8	23,0	211, 5	21,4	231, 4	24,5	-27,4	-11,5	-1,6	+19, 9	+9,4	+3, 1

Fig. A1.6

	Livrat u	ıtil consun	Modificări, %				
Denumirea întreprinderilor	2010	2011	2012	2013	2011/ 2010	2012/ 2011	2013/ 2012
S.A. "CET-Nord"	177,96	173,85	164,23	148,02	-2,3	-5,5	-9,9
S.A."Termocom"	1 480,6	1 415,7	1 358,5	1 218,3	-4,4	-4,0	-10,3
I.M. "Termogaz" (mun. Balti)	11,76	11,45	11,54	9,77	-2,6	0,8	-15,4
S.A. "Comgaz Plus" (or. Ungheni)	16,26	12,11	8,61	6,93	-25,6	-28,9	-19,5
I.M. "Retelele Termice Calarasi"	5,37	5,37	4,21	2,82	0,0	-21,5	-33,1
I.M. "Servicii Publice Cimislia"	1,31	1,07	0,83	0,72	-18,3	-22,5	-12,9
I.M. "Retelele Termice" mun. Comrat	6,74	6,89	6,39	5,78	2,2	-7,2	-9,5
I.M. "Antermo" Anenii Noi	2,27	2,12	1,78	1,35	-6,7	-16,0	-24,0
I.M. "Retelele Termice Stefan Voda"	2,01	1,22	1,06	0,82	-39,3	-13,2	-22,8
S.A. "Retelele Termice Cahul"	6,43	7,25	4,90	0,67	12,7	-32,4	-86,4
I.M. "Retele Termice Glodeni"	3,87	3,08	1,88		-20,6	-38,9	-100,0
I.M. "Retelele Termice Criuleni"	1,95	1,69	0,92	0,26	-13,4	-45,3	-72,3
S.A. "Apă-Canal Chişinău"	25,66	24,78	23,69	21,22	-3,4	-4,4	-10,4
Î.M. "Centrale și Rețele Termice" Orhei	6,54	6,30	2,11	3,75	-3,7	-66,5	77,9
Total pe întreprinderile reglementate	1 748,7	1 672,9	1 590,7	1 420,4	-4,3	-4,9	-10,7

Evoluția producerii și livrării energiei termice

Dinamica livrărilor de energie termică în perioada 2010-2013

Livrarea energiei termice pe categorii de consumatori, mii Gcal

			2012	Modificări				
Categoriile de consumatori	2011	2012		2012/2011		2013/2012		
			2013	mii Gcal	%	mii Gcal	%	
Consumatori casnici	1 268,7	1 206,2	1 089,0	-62,6	-4,9	-117,1	-9,7	
Instituții bugetare	257,4	251,0	218,5	-6,4	-2,5	-32,5	-12,9	
Agenți economici	146,7	133,6	112,8	-13,2	-9,0	-20,7	-15,5	
Total livrat util consumatorilor	1 672,9	1 590,7	1 420,4	-82,2	-4,9	-170,3	-10,7	

Rezultatele cercetării omogenității amestecului aer-gaz



Figura A. 2.1. Diagrama spațială a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip A la P_{min} , D_s =123mm.





Diagrama din figura A.2.1 arată, că concentrația maximă de gaz se află direct la ieșire din arzător, care brusc scade, amestecul devine omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării, începând cu distanța de la x/D = 2 -:- 2,5.



Figura A.2..3. Diagrama spațială a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip A P_{max} , D_s =123mm.



Figura A.2.4. Diagrama circulară a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip A P_{max} , D_s =123mm.

Diagrama din figura A.2.3 arată, că concentrația maximă de gaz la fel se află direct la ieșire din arzător, care scade mult mai brusc și amestecul devine omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării, începând cu distanța de x/D = 4-:-4,5, ceea ce duce asemeni la lungirea flăcării aproximativ de 2-:-2,5 ori față de *Pmin*.



Figura A.2..5. Diagrama spațială a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip A la P_{min} , $D_s=121$ mm.



Figura A.2.6. Diagrama circulară a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip A la P_{min} , $D_s=121$ mm.

Diagrama din figura A.2.5 arată, că concentrația maximă de gaz se află direct la ieșire din arzător, care brusc scade, amestecul devine omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării, începând cu distanța de la x/D = 2 -:- 2,5 (figura 2.1.6).



Figura A.2.7. Diagrama spațială a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip A la P_{max} , D_s =121mm.



Figura A.2.8. Diagrama circulară a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip A la P_{max} , $D_s=121$ mm.

Diagrama din figura A.2.7 arată, că concentrația maximă de gaz la fel se află direct la ieșire din arzător, care scade mult mai brusc și amestecul devine omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării, începând cu distanța de x/D = 4,5-:-5, ceea ce duce la lungirea flăcării aproximativ de 2,5-:-3 ori față de *Pmin*.



Figura A.2.9. Diagrama spațială a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip B la P_{min} , D_s =124mm.



Figura A.2.10. Diagrama circulară a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip B la *P_{min}*, *D_s*=124mm.

Diagrama din figura A.2.9 arată, că concentrația maximă de gaz se află direct la ieșire din arzător, care brusc scade, amestecul devine omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării, începând cu distanța de la x/D = 2 -:- 2,5 (figura 2.10).



Figura A.2.11. Diagrama spațială a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip B la P_{max} , D_s =124mm.



Figura A.2.12. Diagrama circulară a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip B la P_{max} , D_s =124mm.

Diagrama din figura A.2.11 arată, că concentrația maximă de gaz la fel se află direct la ieșire din arzător, care scade mult mai brusc și amestecul devine omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării, abea la distanța de x/D = 4,5-:-5, ceea ce duce la lungirea flăcării aproximativ de 2,5-:-3 ori față de *Pmin*.



Figura A.2.13. Diagrama spațială a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip B la P_{min} , D_s =123mm.



Figura A.2.14. Diagrama circulară a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip B la P_{min} , D_s =123mm.

Diagrama din figura A.2.13 arată, că concentrația maximă de gaz se află direct la ieșire din arzător, care brusc scade de la 60%, amestecul devenind omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării, începând cu distanța de la x/D = 2 -:- 2,5 (figura A.2.14).



Figura A.2.15. Diagrama spațială a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip B la P_{max} , D_s =123mm.



Figura A.2.16. Diagrama circulară a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip B la P_{max} , D_s =123mm.

Diagrama din figura A.2.15 arată, că concentrația maximă de gaz la fel se află direct la ieșire din arzător, care scade mult mai brusc de la 53% și amestecul devine omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării de la distanța de x/D = 2,5-:-3, ceea ce duce la lungirea flăcării aproximativ de 1,5-:-2 ori față de *Pmin*.



Figura A.2.17. Diagrama spațială a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip B la P_{min} , D_s =120mm.



Figura A.2.18. Diagrama circulară a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip B la P_{min} , D_s =120mm.

Diagrama din figura A.2.17 arată, că concentrația maximă de gaz se află direct la ieșire din arzător, care brusc scade de la 60%, amestecul devenind omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării, începând cu distanța de la x/D = 2 -:- 2,5 (figura A.2.18).



Figura A.2.19. Diagrama spațială a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip B la P_{max} , D_s =120mm.



Figura A.2.20. Diagrama circulară a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip B la P_{max} , $D_s=120$ mm.

Diagrama din figura A.2.19 arată, că concentrația maximă de gaz la fel se află direct la ieșire din arzător, care scade mult mai brusc de la 55% și amestecul devine omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării, de la distanța de x/D = 3,5-:-4, ceea ce duce la lungirea flăcării aproximativ de 1,5-:-2 ori față de *Pmin*.



Figura A.2.21. Diagrama spațială a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip C la P_{min} , $D_s=124$ mm.



Figura A.2.22. Diagrama circulară a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip C la *P_{min}*, *D_s*=124mm.

Diagrama din figura A.2.21 arată, că concentrația maximă de gaz pentru acest tip de stabilizator se află în jurul diametrului ieșirii din arzător, care brusc scade de la 60%, amestecul devenind omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării, începând cu distanța de la x/D = 2 -:- 2,5 (figura A.2.22).



Figura A.2.23. Diagrama spațială a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip C la P_{med} , $D_s=124$ mm.



Figura A.2.24. Diagrama circulară a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip C la P_{med} , $D_s=124$ mm.

Diagramele din figurile A.2.23, A.2.24 arată, că concentrația maximă de gaz la putere medie la fel se află direct la ieșire din arzător, care scade mult mai brusc de la 55% și amestecul devine omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării la distanța de x/D = 3,5-:-4, ceea ce duce la lungirea flăcării aproximativ de 1,5-:-2 ori față de *Pmin*.



concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip C la P_{max} , D_s =124mm.



Figura A.2.25. Diagrama spațială a câmpului Figura A.2.26. Diagrama circulară a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip C la P_{max} , $D_s=124$ mm.

Diagramele din figurile A.2.25, A.2.26 arată, că concentrația maximă de gaz la putere maximă se află direct la ieșire din arzător, care brusc scade de la propor'ia de 60%, amestecul devenind omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării, începând cu distanța de la x/D = 2 - 2.5.



Figura A.2.27. Diagrama spațială a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip C la P_{min} , D_s =123mm.

Figura A.2.28. Diagrama circulară a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip C la P_{min} , D_s =123mm.

Diagramele din figurile A.2.27, A.2.28 arată, că concentrația maximă de gaz la fel se află direct la ieșire din arzător, care scade mult mai brusc de la 55% și amestecul devine omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării la distanța de x/D = 2,5-:-3.



Figura A.2.29. Diagrama spațială a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip C la P_{med} , $D_s=123$ mm.



Figura A.2.30. Diagrama circulară a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip C la P_{med} , $D_s=123$ mm.

Diagrama din figurile A.2.29, A.2.30 arată, că concentrația maximă de gaze naturale la putere medie se află direct la ieșire din arzător, care brusc scade de la 60%, amestecul devenind omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării, începând cu distanța de la x/D = 2 -:- 2,5.



Figura A.2.31. Diagrama spațială a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip C la P_{max} , D_s =123mm.



Figura A.2.32. Diagrama circulară a câmpului concentrației gazului pentru arzător cu stabilizator tip C la P_{max} , $D_s=123$ mm.

Diagramele din figurile A.2.1.31, A.2.1.32 arată, că concentrația maximă de gaz la fel se află direct la ieșire din arzător, care scade mult mai brusc de la 55% și amestecul devine omogen și stoichiometric pe toate secțiunile radiale ale flăcării la distanța de x/D = 3,5-:-4, ceea ce duce la lungirea flăcării aproximativ de 1,5-:-2 ori față de *Pmin*.

Anexa 3.





- Legenda: 1 – gura arzătorului; 2 – stabilizator; 3 – reglator consum gaz; 4 – reglator consum aer; 5 – ventilator;
- 6 blocul electronic de comandă.

Fig. A.3.1

Rezultatele cercetării stabilității arderii amestecului aer-gaz



Figura A.4.1. Graficul dependenței vitezelor de rupere (a) și pătrundere (b) de excesul de aer (P_w =250 kW, stabilizator tip A, D_s = 119, 121, 123, 124 mm.).



Figura A. 4.2. Graficul criteriului Pekle de rupere (a) și pătrundere (b) (P_w =250 kW, stabilizator tip A, D_s = 119, 121, 123, 124 mm.), exces de aer α = 0.8 -:-1.2.



Figura A.4.3 . Graficul vitezelor calculate de rupere (a) și pătrundere (b) în dependență de excesul de aer (P_w =250 kW, stabilizator tip A, D_s = 119, 121, 123, 124 mm.).



Figura A.4.4 . Graficul vitezelor experimentale și calculate de rupere (a) și pătrundere (b) în dependență de excesul de aer (P_w =250 kW, stabilizator tip A, D_s = 123 mm.).



Figura A.4.5 . Graficul dependenței vitezei de rupere (a) și pătrundere (b) de excesul de aer $(P_w=250 \text{ kW}, \text{ stabilizator tip B}, D_s = 124 \text{ mm.}).$



Figura A.4.6 . Graficul dependenței vitezelor de rupere (a) și pătrundere (b) de excesul de aer $(P_w=250 \text{ kW}, \text{ stabilizator tip A}, D_s=119, 121, 123, 124 \text{ mm.}).$



Figura A.4.7 . Graficul criteriului Pekle de rupere (a) și pătrundere (b) (P_w =250 kW, stabilizator tip A, D_s = 119, 121, 123, 124 mm.), exces de aer α = 0.8 -:-1.2.



Figura 4.8 . Graficul vitezelor calculate de rupere (a) și pătrundere (b) în dependență de excesul de aer (P_w =250 kW, stabilizator tip B, D_s = 119, 121, 123, 124 mm.).



Figura A.4.9. Graficul vitezelor experimentale și calculate de rupere (a) și pătrundere (b) în dependență de excesul de aer (P_w =250 kW, stabilizator tip B, D_s = 122 mm.).



Figura A.4.10 . Graficul dependenței vitezei de rupere (a) și pătrundere (b) de excesul de aer $(P_w=250 \text{ kW}, \text{ stabilizator tip C}, D_s = 124 \text{ mm.})$



Figura A.4.11 . Graficul dependenței vitezelor de rupere (a) și pătrundere (b) de excesul de aer $(P_w=250 \text{ kW}, \text{ stabilizator tip C}, D_s=118, 120, 122, 124 \text{ mm.}).$







Figura A.4.13 . Graficul vitezelor calculate de rupere (a) și pătrundere (b) în dependență de excesul de aer (P_w =250 kW, stabilizator tip C, D_s = 119, 121, 123, 124 mm.).



Figura A.4.14 . Graficul vitezelor experimentale și calculate de rupere (a) și pătrundere (b) în dependență de excesul de aer (P_w =250 kW, stabilizator tip C, D_s = 122 mm.).



Figura A.4.15 . Graficul dependenței vitezei de rupere (a) și pătrundere (b) de excesul de aer $(P_w=750 \text{ kW}, \text{ stabilizator tip A}, D_s = 144 \text{ mm.}).$



Figura A.4.16 . Graficul dependenței vitezelor de rupere (a) și pătrundere (b) de excesul de aer $(P_w=750 \text{ kW}, \text{ stabilizator tip A}, D_s=138, 141, 143, 144 \text{ mm.}).$



(a) (b) Fig. A.4.17 . Graficul criteriului Pekle de rupere (a) și pătrundere (b) (P_w =750 kW, stabilizator tip A, D_s = 138, 141, 143, 144 mm.), exces de aer α = 0.8 -:-1.2.



Figura A.4.18 . Graficul vitezelor calculate de rupere (a) și pătrundere (b) în dependență de excesul de aer (P_w =750 kW, stabilizator tip A, D_s = 138, 141, 143, 144 mm.).



Figfigura A.4.19 . Graficul vitezelor experimentale și calculate de rupere (a) și pătrundere (b) în dependență de excesul de aer (P_w =750 kW, stabilizator tip A, D_s = 143 mm.)



Figura A.4.20 . Graficul dependenței vitezei de rupere (a) și pătrundere (b) de excesul de aer $(P_w=750 \text{ kW}, \text{ stabilizator tip B}, D_s = 144 \text{ mm.}).$



Figura A.4.21. Graficul dependenței vitezelor de rupere (a) și pătrundere (b) de excesul de aer $(P_w=750 \text{ kW}, \text{ stabilizator tip B}, D_s=139, 140, 143, 144 \text{ mm.}).$



(a) (b) Figura A.4.22 . Graficul criteriului Pekle de rupere (a) și pătrundere (b) (P_w =750 kW, stabilizator tip B, D_s = 139, 140, 143, 144 mm.), exces de aer α = 0.8 -:-1.2.


Figura A.4.23 . Graficul vitezelor calculate de rupere (a) și pătrundere (b) în dependență de excesul de aer (P_w =750 kW, stabilizator tip B, D_s = 139, 140, 143, 144 mm.).



Figura A.4.24 . Graficul vitezelor experimentale și calculate de rupere (a) și pătrundere (b) în dependență de excesul de aer (P_w =250 kW, stabilizator tip B, D_s = 143 mm.).



Figura A.4.25. Graficul dependenței vitezei de rupere (a) și pătrundere (b) de excesul de aer $(P_w=750 \text{ kW}, \text{ stabilizator tip C}, D_s = 144 \text{ mm.}).$



Figura A.4.26 . Graficul dependenței vitezelor de rupere (a) și pătrundere (b) de excesul de aer $(P_w=750 \text{ kW}, \text{ stabilizator tip C}, D_s=138, 140, 142, 144 \text{ mm.}).$



(a) (b) Figura A.4.27 . Graficul criteriului Pekle de rupere (a) și pătrundere (b) (P_w =750 kW, stabilizator tip C, D_s = 138, 140, 142, 144 mm.), exces de aer α = 0.8 -:-1.2.

Anexa 5. Rezultatele puterii dezvoltate și consumului de gaz la ardere stabilă a amestecului aer-gaz



Figura A.5.1 . Graficul puterii dezvoltate (a) și consumului de gaz (b) la pătrundere în dependență de excesul de aer (P_w =250 kW, stabilizator tip A, D_s = 119, 121, 123, 124 mm).



Fig.ura A.5.2. Graficul zonei favorabile de ardere(limitelor de putere dezvoltată) stabilă $(P_w=250 \text{ kW}, \text{ stabilizator tip A}, D_s = 123 \text{ mm}).$



Figura A.5.3. Graficul puterii dezvoltate (a) și consumului de gaz (b) la rupere în dependență de excesul de aer (P_w =250 kW, stabilizator tip B, D_s = 118, 120, 122, 124 mm.).



Figura A.5.4. Graficul puterii dezvoltate (a) și consumului de gaz (b) la pătrundere în dependență de excesul de aer (P_w =250 kW, stabilizator tip B, D_s = 118, 120, 122, 124 mm.).



Figura A.5.5. Graficul zonei favorabile de ardere(limitelor de putere dezvoltată) stabilă (P_w =250 kW. stabilizator tip B. D_e = 122 mm.).



Figura A.5.6. Graficul puterii dezvoltate (a) și consumului de gaz (b) la rupere în dependență de excesul de aer (P_w =250 kW, stabilizator tip C, D_s = 118, 120, 122, 124 mm.).



Figura A.5.7 . Graficul puterii dezvoltate (a) și consumului de gaz (b) la pătrundere în dependență de excesul de aer (P_w =250 kW, stabilizator tip C, D_s = 118, 120, 122, 124 mm.).



Figura A.5.8. Graficul zonei favorabile de ardere(limitelor de putere dezvoltată) stabilă (P_w =250 kW, stabilizator tip C, D_s = 122 mm.).



(a) (b) Figura A.5.9 . Graficul puterii dezvoltate (a) și consumului de gaz (b) la rupere în dependență de excesul de aer (P_w =750 kW, stabilizator tip A, D_s = 138, 141, 143, 144 mm.).



Figura A.5.10. Graficul puterii dezvoltate (a) și consumului de gaz (b) la pătrundere în dependență de excesul de aer (P_w =750 kW, stabilizator tip A, D_s = 138, 141, 143, 144 mm.).



Figura A.5.11. Graficul zonei favorabile de ardere(limitelor de putere dezvoltată) stabilă $(P_w=750 \text{ kW}, \text{ stabilizator tip A}, D_s = 143 \text{ mm.}).$



Fiura A.5.12 . Graficul puterii dezvoltate (a) și consumului de gaz (b) la rupere în dependență de excesul de aer (P_w =250 kW, stabilizator tip B, D_s = 139, 140, 143, 144 mm.).



Figura A.5.13. Graficul puterii dezvoltate (a) și consumului de gaz (b) la pătrundere în dependență de excesul de aer (P_w =750 kW, stabilizator tip B, D_s = 139, 140, 143, 144 mm.).



Figura A.5.14. Graficul zonei favorabile de ardere (limitelor de putere dezvoltată) stabilă (P_w =750 kW, stabilizator tip B, D_s = 143 mm.).



Fiura A.5.15. Graficul puterii dezvoltate (a) și consumului de gaz (b) la rupere în dependență de excesul de aer (P_w =750 kW, stabilizator tip C, D_s = 138, 140, 142, 144 mm.).



Figura A.5.16. Graficul puterii dezvoltate (a) și consumului de gaz (b) la pătrundere în dependență de excesul de aer (P_w =750 kW, stabilizator tip C, D_s = 138, 140, 142, 144 mm.).



Fiura A.5.17 Graficul zonei favorabile de ardere (limitelor de putere dezvoltată) stabilă pentru cazul: P_w =750 kW, stabilizator tip C, D_s = 142 mm.

Anexa 6.

Proceduri de calcul al arzătoarelor de putere termică medie (P = 0,250..0,75 MW).

Tabelul A.6.1	Arzătoare de putere termică medie	(P = 0.75 MW).
	-	<u> </u>

<u>0,75</u> M/W

			Date	inițiale.							
NG.	Denenitie	Abnovioni	Unit.	Sarcina, %							
JN⊇	Denumire	Abrevieri	masură	0	20	40	60	80	100		
1	Puterea termică	Pa	MW	0,00	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75		
2	Diametru duzei de ieșire	D	mm	145	145	145	145	145	145		
3	Diametrul duzei de aprindere	d	mm	100	100	100	100	100	100		
4	Temparatura de calcul	Т	⁰ C	20	20	20	20	20	20		
5	Capacitatea termică minimă	Qn	MJ/m ³	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5		
6	Consum gaz (normal)	V_{g}	n m ³ /sec	0,00000	0,00423	0,00845	0,01268	0,01690	0,02113		
7	Consum gaz (raportat)	V_{g}	m ³ /sec	0,0000	0,0045	0,0091	0,0136	0,0181	0,0227		
8	Consum gaz (orar)	V_{g}	m ³ /h	0,0016	16,3256	32,6513	48,9769	65,3026	81,6282		
9	Calitatea amestecului (surplus de aer)	a	-	1,3	1,26	1,22	1,18	1,14	1,1		
10	Consum aer (raportat)	Va	m ³ /sec	0,00001	0,05079	0,09836	0,14270	0,18381	0,22170		
11	Consum amestec (raportat)	V _{am}	m ³ /sec	0,00001	0,05502	0,10681	0,15537	0,20071	0,24283		
12	Consum aer (orar)	V_{h}	m ³ /h	0,02	182,85	354,08	513,71	661,73	798,14		
13	Densitatea aerului	ро	kg/m ³	1,20474	1,20474	1,20474	1,20474	1,20474	1,20474		
14	Densitatea gazului	po g	kg/m ³	0,74539	0,74539	0,74539	0,74539	0,74539	0,74539		

Tabelul A.6.2. Calculul aerodinamic al arzătoarelor.

NG	December	A 1	Unit.			Sarcina, ^o	%		
JN⊇	Denumire	Abrevieri	masură	0	20	40	60	80	100
	1.Caz cu extindere bruscă a intrării in arzăto.	r							
1	Diamentrul la intrare în arzător	Din	mm	120	120	120	120	120	120
2	Diamentrul la ieșire din arzător	Dies	mm	145	145	145	145	145	145
3	Suprafața secțiunii de intrare	Sin	mm ²	11309,73	11309,73	11309,73	11309,73	11309,73	1130 9,73
4	Suprafața secțiunii de extindere	S _{ies}	mm ²	16513	16513	16513	16513	16513	1651 3
5	Coeficientul de rezistență	Z	-	0,21166	0,21166	0,21166	0,21166	0,21166	0,21 166
6	Viteza amestecului după extindere	W	m/sec	0,00034	3,33167	6,46804	9,40913	12,15493	14,7 0545
									130, 2626
7	Presiunnea dinamică	Р	Pa	0,00000	6,68631	25,20051	53,32890	88,99563	7
8	Pierdere de presiune	dP	Ра	0,00000	1,41525	5,33404	11,28780	18,83716	27,5 7190
9	Coeficientul de pierderi în focar	Z	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
10	Pierderi de presiune în focar	dP	Ра	0,00000	3,34315	12,60025	26,66445	44,49782	65,1 3134
11	Presiunea necesară a ventilatorului	Р	Ра	0,00000	4,75840	17,93429	37,95225	63,33498	92,7 0324

	_		Unit.			Sarcin	a, %		
Nº	Denumire	Abrevieri	masură	0	20	40	60	80	100
1	Diametrul conductei de gaz	dg	mm	35	35	35	35	35	35
2	Suprafața secțiunii conductei	S	mm ²	962,11	962,11	962,11	962,11	962,11	962,11
3	Viteza de curgere a gazului	W	m/sec	0,00047	4,71348	9,42697	14,14045	18,85393	23,56741
4	Presiunea dinamica	Р	Pa	0,00000	8,56625	34,26499	77,09624	137,05998	214,15621
5	Densitatea gazului (calculată)	po g	kg/m ³	0,77115	0,77115	0,77115	0,77115	0,77115	0,77115
	3.1.Robinet sferic								
1	Coeficientul de rezistență	Z	-	1	1	1	1	1	1
2	Pierderi de presiune	dP	Pa	0,00000	8,56625	34,26499	77,09624	137,05998	214,15621
	3.2.Supape obturatore								
1	Coeficientul de rezistență	Z	-	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35
2	Pierderi de presiune	Р	Ра	0,00000	20,13068	80,52274	181,17616	322,09095	503,26711
3	Pierderi totale pe supape	dP	Ра	0,00000	40,26137	161,04547	362,35232	644,18189	1006,5342 1
	3.3.Pierderi la frecare								
1	Lungimea conductei	L	mm	750	750	750	750	750	750
2	Rugozitatea	к _е	mm	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
3	Viscozitatea cinematică	u	m ² /sec	0,0000109	0,0000109	0,0000109	0,0000109	0,0000109	0,0000109
4	Numarul Reinolds	Re	-	1,51	15135,04	30270,07	45405,11	60540,14	75675,18
5	Coeficientul de rezistență	1	-	0	0	0	0	0	0
6	Pierderi de presiune	dP	Ра	0	0	0	0	0	0
	3.4.Coturi de conductă								
1	Raza relativă a cotului	R/d	-	2	2	2	2	2	2
2	Coeficientul de rezistență	Z	-	0,141421356	0,141421356	0,1414214	0,1414214	0,1414214	0,1414214

Tabelul A.6.3. Calculul hidraulic al conductei de gaz.

									Tab A.6.3
3	Pierderi de presiune	dP	Ра	1,21145E-08	1,211450495	4,845802	10,903054	19,383208	30,286262
4	Număr de coturi	n	-	2	2	2	2	2	2
5	Pierderi totale de presiune	dP	Ра	2,4229E-08	2,422900989	9,691604	21,806109	38,766416	60,572525
	3.5.Pierderi pe clapeta obturator								
1	Rezistența clapetei deschise	Z	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
2	Pierderi de presiune	dP	Ра	2,56987E-08	2,56987458	10,279498	23,128871	41,117993	64,246864
3	3.6 Pierderi totale								
4	Suma pierderilor de presiune	Р	Pa	5,38204E-07	53,82039258	215,28157	484,38353	861,12628	1345,5098

Tabelul A.6.4. Calculul parametrilor arzătorului

No	Donumino	Abrevieri Unit.		Sarcina, %							
JN⊻	Denumme	Abrevien	masură	0	20	40	60	80	100		
1	Presiunea gazului la intrare	Р	Ра	3500	3500	3500	3500	3500	3500		
2	Consum de gaz în arzător	Vg	m ³ /c	0,00010	0,03023	0,06047	0,09070	0,12093	0,15116		
3	Consum de aer în arzător	Va	m ³ /c	0,00010	0,33860	0,65571	0,95131	1,22542	1,47803		
4	Consum de amestec aer-gaz	V _{am}	m ³ /c	0,00020	0,36884	0,71617	1,04201	1,34635	1,62919		
5	Presiunea în focar	Pf	Ра	0,0	24,0	96,0	216,0	384,0	600,0		
6	Presiunea reală	Pr	Ра	0,0006	57,4652	229,8609	517,1870	919,4436	1554,490 2		
	4.1.Jeturile arzătorului										
1	Coeficientul de consum	К	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		
2	Consum de gaz în arzător			0,00001	0,003023268	0,0060465	0,0090698	0,0120931	0,015116 3		
3	Coeficientul de pătrundere a jetului	К _р	-	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65		
4	Coeficientul de comprimare a jetului	Кc	-	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62		
5	Fanta (distanța) arzătorului	В	mm	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5		

Continuare. Tabelul A.6.4

6	Viteza de scurgere a gazului	W	m/sec	0,176838826	53,46311295	106,92623	160,38934	213,85245	40,0413
7				0.0142402(2	2(2(175(22	50 000774	74 102052	05.9(2502	116,0013
/	Viteza amestecului	W	m/sec	0,014240363	26,261/5633	50,992774	/4,193053	95,862593	9
8	Coeficientul de influență a jetului	Кстр	-	1,99951139	1,99951139	1,9995114	1,9995114	1,9995114	1,999511
0	Adâncimea relativă de pătrundere a	h/d		10 53107652	3 2018/3/11	3 2070587	3 4000231	3 5086066	0,542893
9		II/d	-	19,55107052	5,201845411	5,2919581	5,4000251	5,5080000	26.93898
10	Diametrul orificii (calculat)	d _p	mm						9
11	Diametrul orificii (acceptat)	d	mm	3	3	3	3	3	3
12	Suprafata orificiului	S	mm^2	7 068583471	7 068583471	7 0685835	7 0685835	7 0685835	7,068583
12		5	11111	7,000505471	7,000303471	7,0005055	7,0005055	7,0005055	377 5186
13	Suprafața necesară a orificiilor	S _{sum}	mm ²						9
14	Număr arifiaii (aslaulat)								53,40796
14		Π _c	-						9
15	Numar orificii (acceptat)	n	-	8	8	8	8	8	8
16	Suprafața orificiilor	S	mm ²	56,54867	56,54867	56,54867	56,54867	56,54867	56,54867
16 17	Suprafața orificiilor Pasul relativ pentru orificii	S k _s	mm ²	56,54867 18,98046	56,54867 18,98046	56,54867 18,98046	56,54867 18,98046	56,54867 18,98046	56,54867 18,98046
16 17 18	Suprafața orificiilor Pasul relativ pentru orificii Consum real de gaz	S k _s V _g	mm ² - m ³ /sec	56,54867 18,98046 0,00001	56,54867 18,98046 0,00302	56,54867 18,98046 0,00605	56,54867 18,98046 0,00907	56,54867 18,98046 0,01209	56,54867 18,98046 0,00226
16 17 18 19	Suprafața orificiilor Pasul relativ pentru orificii Consum real de gaz Coeficientul real de consum	S k _s V _g	mm ² - m ³ /sec	56,54867 18,98046 0,00001 22,05119	56,54867 18,98046 0,00302 0,66667	56,54867 18,98046 0,00605 0,66667	56,54867 18,98046 0,00907 0,66667	56,54867 18,98046 0,01209 0,66667	56,54867 18,98046 0,00226 0,09986
16 17 18 19 20	Suprafața orificiilor Pasul relativ pentru orificii Consum real de gaz Coeficientul real de consum Supraconsum de gaz	S k _s V _g	mm ² - m ³ /sec	56,54867 18,98046 0,00001 22,05119 13507,08835	56,54867 18,98046 0,00302 0,66667 0,04084	56,54867 18,98046 0,00605 0,66667 0,02042	56,54867 18,98046 0,00907 0,66667 0,01361	56,54867 18,98046 0,01209 0,66667 0,01021	56,54867 18,98046 0,00226 0,09986 0,00122
16 17 18 19 20 21	Suprafața orificiilor Pasul relativ pentru orificii Consum real de gaz Coeficientul real de consum Supraconsum de gaz Adâncimea de pătrundere a jetului	$ \frac{S}{k_s} \\ - \\ h_1 $	mm ² - m ³ /sec - mm	56,54867 18,98046 0,00001 22,05119 13507,08835 58,59323	56,54867 18,98046 0,00302 0,66667 0,04084 9,60553	56,54867 18,98046 0,00605 0,66667 0,02042 9,89388	56,54867 18,98046 0,00907 0,66667 0,01361 10,20007	56,54867 18,98046 0,01209 0,66667 0,01021 10,52582	56,54867 18,98046 0,00226 0,09986 0,00122 1,62868
16 17 18 19 20 21	Suprafața orificiilor Pasul relativ pentru orificii Consum real de gaz Coeficientul real de consum Supraconsum de gaz Adâncimea de pătrundere a jetului Adâncimea relativă de pătrundere a	$\frac{S}{k_s}$ $\frac{V_g}{-}$ h_1	mm ² - m ³ /sec - mm	56,54867 18,98046 0,00001 22,05119 13507,08835 58,59323	56,54867 18,98046 0,00302 0,66667 0,04084 9,60553	56,54867 18,98046 0,00605 0,66667 0,02042 9,89388	56,54867 18,98046 0,00907 0,66667 0,01361 10,20007	56,54867 18,98046 0,01209 0,66667 0,01021 10,52582	56,54867 18,98046 0,00226 0,09986 0,00122 1,62868
16 17 18 19 20 21 22	Suprafața orificiilor Pasul relativ pentru orificii Consum real de gaz Coeficientul real de consum Supraconsum de gaz Adâncimea de pătrundere a jetului Adâncimea relativă de pătrundere a jetului	S k_{s} V_{g} $-$ h_{1} h_{1}/d	mm ² - m ³ /sec - mm -	56,54867 18,98046 0,00001 22,05119 13507,08835 58,59323 2,60414	56,54867 18,98046 0,00302 0,66667 0,04084 9,60553 0,42691	56,54867 18,98046 0,00605 0,66667 0,02042 9,89388 0,43973	56,54867 18,98046 0,00907 0,66667 0,01361 10,20007 0,45334	56,54867 18,98046 0,01209 0,66667 0,01021 10,52582 0,46781	56,54867 18,98046 0,00226 0,09986 0,00122 1,62868 0,07239
16 17 18 19 20 21 22 23	Suprafața orificiilor Pasul relativ pentru orificii Consum real de gaz Coeficientul real de consum Supraconsum de gaz Adâncimea de pătrundere a jetului Adâncimea relativă de pătrundere a jetului Diametrul jetului la ieșire	S k_{s} V_{g} $-$ h_{1} h_{1}/d d_{i}	mm ² - m ³ /sec - mm - mm	56,54867 18,98046 0,00001 22,05119 13507,08835 58,59323 2,60414 43,94492	56,54867 18,98046 0,00302 0,66667 0,04084 9,60553 0,42691 7,20415	56,54867 18,98046 0,00605 0,66667 0,02042 9,89388 0,43973 7,42041	56,54867 18,98046 0,00907 0,66667 0,01361 10,20007 0,45334 7,65005	56,54867 18,98046 0,01209 0,66667 0,01021 10,52582 0,46781 7,89436	56,54867 18,98046 0,00226 0,09986 0,00122 1,62868 0,07239 1,22151
16 17 18 19 20 21 22 23 24	Suprafața orificiilor Pasul relativ pentru orificii Consum real de gaz Coeficientul real de consum Supraconsum de gaz Adâncimea de pătrundere a jetului Adâncimea relativă de pătrundere a jetului Diametrul jetului la ieșire Pasul relativ pentru orificii	S k_{s} V_{g} $-$ h_{1} h_{1}/d d_{i} k_{i}	mm ² - m ³ /sec - mm - mm	56,54867 18,98046 0,00001 22,05119 13507,08835 58,59323 2,60414 43,94492 0,00000	56,54867 18,98046 0,00302 0,66667 0,04084 9,60553 0,42691 7,20415 6,67749	56,54867 18,98046 0,00605 0,66667 0,02042 9,89388 0,43973 7,42041 6,48288	56,54867 18,98046 0,00907 0,66667 0,01361 10,20007 0,45334 7,65005 6,28828	56,54867 18,98046 0,01209 0,66667 0,01021 10,52582 0,46781 7,89436 6,09367	56,54867 18,98046 0,00226 0,09986 0,00122 1,62868 0,07239 1,22151 39,38210
16 17 18 19 20 21 22 23 24	Suprafața orificiilorPasul relativ pentru orificiiConsum real de gazCoeficientul real de consumSupraconsum de gazAdâncimea de pătrundere a jetuluiAdâncimea relativă de pătrundere a jetuluiDiametrul jetului la ieșirePasul relativ pentru orificii4.2.Jeturi auxiliare	$\begin{array}{c c}S\\k_s\\V_g\\\hline\\\hline\\h_1\\h_1/d\\d_i\\k_j\\\hline\end{array}$	mm ² - m ³ /sec - mm - mm	56,54867 18,98046 0,00001 22,05119 13507,08835 58,59323 2,60414 43,94492 0,00000	56,54867 18,98046 0,00302 0,66667 0,04084 9,60553 0,42691 7,20415 6,67749	56,54867 18,98046 0,00605 0,66667 0,02042 9,89388 0,43973 7,42041 6,48288	56,54867 18,98046 0,00907 0,66667 0,01361 10,20007 0,45334 7,65005 6,28828	56,54867 18,98046 0,01209 0,66667 0,01021 10,52582 0,46781 7,89436 6,09367	56,54867 18,98046 0,00226 0,09986 0,00122 1,62868 0,07239 1,22151 39,38210
16 17 18 19 20 21 22 23 24 1	Suprafața orificiilorPasul relativ pentru orificiiConsum real de gazCoeficientul real de consumSupraconsum de gazAdâncimea de pătrundere a jetuluiAdâncimea relativă de pătrundere a jetuluiDiametrul jetului la ieșirePasul relativ pentru orificii4.2.Jeturi auxiliareCoeficientul de consum	S k_{s} V_{g} $-$ h_{1} h_{1}/d d_{j} k_{j} κ	mm ² - m ³ /sec - mm - mm -	56,54867 18,98046 0,00001 22,05119 13507,08835 58,59323 2,60414 43,94492 0,00000 -21,05119	56,54867 18,98046 0,00302 0,66667 0,04084 9,60553 0,42691 7,20415 6,67749 0,33333	56,54867 18,98046 0,00605 0,66667 0,02042 9,89388 0,43973 7,42041 6,48288 0,33333	56,54867 18,98046 0,00907 0,66667 0,01361 10,20007 0,45334 7,65005 6,28828 0,33333	56,54867 18,98046 0,01209 0,66667 0,01021 10,52582 0,46781 7,89436 6,09367 0,33333	56,54867 18,98046 0,00226 0,09986 0,00122 1,62868 0,07239 1,22151 39,38210 0,90014

3	Coeficientul de comprimare a jetului	к _{сі}	-	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
4	Fanta (distanța) arzătorului	В	mm	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5
5	Viteza de scurgere a gazului	W	m/sec	0,02546	7,69869	15,39738	23,09606	30,79475	40,04130
6	Viteza amestecului	W	m/sec	0,01424	26,26176	50,99277	74,19305	95,86259	116,0013 9
7	Coeficientul de influență a jetului	к _і	-	1,60092	1,60092	1,60092	1,60092	1,60092	1,60092
8	Adâncimea relativă de pătrundere a jetului	h/d	-						0,43467
9	Diametrul orificii (calculat)	d _c	mm						36,23428 9
10	Diametrul orificii (acceptat)	d	mm	30	30	30	30	30	30
11	Suprafața orificiului	S	mm ²	706,85835	706,85835	706,85835	706,85835	706,85835	706,8583 5
12	Suprafața necesară a orificiilor	S ₀	mm ²						3718,638 2
13	Număr orificii (calculat)	n _p	-						5,260796 9
14	Număr orificii (acceptat)	n	-	5	5	5	5	5	5
15	Suprafața orificiilor	S	mm ²	3534,29174	3534,29174	3534,29174	3534,29174	3534,29174	3534,291 74
16	Pasul relativ pentru orificii	k _s	-	3,03687	3,03687	3,03687	3,03687	3,03687	3,03687
17	Consum real de gaz	Vg	m/sec	0,02546	7,69869	15,39738	23,09606	30,79475	40,04130
10									0,141517
10	Consumul de gaz (auxiliar)	V_{g}	m ³ /sec	0,00009	0,02720941	0,0544188	0,0816282	0,1088376	6
18	Consumul de gaz (auxiliar) Adâncimea de pătrundere a jetului	V _g h ₂	m ³ /sec mm	0,00009 67,55479	0,02720941 11,07465	0,0544188 11,40710	0,0816282 11,76012	0,1088376 12,13570	6 13,04013
19 20	Consumul de gaz (auxiliar) Adâncimea de pătrundere a jetului Adâncimea relativă de pătrundere a jetului	$\frac{V_g}{h_2}$ $\frac{h_2/d}{d}$	m ³ /sec mm	0,00009 67,55479 3,00244	0,02720941 11,07465 0,49221	0,0544188 11,40710 0,50698	0,0816282 11,76012 0,52267	0,1088376 12,13570 0,53936	6 13,04013 0,57956
18 19 20 21	Consumul de gaz (auxiliar) Adâncimea de pătrundere a jetului Adâncimea relativă de pătrundere a jetului Diametrul jetului la ieșire	V_g h_2 h_2/d d_i	m ³ /sec mm - mm	0,00009 67,55479 3,00244 50,66610	0,02720941 11,07465 0,49221 8,30599	0,0544188 11,40710 0,50698 8,55532	0,0816282 11,76012 0,52267 8,82009	0,1088376 12,13570 0,53936 9,10177	6 13,04013 0,57956 9,78010
19 20 21 22	Consumul de gaz (auxiliar) Adâncimea de pătrundere a jetului Adâncimea relativă de pătrundere a jetului Diametrul jetului la ieșire Pasul relativ pentru orificii	$\begin{array}{c} V_{g} \\ h_{2} \\ \hline h_{2}/d \\ \hline d_{j} \\ \hline k_{j} \end{array}$	m ³ /sec mm - mm -	0,00009 67,55479 3,00244 50,66610 0,00000	0,02720941 11,07465 0,49221 8,30599 9,26669	0,0544188 11,40710 0,50698 8,55532 8,99662	0,0816282 11,76012 0,52267 8,82009 8,72656	0,1088376 12,13570 0,53936 9,10177 8,45649	6 13,04013 0,57956 9,78010 7,86996

Metódica de dirijare automată a arzătorului de gaze naturale (formarea și menținerea omogenității amestecului aer-gaz). Principiul de dirijare automatizată a arzătorului de gaze. Brevet de Invenție. Certificat de prioritate a invenției. Figura 7.1



TOP		A REPUBLICE	MOLDOVA	
1000	== <u>156</u> dia <u>2002</u> 02 11	_		
		ERI	TIFIC	АТ
		DE PRIOR	TATE A INVEN	TIEI
	Party and	(21) Nr.	depozitului : a 2001 012	
68	GERI	(22) Data	depozitului : 2001.05.03	2
W.	ALTER A	(71) Solic	itant: "AFN", S.R.L., Fin	nā, MD
		(54) Tith	arzătorului de	dirijare automatizata a e gaze
	N de re	umārul vendicāri,	Numărul de	Numärul de file,
1 Marson	in in	total 2	desene	în total 12
	Prir	prezentul	se certifică că d	locumentele anexate
	constituie la Ager Republici	copie identica nia de Stat p i Moldova	a Cererii de breve entru Protecția Pro	t de invenție depuse prietății Industriale a
1 Bach B				Director General
				Agrif.
12				che.

-

REPU	BLICA	MD 1908 G2 2002. MOLDOVA
(19) Agenția de Stat pentru Protecția Proprietății Indu	ustriale	(11) 1908 (13) G2 (51) Int. Cl. ⁷ : F 23 N 1/02, 5/02
(12) BRE	VET	DE INVENȚIE
(21) Nr. depozit: a 2001 0121 (22) Data depozit: 2001.05.02		(45) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2002.04.30, BOPI nr. 04/2002
(71) Solicitant: Firma "AFN", S.R.L., M (72) Inventatori: NICU Tudor, MD; DA (73) Titular: Firma "AFN", S.R.L, MD	D UD Vasile, M	ID; CERNEAVSCHI Mihai, MD
(54) Metodă de dirijare automa (57) Rezumat:	itizată a ai	rzătorului de gaz
Invenția se referă la automatizarea pro termoenerșețice, în special la metode de automatizată a funcționării arzătoarelor - corpuse din blocuri destinate pentru utili carane de apă și de abur, generatoare termici instalții termice industriale, care funcțione gaz natural sau combustibil lichefat. Estat invenției consă în aceea câ în p de dirijare automatizată a funcționării arzător de dirijare automatizată a funcționării arzător ceratera în spațiui închii dintre supapa princi ceratera dintre dintre supapa princi ceratera dintre dintre dintre dintre dintre dintre dintre ceratera dintre dintre dintre dintre ceratera dintre dintre dintre dintre dintre dintre dintre ceratera dintre dintre dintre dintre dintre dintre dintre ceratera dintre dintre dintre dintre ceratera dintre dintre dintre dintre dintre	roceselor dirijare de gaz zare în se și alte azaž cu rocesul rului de 10 pale se ui prin ipală și cu cea 060 s rraturii, 15	2 după oprirea arzlotorului prin crearea în spațiul inchisi dintre supapele principală și de lucru a presiunii gazului egală cu presiunea de la intrarea în arzător și timp de 60 s cu interval de 1060 s se efectuează măsurări ale presiunii și temperaturii, iar raportul dintre valorile presiunii și valorile cores- punzitoare ale temperaturii servește drept criteriu de ermeticiatea supapelor. Verificare separată, usor realizabilă din punct de verificare separată, usor realizabilă a nemeticității supapelor principală și de lucru ale arzătorului de gaz. Revendicări: 2 Figuri: 1



Scema de conectare a arzătorului la cazan

Mențiune:

Conducta de gaze – 1. Robinete electromagnetice de bază și de lucru – 2, 3. Conductă de purjare cu robinetul de siguranță – 4, 5. Traductoarele de presiune și de temperatură – 6, 7. Traductorul 8 pentru măsurarea presiunii diferențiale a gazului– 8. Regulatorul automatizat de debit de gaze - 9. Ventilatorul – 10. Regulator automatizat de debit de aer – 11. Traductor de presiune diferențială a aerului – 12. Mecanismul de aprindere – 13. Mecanismul de controlul flăcării – 14. Blocul de comandă – 15. Focar/Cazanul – 16. Traductorul de securitate - 17. Blocul de comandă – 15.

Anexa 8.

Certificate de înregistrare a obieectelor ocrotite cu dreptul de autor, AGEPI

Programul de calcul a temperaturii gazelor pentru optimizarea proceselor tehnologice în sisteme termoenergetice.

REPUBLICA MOLDOVA AGENȚIA DE STAT PENTRU PROPRIETATEA INTELECTUALĂ I ERI F DE ÎNREGISTRARE A OBIECTELOR OCROTITE DE DREPTUL DE AUTOR ȘI DREPTURILE CONEXE Seria PC nr. 358/1411 din 09 februarie 2007 In temeiul Legii privind dreptul de autor și drepturile conexe nr. 293-XIII din 23.11.1994 "Program de calcul a temperaturii gazelor pentru optimizarea proceselor tehnologice în sisteme termoenergetice" Program pentru calculator a fost înregistrată în Registrul de Stat al operelor ocrotite de dreptul de autor și drepturile cor Titular(s) a drepturilor nepatrimoniale Daud Vasile Petru (pseudonim sică) Titular(i) a drepturilor patrimonial Daud Vasile Petru (pseudonim sică) Director General Chișinău

Program de calcul al parametrilor arzătoarelor cu control electronic de putere variabilă.



Studiul tehnicilor de stabilizare a proceselor de ardere în arzătoare de gaze cu putere variabilă

REP	UBLICA MOLDOVA
AGENȚIA DE STAT PE	NTRU PROPRIETATEA INTELECTUALĂ
CER DE ÎNRECISTRARE A	TIFICAT OBJECTELOR OCROTITE DE DREPTUL
DE AUTO	R ȘI DREPTURILE CONEXE
Seria	PC nr. 1090/1911
di	n 17 aprilie 2008
In temeiul Legii privind dreptu	l de autor și dreptunle conexe nr. 293-XIII din 23.11.1994
"Studiul tehnicilor de s	tabilizare a proceselor de ardere în arzătoare
de	gaze cu putere variabilă"
	Program pe calculator
fost înregistrată în Registrul de Sta	t al operelor ocrotite de dreptul de autor şi drepturile conexe.
Titula	r(1) a drepturilor nepatrimoniale
Daud Va	sile Petru, Nicu Roman Tudor
(num	cie de tamisse, prenumere, parronamicar)
Titul David Va	ar(i) a drepturilor patrimoniale
(numele de	familie, prenurele, patronimicul (denumirea))
A STATE A STA	Director General
	S OP
	- W. Church
ALL	Chisinăn
	Compandu

Acte de implementare a realizărilor teoretice și practice de către întreprinderea "RGG" SRL la producera arzătoarelor cu putere variabilă de tip DAVA

Anexa 9.

Act de implementare la AS "Floare Carpet", SA "Termocom", AS "Apă Canal Chișinău", centrala termică autonomă "Aeroport" (Chișinău).

ACT referitor îndeplinirii lucrărilor de implementare tehnică 01.12.2008 mun. Chişinãu Pezentul act este Intoemit In baza Contractului de colaborare din 01 aprille dintre întreprinderlie «Floare Carpet » SA şi «Colonan mecanizata pe ucarfile de gazificare din or Chisindus SA referiro indenținirii lucrărilo construcție și montare telmică a centralei termice, dodari i (implementiii lucrărilo insialățiilor de arter șa gazelor naturale - azvitarea de tij «DAVA». are din 01 aprilie 2005 Lucrările de construcție și montare au fost îndeplinite conform cerințelor islației în vigoare, cerințelor standardelor și documentației de proiect. Centrala termică a fost recepționată și pusă în funcțiune în conformitate cu rintele documentației normativ-tehnice. va ucumanaja i nonanit-reanito, sijai da la rezultade de monitorizare referitor funcționării centralei termice innetrii tehnologici tabiliți nonantiro. Ingei azumitor de refuzuri tehnologice, technice, functionării sistemului în regina atomat, tednorii chehnicilelle tarena tehnicel și la oblinerea agentului termice pentru acopuri tehnologice, emului (d. - 20, -20, %, a se califică <u>pergite</u> funcționarea centralei termice cu instalții de adrea a gazelor naturale - d.D.AVA». alații de ardere a gazder naturile - «DAVA». conomie sete format din producerea și utilizarea agentului termic de calitate trativ cu energia termică receptionată din sistemul centralizat municipal, assimum posibi a temperaturilor de ardere a gazder naturele, și cu armare sumului de energie termică pentru o unitate de produs tehnologie. vi sa cheluti finaciar mai purito u 4 - 0% anulă fată de perioada merea în funcțiume a centrulei termice - dotată cu instalații de ardere a rafie - azaloare de tii șo dDVA». Actul esre întocmit în două exemplare. Director executiv 'omany Gaz Group» SRL» Inginer şef «Floare Carpet » S A Valeriu CHICIUC





	CARLS OF RULE OF HERE		electrica	Call in the second	
	kWh/an	Gcal/an	kWh/Gcal	m3/an	u.r.
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	Centrale termid	e suburbane	117 F. T.	S	
6021 Bubuieci	114 749	2 988.8	38.4	447 021	95.5
6022 Bubuleci Primăria	739	50.4	14.7	7 817	92.1
6051 Durlesti	110 368	2 921.7	37.8	453 890	92.0
6061 Vatra	120 080	2 597.5	46.2	395 889	93.7
6061 Dobruja	171 109	4 736.22	36.1	731 533	92.5
6121 Colonita, scoala	9 907	497.9	19.9	77 239	92.1
6122 Colonita, gradinita	7 690	120.8	63.7	19 142	90.2
6131 Ciorescu	282 742	7 165,8	39,5	1 092 286	93,7
6141 Cricova	304 433	7 242,7	42,0	1 104 229	93,7
6142 Cricova, Scoala	10,999	723.7	15.2	114 811	90.0

Volumul de consum al gazelor naturale comparativ cu volumul de consum de câtre utilajele anterior existent în dotare constituie 5 -7 % din volumul total utilizat pentru producerea aceiași cantități de agent termic.

Prim vicedirector S.A. "Termocon" Vasile I.F.U



Certificate de Conformitate a arzătoarelor de tip DAVA, în Sistemele Naționale de Cerificare a Rep. Moldova, Ucraina, Romania, Rusia, producător "RGG" SRL Anexa 10.









Anexa 11.

Autorizație pentru implementare al arzătoarelor cu sarcină variabilă de tip "Dava" -Federația Rusă, Ucraina, producător "RGG" SRL,







INSTITUTUL NAȚIONAL DE STANDARDIZARE ȘI METROLOGIE

CERTIFICAT DE APROBARE DE MODEL

Nr. 791 Data 12.09.2011

 Valabil pînă la
 "12"
 septembrie 2016

 În conformiate cu prevederile Legii metrologiei nr. 647- XIII din 17.11.1995 cu modificările și completările ulterioare aprobate prin Legea nr. 222.XVI din 25 octombrie 2007, prin Hotărica Organismului național de metrologie Nr. 0031-M art.5 din .12" septembrie 2011 se eliberează prezentul certificat de aprobare de model pentru mijocul de măsurare

Corector electronic de volum de gaz tip FLUX-1

Pentru modelul aprobat se stabilește obligatoriu verificarea metrologică inițială și periodică cu perioada de verificare - în conformitate cu perioada de verificare a mijlocului de măsurare cu care se utilizează în complet. Acest certificat atestă conformitatea modelelor cu nr. de fabricație

corector electronic de volum de gaz tip FLUX-1 nr. C-123

Conformitatea a fost stabilită prin încercările metrologice de aprobare de model descrise în raportul parte componentă a dosarului Nr. 289 b. care cuprinde 135 file.

Pe fiecare mijlog de másurare livrat se va aplica, prin grija solicitantului, marcajul aprobării de model, care ale se conforminer a cestuia cu modelul aprobat.



Vitalie DRAGANCEA

Instrucția de instalare, exploatare și deservire tehnică a arzătorului cu sarcină variabilă

Introducere. Prezenta Instrucțiune este destinată pentru a asigura funcționare instalației de ardere al gazelor naturale, însușirea regulilor și metodelor de instalare, exploatare și întreținere a arzătorului sarcină variabilă. Montarea, exploatarea, deservirea tehnică a arzătoarelor trebuie efectuate numai de persoane care cunosc construcția și principiile de funcționare acestora, posedă o pregătire specială. Montarea și punerea în funcțiune a arzătoarelor trebuie să se efectueze conform cerințelor recomandațiilor tehnice adoptate de producător și criteriilor normativ – tehnice din domeniu. Exploatarea inofensivă a arzătoarelor se asigură prin efectuarea sistematica a lucrărilor de mentenanță. Pentru asigurarea unei funcționări sigure pe perioadă determinată constructiv, este necesar de a verifica periodic dispozitivele de măsurare tehnologice din componența arzătorului.

Indicații privind lucrările de securitate Arzătorul trebuie să fie utilizat conform destinației indicate în Fișa tehnică și exploatat în corespundere cu Instrucțiunea pentru exploatare. La exploatarea arzătorului trebuie să fie respectate cerințele privind protecția contra electrocutării, indicate în "Regulile de exploatare tehnică a instalațiilor electrice ale consumatorilor" și în "Regulile securității muncii la exploatarea instalațiilor electrice ale consumatorilor". La deservirea arzătorul trebuie să fie admise persoanele care au însușit regulile și metodele de exploatare ale arzătorul conform Regulilor de exploatare tehnică și Regulilor securității muncii, caracteristici antiincendiar și sunt admise la lucrările cu instalațiile de gaz. La exploatarea arzătorul trebuie să asigure deservirea tehnică și controlul bunei funcționări a acestuia, să respecte cu strictețe cerințele securității. Nu se admite scurgeri de gaz în procesul de exploatare a arzătorului.La exploatarea arzătoarelor este interzis: admiterea personalului neinstruit; efectuarea lucrărilor de reparație la arzătoarele puse în funcțiune; utilajul nereglat sau defectate;

3.Componența arzătorului și variantele de utilizare

Arzătorul de gaz este o instalație unificată constructiv. Componența arzătorului (desenul 1):



Desenul 1. Componenta arzatorului monobloc automat de gaz tip "DAVA"

1 – rețea de gaz;2 – rețea de aer; 3 – bloc electronic de comandă cu microprocesor; 4 – ventilator;5 – traductor de presiune Pg1 pentru măsurarea presiunii de gaz la intrare; 6, 7, 8 – ventile de gaz automate VGA1, VGA2 și VGA3; 9 – traductor de temperatură gaz Tg în dispozitivul de control a etanșeității ventilelor VGA1, VGA2 și VGA3; 10 – traductor de presiune gaz Pg2 în dispozitivul de control al etanșeității ventilelor VGA1, VGA2 și VGA3; 11 – regulator de debit gaz cu servomotor - RG; 12 – regulator de debit de aer cu servomotor - RA; 13 – traductor de presiune diferențială dPa proporțională debitului de aer la ardere;14 – traductor de presiune diferențială dPg proporțională debitului de gaz la ardere;15, 16 – electrozii dispozitivului de control ai flăcării;17 – electrodul dispozitivului de aprindere;18 – deflector;

4. Prestabilirea parametrilor de funcționare și securitate.

Funcționarea eficientă și inofensivă a arzătorului este asigurată prin parametrii prestabiliți de funcționare și de protecție. Acești parametri sunt divizați în două categorii: parametri neoperativi, care se ajustează rar și nu necesită intervenții din partea personalului de serviciu și parametri operativi - precum sunt puterea calorică, temperatura sau presiunea agentului termic, care necesită un acces liber la modificarea acestora. **Setarea parametrilor** - Fixarea parametrilor ai arzătorului se efectuează de către reglator/ montator la etapa lucrărilor de montare-ajustare în conformitate cu metodele indicate. **Parametrii operativi ai arzătorului -** Din parametrii operativi ai arzătorului fac parte puterea **Pw** și temperatura agentului termic **Tc** (sau presiunea aburului **Pc**).

Montarea, conectarea și pornirea

Inițial se efectuează montarea arzătorului la instalație – cazan/sobă sau alte utilaje.

Setarea parametrilor tehnologici -

- Setarea modului de reglare a aerului;
- Setarea valorilor limită a presiunii gazului $Pg1_{min}$ și $Pg1_{max}$ la intrare în arzător;
- Setarea puterii limită;
- Setarea temperaturii limită Tc_{max} (sau a presiunii limită Pc_{max}) de oprire arzător;
- Prestabilirea vitezei de creștere a temperaturii apei în cazan;
- Setarea valorii presiunii/ depresiunii limită în canalul de evacuare a gazelor de ardere;
- Setarea ceasului;
- Calibrarea traductorilor de presiune;
- Calibrarea analizorului de oxigen (opțional);
- Setarea arzătorului pentru creșterea puterii în regim lent.
- Testarea ventilelor de gaz automate VGA1 VGA4
- Testarea regulatoarelor de debit aer și debit gaz
- Testarea ventilatorului

Testarea dispozitivului de aprindere

Testarea dispozitivelor pentru controlul flăcării

Testarea dispozitivului de declanşare alarme

5.Conectarea (montarea) la rețeaua de gaze

Conectați arzătorului la conducta de gaz.

Prin reglarea gazului de la postul de reglare gaz asigurați presiunea gazului la intrare în arzător în limitele prescrise în fișa tehnică a arzătorului.

Verificați etanșeitatea în punctul de unire al arzătorului la rețeaua de gaz.

După instalarea la cazan, arzătorul se verifică din punct de vedere al securității, conform metodei de deservire tehnică lunară.

După necesitate se efectuează setarea datelor cu funcții speciale în conformitate cu punctele enumerate mai jos din Instrucțiunile de reglare:

Setarea diagramei procesului tehnologic comandat

Setarea regimului de funcționare conform unui "grafic" de încălzire

Prestabilirea corecției graficului de încălzire în funcție de zilele săptămânii

Modul de funcționare

Pornirea, setarea parametrilor și regimului de lucru, oprirea, intervenții în situații de alarmă sau deconectarea arzătorului se efectuează de la panoul blocului electronic.

6. Program de operare cu arzătorul - Oprirea, intervenții în situații de alarmă sau deconectarea arzătorului se efectuează de la panoul blocului electronic al arzătorului.

7. Caracteristici tehnice de funcționare ai arzătorului cu sarcină variabilă de tip DAVA.

Fișă de regim tehnolgic privind funcționarea cazanului (*denumirea cazanului*) echipat cu arzător cu sarcină variabilă de tip "DAVA ".

Raport tehnologic de reglare și a calității de ardere a gazelor combustibile la funcționarea cazanului echipat cu arzător cu sarcină variabilă de tip "DAVA "

CARACTERISTICI TEHNICE

de funcționare ai arzătorului cu sarcină variabilă de tip DAVA

Componenţaconstructivă a standului de experimentare a proceselor de amestec pentru arderea gazelor naturale combustibile (p.3.2.1) prevede setul de senzori de măsurare a gazele arse, care sînt măsurate cu analizorul de gaz, valori stabilite în limitele nominale, tabelul nr. 1, proces la care flacăra arde stabil, asigur]nduse calitatea arderii.

Componența arzătorului, (desenul nr.1 a przentei Anexe) precum și Schema de instalare – montare a arzătoarelor la cazanele din centrale termice (p. 3.6.4), metodica - programul de calcul a parametrilor arzătoarelor modulare cu putere variabilă pentru arderea gazelor naturale combustibile(fig.3.22.) asigură indeplinirea condițiilor tehnice de funcționare la parametrii calculați.

Ajustarea amestecului aer/gaz în dependență de concentrația O₂se efectuează suplimentar în proces cu analizatoare de oxigen fapt de măsurare realizatla Standul de experimentare la ieșirae din în coșul de fum a gazelor arse, asigurând prin aceasta verificarea valorilor parametrilor de ardere a gazelor combustibile, asigurînduse :

- a) o ardere completă și
- b) o degajare maximă de căldură (tabelul nr. 1).

Calitatea înaltă a arderii este asigurată prin reglarea permanentă amestecului gaz-aerîn timpul arderii pe întrega perioadă de variere a sarcinii arzătorului.

Arzătorul este calculat pentru a funcționa la parametrii calculați în condiții:

- a) de temperatură în intervalul valorilor de la 10 °C până la 35 °C;
- b) temperaturi limite de lucru de la 1°C pînă la 40 °C;
- c) cu o umiditate relativă a aerului până la 80 % raportată la temperatura de 25 °C.

Calitatea arderii se menține pe tot intervalul de reglare a puterii arzătorului prin măsurarea în timp real a volumelor de gaz și aer cu reglare separată a acestora, factor ce asigura un amestec optimal la ardere, independent de:

- a) presiunea gazului la intrare;
- b) presiunea în focar; presiunea atmosferică.

Reglarea puterii în procesul de ardere se efectuiază prin determinarea consumului de aer și gaz.

Coeficientul de exces de aer (α) se menține constant la valoarea de 1,05 – 1,15 pe tot intervalul de reglare a puterii arzătorului.

Valorile parametrilor α , CO și NO_x în gazele arse sînt măsurate cu analizorul de gaz, valori stabilite în limitele nominale la care flacăra arde stabil fără rupere sau absorbție (pătrundere în gura arzătorului, stingere).

Parametrii tehnologici stabiliţinormativ prin calcul

												Ta	belul nr.
							Arzăto	are					
Denumirea parametrului	DAVA 40	DAVA 70	DAVA 120	DAVA 170	DAVA 250	DAVA 350	DAVA 500	DAVA 630	DAVA 750	DAVA 1000	DAVA 2000	DAVA 3000	DAVA 5000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Combustibil	gaz natural												
Domeniul de reglare al debitului caloric, kW	11 - 45	20 - 80	30 - 140	50 - 200	70 - 280	90 - 380	125- 550	170 - 680	185- 825	250- 1100	550 - 2200	825 - 3300	1300 - 5500
Aprindere arzător principal	Prin aprindere directă						Cu arz. de aprind ere						
Modul de reglare putere calorică		modulat											
Pr. nominală gaz la intrare, kPa	$3,7 \pm 15\%$ (presiune joasă) sau $30 \pm 10\%$ (presiune medie) $4,5 \pm 15\%$ (presiune joasă) sau $30 \pm 10\%$ (presiune medie)												
Valori limită P gaz intrare, kPa		Pg min = 0,7 Pg1 пом.; Pg max = 1,3 Pg1 пом. (setări valori în regim TEST - «Setări parametri»)											
Intervalul de măsurare a P gaz (Pg1), kPa		(0 - 6) ± 5 % (presiune joasă) (0 - 50) ± 5 % (presiune medie)											

											Та	abelul 1	nr.1 (c
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Intervalul de măsu- rare a P diferențial gaz (dPg), Pa		(0-1000) ±4 %											
Intervalul de măsurare a P diferențialaer (dPa), Pa		(0-1000) ±4 %											
Intervalul de măsurare a T agent termic, °C		(0 - 150) ±1,5 – traductor analog, inclus în setul de livrare											
Protecție cazan de apă	La con 2 pres	La comandă se include în setul de livrare: 1 termostat Tmax (40-120 °C) și 2 presostate Pmin (0,7-3,0 bar) , Pmax (3,0-7,0 bar)											
Protecție cazan de abur	La con	La comandă se include în setul de livrare: 1 presostat Pmax și două nivostate SL1min, SL2max											
Intervalul de măsu- rare a P depresiune în horn, Pa		(-500 500) ± 4%											
Contrpresiunea în focar, pînă la, Pa	200	200	300	300	400	400	600	600	700	700	900	1000	900
Lungimea flacării, L _{max} , mm	350	500	600	850	1050	1350	1500	1600	1800	2000	2450	2800	4000
Diametrul flacării, D _{max} , mm	200	300	320	350	400	420	450	500	550	550	700	800	950
Conținutul CO în produsele de ardere, ppm		0 - 20											
Conținutul NO _x , ppm		45 - 80											
Tensiunea elctrica		~380V, 50 Hz											
Puterea electrică consumată, kW	0,2	0,2 5	0,4 5	0,6 5	0,6 5	0,6 5	0,85	0,8 5	2,4	2,4	4,7	7,8	12, 0
Dimensiuni de gabarit, mm		În conformitate cu desenul de gabarit din anexa B											
Masa, kg	10	12	15	25	35	35	51	54	54	101	150	200	400

FIŞĂ DE REGIM TEHNOLGIC

Privind funcționarea cazanului (denumirea cazanului), echipat cu arzător "DAVA"

(capacitatea arzătorului, nr. de prodcție) instalat în (denumirea centralei termice, denumirea combustibililului (gaz natural 8166 kcal/m3), entalpie abur la 10 Bar 664100 kkal/t)

N	Denumirea parametrului	Unit	1	2	3	4	5	6
1	Sarcina arzătorului in %	•	22	30	50	75	88	100
2	Tata de nominal	t/onă	22	2.0	5.0	75	00	100
<u> </u>	Putoroa arzatorului		<u>2,2</u> 15	3,0 21	3,0	7,5	0,0 6 1	10,0
	Prosiunoa aburuluila iosira	Bor	1 ,5 Q	2,1 Q	9,5 9	<u> </u>	Q	7,0 Q
	Consumul de gaz al arzatorului	$\frac{Dal}{m^{3}/h}$	0 160 3	0 218 1	0 363 4	5463	0 640 1	0 730 1
6	Presiunea gazului in colector	kPa	27	210,1	26.8	26.4	25.4	25.2
7	Presiunea diferențială de gaz	Pa	10	26	83	20, - 202	23,-	368
8	Presiunea diferențială de aer	Pa	38	125	360	610	730	920
9	Depresiunea în cazan	Pa	-20	-20	-20	-20	-20	-20
10	Componenta gazelor de tirai	14						
11	$\frac{1}{02}$	%	3.4	3.0	2.9	2.6	2.5	2.3
12	$\overline{CO2}$	%	9.9	10.0	10.1	10.2	10.3	10.4
13	CO	ppm	10	0	0	0	0	0
15	NOx	ppm	49	63	61	74	77	78
16	Coeficientul excesului de aer		1 19	1 16	1 16	1 14	1 13	1 1 2
17	Temperatura gazelor pînă la economizor	°C	140	171	231	285	308	330
18	Temperatura gazelor după economizor	°C	111	120	135	149	153	158
19	Temperatura aerului	°C	9	11	12	13	15	16
20	Perderi de caldura cu gazele de esapament dupa economizor	%	4,96	5,18	5,84	6,34	6,45	6,58
21	Perderi de caldura in mediul ambiant	%	1,59	1,17	0,70	0,47	0,40	0,35
22	Randamentul dupa economizor	%	93,4	93,7	93,5	93,2	93,2	93,1
23	Debitul de combustibil conventional	kg c.c./Gc	152,9	152,5	152,9	153,3	153,4	153,5
24	Debitul de gaz pentru formarea a 1	kg c.c./Gc	131,0	130,8	131,0	131,4	131,5	131,6
25	Debitul de combustibil conventional pentru formarea	kg	101,5	101,3	101,5	101,8	101,8	101,9
26	Debitul de gaz pentru formarea a 1t	m/t	73,6	73,4	73,6	73,8	73,8	73,9
27	Randamentul mediu	%			9.	3,3		

NOTĂ:

Reglarea Parametrilor Tehnici stabiliți conform Fișei de regim se realizează:
 a) la temperature gazelor combustibile de 8 °C;
 b) la temperature a erului 12 °C.

2. Reglarea neordinară a Parametrilor Tehnici se realizează în următoarele cazuri:

la schimbarea valorii căldurii de ardere a combustibilui mai mult de ±10 %; -

- la devierea parametrilor de la normele stabilite; _
- după reparație capital a arzătorului. -
- _ alte cazuri prevazute normativ.

FIŞĂ DE REGIM TEHNOLGIC

Privind funcționarea cazanului (denumirea cazanului), echipat cu arzător "DAVA"

(capacitatea arzătorului, nr. de prodcție) instalat în (denumirea centralei termice, denumirea combustibililului (gaz natural 8166 kcal/m3), entalpie abur la 10 Bar 664100 kkal/t)

		Unit						
Ν	Denumirea parametrului	·	1	2	3	4	5	6
1	Sarcina arzătorului in % fata de nominal	%	22	30	50	75	88	100
2	Productivitatea deabura	t/oră	2,2	3,0	5,0	7,5	8,8	10,0
3	Puterea arzatorului	Mw	1,5	2,1	3,5	5,2	6,1	7,0
4	Presiunea aburuluila iesire	Bar	8	8	8	8	8	8
5	Consumul de gaz al arzatorului	m ³ /h	160,3	218,1	363,4	546,3	640,1	730,1
6	Presiunea gazului in colector	kPa	27	27	26,8	26,4	25,4	25,2
7	Presiunea diferențială de gaz	Pa	10	26	83	202	282	368
8	Presiunea diferențială de aer	Pa	38	125	360	610	730	920
9	Depresiunea în cazan	Pa	-20	-20	-20	-20	-20	-20
10	Componența gazelor de tiraj							
11		%	3,4	3,0	2,9	2,6	2,5	2,3
12	CO2	%	9,9	10,0	10,1	10,2	10,3	10,4
13	СО	ppm	10	0	0	0	0	0
15	NOx	ppm	49	63	61	74	77	78
16	Coeficientul excesului de aer		1.19	1.16	1.16	1.14	1.13	1.12
17	Temperatura gazelor pînă la economizor	°C	140	171	231	285	308	330
18	Temperatura gazelor după economizor	°C	111	120	135	149	153	158
19	Temperatura aerului	°C	9	11	12	13	15	16
20	Perderi de caldura cu gazele de esapament dupa economizor	%	4,96	5,18	5,84	6,34	6,45	6,58
21	Perderi de caldura in mediul ambiant	%	1,59	1,17	0,70	0,47	0,40	0,35
22	Randamentul dupa economizor	%	93,4	93,7	93,5	93,2	93,2	93,1
23	Debitul de combustibil conventional	kg c.c./Gc	152,9	152,5	152,9	153,3	153,4	153,5
24	Debitul de gaz pentru formarea a 1	kg c.c./Gc	131,0	130,8	131,0	131,4	131,5	131,6
25	Debitul de combustibil conventional pentru formarea	kg	101,5	101,3	101,5	101,8	101,8	101,9
26	Debitul de gaz pentru formarea a 1t	m/t	73,6	73,4	73,6	73,8	73,8	73,9
27	Randamentul mediu	%			93	3,3		

NOTĂ:

Reglarea Parametrilor Tehnici stabiliți conform Fișei de regim se realizează:
 c) la temperature gazelor combustibile de 8 °C;
 d) la temperature a erului 12 °C.

2. Reglarea neordinară a Parametrilor Tehnici se realizează în următoarele cazuri:

la schimbarea valorii căldurii de ardere a combustibilui mai mult de ±10 %; -

- la devierea parametrilor de la normele stabilite;
- după reparație capital a arzătorului. -
- _ alte cazuri prevazute normativ.



"APROBAT" **ÎM "Romany Gaz Group**? S.R.L. Ing. şef Tcaciuc 2016

FIŞĂ DE REGIM

CU RASP privind funcționarea cazanului ДЕ-10-14, echipat cu arzător "DAVA 5000" instalat în CTA firmei "Garma Grup" S.R.L. din s. Firladeni r. Hincesti pentru gaz natural 8170kcal/m3

				<u> </u>		p	the second s	and the second sec
Ν	Denumirea parametrului	Unit. măsură	1	2	3	4	5	6
1	Sarcina arzătorului in % fata de nominal	%	22	30	50	75	88	100
2	Productivitatea de abur a cazanului	t/oră	2,2	3,0	5,0	7,5	8,8	10,0
3	Puterea arzatorului	Mw	1,5	2,1	3,5	5,2	6,1	7,0
4	Presiunea aburului la iesire	Bar	8	8	8	8	8	8
5	Consumul de gaz al arzatorului	m ³ /h	160,3	218,1	363,4	546,3	640,1	730,1
6	Presiunea gazului in colector	kPa	27	27	26,8	26,4	25,4	25,2
7	Presiunea diferențială de gaz	Pa	10	26	83	202	282	368
8	Presiunea diferențială de aer	Pa	38	125	360	610	730	920
9	Depresiunea în cazan	Pa	-2040	-2040	-2040	-2040	-2040	-2040
10	Componența gazelor de tiraj		9					
11	02	%	5,7	5,3	5,2	5,3	4,5	4,6
12	CO2	%	8,5	8,7	8,8	8,7	9,2	9,1
13	СО	ppm	0	0	0	0	0	0
15	NOx	ppm	73	69	65	68	73	73
16	Coeficientul excesului de aer	α	1,37	1,34	1,33	1,34	1,27	1.28
17	Temperatura gazelor pînă la economizor	°C	139	170	230	283	306	328
18	Temperatura gazelor după economizor	°C	106	108	115	122	125	132
19	Temperatura aerului	°C	26	26	26	26	26	26
20	Perderi de caldura cu gazele de esapament dupa economizor	%	4,5	4,6	4,9	5,3	5,2	5,6
21	Perderi de caldura in mediul ambiant (0,16% la Pw_nom)	%	1,18	0,86	0,52	0,35	0,29	0,26
22	Randamentul dupa economizor	%	94,3	94,6	94,6	94,4	94,5	94,1
23	Debitul de combustibil conventional pentru formarea a 1 Gcal de caldura	kg c.c./Gcal	151,5	151,1	151,0	151,4	151,2	151,7
24	Debitul de gaz pentru formarea a 1 Gcal de caldura	kg c.c./Gcal	129,8	129,4	129,4	129,7	129,5	130,0
25	Debitul de combustibil conventional pentru formarea a 1 t abur	kg c.c./t	100,6	100,3	100,3	100,5	100,4	100,8
26	Debitul de gaz pentru formarea a 1t abur	m³/t	72,9	72,7	72,7	72,8	72,7	73,0
27	Randamentul mediu	%			94	,4		

Fișa de regim este alcătuită: la temperatura gazului 8 °C; - la temperatura aerului 26°C.

V. Pascari

S.R.I

Fișa regimuli de funcționare urmează a fi corectată în următoarele cazuri:

-la schimbarea valorii căldurii de ardere a combustibilui mai mult de ± 10 %;

-la devierea parametrilor de la normele stabilite;

-după reparație capitală.

-alte cazuri prevazuta de documente normative tehnice.

Inginer – reglor

Anexa nr.12.4

Raport tehnic de calitatea arderii gazelor combustibile cu arzătorul de gaze la sarcină variabilă de tip "DAVA".

Indicatorii componentelor gazelor de ardere la funcționarea arzătorului la sarcină variabilă de tip "DAVA" 2000 kW



Graficul valorilor componentelor de ardere a gazelor combustibile cu arzătorul de gaze naturale la sarcină variabilă de tip "DAVA" 2000 kW.





str. Alexandru cel Bun 51A, Chişinău MD-2012, Republica Moldova, Tel.: (+373-22) 24 11 88; Fax: (+373-22) 21 39 14; e-mail: info@rgg.md

> CONFIR M

> > Director general "RomanyGazGroup" SRL Roman NICU

CERTIFICAT

de realizare a utilajelor consumatoare de gaze naturale

1 septembrie, an. 2012

or. Chişinău

Arzătoarele de gaze naturale de tip "DAVA" - constituie arzătoare cu putere variabilă, automatizate, monobloc, produse de către întreprinderea SRL "Romany Gaz Crup" din mun. Chișinău.

Arzătoarele de tip "DAVA" sunt implementate la obiectele termoenergetice în calitate de utilaje pentru arderea gazelor naturale combustibile atît pentru producerea agentului termic cît și la obiectele industriale pentru arderea gazelor în procese tehnologice.

În rezultatul testărilor tehnice, conform criteriilor Sistemului Național de Cerificare al Federației Ruse, (Система Сертификации ГОСТ Р Госстандарт России Сертификат Соответстствия POCC MD. AE86. B02482. 25.03.2008, nr. 7715310.), au fost furnizate în Federația Rusă arzătoarele de tip "DAVA", model "DAVA"- 120, 170, 250, 350, 500, 630, 750, 1000, 2000, 3000, 5000 pentru utilizarea în complexsul termo-energetic din regiunea Moscova, inclusiv și la obiectivele complexului S:A "Gazprom".

Admiterea pentru montarea și punerea în exploatare a arzătoarelor de tip "DAVA" cu sarcină variabilă, a fost efectuată în conformitate cu Autorizarea de Implementare (Разрешение nr. PPC 00-17904, дата выдачи 20.09.2005, Федеральная Служба По Экологическому, Технологическому и Атомному Надзору. nr. PPC 00-17904 din 20.09. 2005), emisă de Serviciul Federal de Supraveghere Ecologică, Tehnologică și Atomică al Federației Ruse.

Parametrii tehnologici de funcționare a arzătoarelor, ca parte componentă a centralelor termice sunt prevăzute, conform cerințelor normative pentru un regim de funcționare un regim automatizat, eficient, fiabil, reducînd la maximum factorul uman în procesele de exploatare, asigurînd calitatea serviciilor pentru consumatori.

Funcționarea arzătoarelor de gaze naturale de tip "DAVA" asigură un randament de circa 90-95 %.

.....

Director

"Romany Gaz Group " SRL

Roman Nicu





MOLDOVA

MINISTERUL ECONOMIEI ȘI COMERȚULUI

AUTORIZAȚIE TEHNICĂ PENTRU OBIECTUL INDUSTRIAL PERICULOS

SERIA ST - 2008 NR. 0053

Data 30. 03. 2009

Titularul Î.M. "ROMANY GAZ GROUP" S.R.L

Adresa juridică și sediul titularului (data și numărul înregistrării de Stat, IDNO) mun. Chișinău, str. Muncești, 801; mun. Chișinău, str. Alexandru cel Bun, 51A

Nr.1002600011421 din 08.07.1997 c.f. 1002600011421

Denumirea obiectului industrial periculos și activitățile desfășurate la obiect: - elaborarea, fabricarea, punerea în funcțiune, reglarea și deservirea tehnică a arzătoarelor monobloc automatizate de gaze tip "DAVA" și mijloacelor de comandă pentru obiectele din ramura gazificării.

Condițiile de activitate

Respectarea actelor legislative și documentelor normativ - tehnice în domeniul securității industriale.

Valabilă pînă la 30 martie 2014

Viceministru

S

Tudor COPACI

DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII

Subsemnatul, declar pe propria mea răspundere că materialele prezentate în teza de doctorat se referă la propriile activități și realizări, în caz contrar urmând să suport consecințele, în conformitate cu legislația în vigoare.

Vasile Daud

Data: 18 iulie 2017

🗙	
europass	
14 C C	

CURRICULUM VITAE

Informații personale		
Nume / Prenume	Vasile DAUD	
Adresa	mun. Chisinău, str. Paris 53	
Telefon	Mobil:	069153989
E-mail	vas.daud@yahoo.com,	
Naționalitate	moldovean	
Data nașterii	04.07.1958	
Educație și formare. Studii	Studii Universitare; Postuniversitare; Doctorar profesionale.	utura; Colegiu; Cursuri
Domeniul ocupaţional/ Experienţa profesională	Domeniul energetic (gazier); Instituții de Reglementare în domeniul Energetic; Servicii științifice – fiabilitatea tehnică a sistemelor de naturale, cu gaze lichefiate, elaborarea tezei de <i>Eficientizarea consumului de gaze natural</i> <i>generare distribuită a energiei termice</i> ;	control tehnic, de comunale; lector; cercetari alimentare cu gaye e dctor in tehnică la tema - <i>le în instalațiile de</i>
Perioada	2017 - 2017	
Funcția sau postul ocupat	Cercetător științific	
Activităţi şi responsabilităţi principale	Cercetări a instalatiilor din sectorul gazier; a in energiei termice cu utilizarea gazelor naturale scopul eficientizării consumului de gaze, re ambiental	nstalațiilor de producere a ca materie primară cu ducerea impactului
Numele și tipul unitații economice	Institutului de Energetică al Academiei de Știi	nțe a Moldovei
Perioada	2010 - 2016	
Funcția sau postul ocupat	Consultant principal, Departamentul strategii și po Specialist principal, Departamentul reglementări, Specialist principal, Departamentul juridic, secția	litici de reglementare; investiții și calitate; protecția consumatorilor.

Activităţi şi responsabilităţi principale	Elaborarea, expertiza actelor normative în sectorul energetic, inclusiv sectorul apă – canalizare; Elaborarea, expertiza actelor normative în sectorul energetic, inclusiv sectorul apă – canalizare; Monitorizarea parametrilor de calitate la furnizarea serviciilor în sectorul energetic (furnizarea gazelor naturale, energie termică, apă); Cercetarea și verificarea parametrilor de calitate la furnizarea serviciilor în sectorul energetic (furnizarea gazelor naturale, energie termică, apă) consumatorilor casnici și necasnici;
Numele și tipul unitații economice	Agenția Națională pentru Reglementare în Energetică
Perioada	2010 - 2009
Funcția sau postul ocupat	Lector superior, Universitatea Tehnică a Moldovei, f-tea FUA
Activităţi şi responsabilităţi principale	Tehnologia și organizarea lucrărilor de montare a sistemelor de alimentare cu căldură și gaze, ventilație; Punerea în funcție și exploatarea instalațiilor de gaze naturale. Elaborarea programelor de studii la proiectarea, montarea, exploatarea instalațiilor inginerești (sisteme de gaze, de alimentare cu căldură, ventilare), a Cărților tehnologice pentru procesele de montare a instalațiilor inginerești (sisteme de gaze, de alimentare cu căldură, ventilare).
Numele și tipul unitații economice	Universitatea Tehnică a Moldovei
Perioada	2009 - 200 5
Funcția sau postul ocupat	Inspector tehnic
Activităţi şi responsabilităţi principale	Verificarea tehnică de îndeplinire a cerințelor normative din sectorul gazier; contrulul tehnic la montarea, reglarea tehnologică și exploatarea instalațiilor din sectorul gazier.
Numele și tipul unitații economice	Agenția Națională pentru Supravegherea Tehnică
Perioada	2005 - 1991
Funcția sau postul ocupat	Specialist de categ. I, adjunct şef, şef al inspectoratului (republican) tehnic gazier
Activităţi şi responsabilităţi din activitatea profesională, (selectiv)	Elaborarea Metodicilor de verificare tehnică la montarea, exploatarea instalațiilor inginerești (sisteme de gaze, de alimentare cu căldură); Expertiza tehnică a documentației de proiect a obiectelor social-comunale, industriale din sectorul gazier; Verificarea tehnică de îndeplinire a cerințelor normative din sectorul gazier; contrulul tehnic la montarea, reglarea tehnologică și exploatarea instalațiilor din sectorul gazier; Expertiza tehnică a obiectelor industrial periculoase din sectorul gazier; Certificarea sistemului calității, producției la întreprinderi (producerea utilajului termoenergetic, produselor petroliere), a laboratoarelor de control și testare a produselor din sectorul termoenergetic, a întreprinderilor de furnizare a serviciilor termoenergetice.
Numele și tipul unitații economice	Departamentul de Sandardizare, Metrologie și Supraveghera Tehnică

Educație și perfecționare profesională	
Perioada	1993 - 1995
Numele și tipul instituției de învățământ	Academia de Administrare Publică
Perioada	1980 - 1986
Calificarea / diploma obţinută	Inginer constructor
Disciplinele principale studiate / competenţe profesionale dobândite	Alimentarea termică, cu gaze și ventilare
Numele și tipul instituției de învățământ	Universitatea Tehnică a Moldovei;
Perioada	1993 - 1995
Numele și tipul instituției de învățământ	Colegiul gospodării comunale din or. Tighina (Bender)
Calificarea / diploma obţinută	Tehnician, Sisteme de alimentări cu căldură și gaze, 1980
Perioada	2003-2007
Numele și tipul instituției de învățământ	Universitatea Tehnică a Moldove
	Doctorantura
Cursuri	
Perioada	an. 2001; 2000; 1997;
Calificarea / diploma obţinută	Pregătirea întreprinderii pentru certificarea sistemului calității; Perfecționarea calificației în domeniul standardizării și metrologiei; Expert – auditor în domeniul "Certificartea producției". Expert – auditor al Sistemului Național de Certificare al Republicii Moldova; Expert – certificarea utilajelor termoenergetice, materialelor și echipamentelor din domeniul gazier și transportarea produselor petrol.
Numele și tipul instituției de învățământ	Departamentul de Sandardizare, Metrologie și Supraveghere Tehnică
Perioada	an. 2000; 1997;
	Organizarea, instruirea și perfecționarea specialiștilor la proiectarea, montarea și exploatarea sistemelor de alimentare cu gaze.
Numele și tipul instituției de învățământ	Concernul - "Duna Gaz", Ungaria;
	Proiectarea, montarea și exploatarea sistemelor de alimentare cu gaze din polietilenă.
Numele și tipul instituției de învățământ	Concernul -"Uponor" – Filanda
Aptitudini și competențe	
Limba maternă	Româna

Rusa – fluent; Franceza, Engleza - nivel începător.
Responsabilitate, disciplină, creativitate și spirit de inițiativă, comunicare eficientă și constructivă, tendință spre perfecționare profesională, corectitudine, respect față de oameni, perseverență și ținută morală.
Microsoft Word, Microsoft Excel, internet
 Participat la certificarea producţiei utilizată în sectorul termoenergetic, gazier: "Uponor" – Filanda, "Wailland", "Wiloo" – Germania, "Uponor", "Duna Gaz" – Ungaria, "ValRom", "Politub" – Romania, "Mora, ""Buderus" – Cehia ", "Donie Suvalli" – Franţa, "Uponor" – Anglia, ş.a; Publicaţii ştiinţifice în domeniul termoenergetic; Elaborarea tezei de doctorat în domeniul termoenergetic; Membru al asociaţiilor profesionale: AIIRM (Asociaţiei Inginerilor de Instalaţii din Republica Moldova), SIPG (Societatea Inginerilor de Petrol şi Gaze din Romania); Participant la conferinţe, seminare tehnico-ştiinţifice (naţionale, inernaţionale) din din domeniul profesional.
Asociației Inginerilor de Instalații din Republica Moldova, (AIIRM).
 membru al comisiei de autorizare tehnică la exploatarea stațiilor de alimentare a automobilelor cu carburanți (gaze şi produse petroliere şi gaze).
- membru al comitetului tehnic pentru elaborarea normelor de construcții (Sisteme de distribuție a gazelor combustibile).
- membru al comisiei de atestare a specialiștilor la proiectarea, montarea și exploatarea sistemelor-gaz.
- Membru al grupurilor profesionale de elaborare a Reglementărilor de exploatare și securitate tehnică a sistemelor de alimentare cu gaze;
- Membru al comitetului tehnic pentru elaborarea normelor de construcții (Sisteme de distribuție a gazelor; securitate antiincendiare), ,
Cat. A, B, C
Instalații, tehnologii din domeniul gazier; termoenergetic; Tehnologia montării instalațiilor; punerea în funcție a instalațiilor, exploatarea; reglementări normative în domeniul gazier, termoenergetic. Inovații de domeniul specialității; internet; lectura ziarelor, apicultura. sport;

Cooperarea cu instituții naționale, internaționale: Tehnologia producerii, montării și exploatării utilajelor consumatoare de gaze combustibile, Wailland și Wilo, Germania, 1998; Sonie Duvali", or, Nant, Franța 2003, Buderus, Mora - Cehia, 1998; Tehnologia producerii,
proiectării, montării și exploatării conductelor de gaze din polietilenă, concernul "UPONOR" Finlanda, 1996, Anglia, 1997.; Organizarea, Instruirea și Perfecționarea specialiștilor la proiectarea, montarea și exploatarea sistemelor de alimentare cu gaze. Concernul "Duna Gaz", Ungaria, 1997. Administrarea și efectuarea supravegherii tehnice de stat la obiectele industriale periculoase de extragere, transportare și distribuție a gazelor naturale, Rusia, 1995; Grupul de lucru la conferința tehnico-științifică, interstatală de reglementare în domeniul energeticii, Serbia (Belgrad). 2010; Institutul specializat tehnico științific de tehnoilogii materiale și echipamente pentru sistemele-gaz "Ghiproniigaz", I.P., or. Saratov, Federația Rusă;

Forumuri, întruniri de lucru: Conferința tehnico-științifică cu participare internațională "Instalații pentru construcții și economia de energie" Iași, 2011; Grupul de lucru la conferința tehnico-științifică, interstatală de reglementare în domeniul energeticii, Serbia (Belgrad). 2010; Conferința cu participare internațională "Instalații pentru construcții și confortul ambiental", Timișoara, 2011; Conferința Jubiliară Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților consacrată celei de-a 40-a Aniversări a Doctoranturii U.T.M., Chișinău, 2006; Conferința tehnico-științifică cu participare internațională "Probleme actuale ale urbanismului și amenajării teritoriului", Chișinău, 2002; Conferința tehnico-științifică: materiale și echipamente pentru sistemele-gaz (PE), I.S. "Orgsintez", Republica Tatarstan - Federația Rusă; Conferința tehnico-stiințifică – extragere a gazelor naturale, Marî, Republica Turkestan; Procedura de expertiză a documentatiei de project la objectivele industriale și social comunale din domeniul gazier, or. Chișinău. 1999 - Procedura de organizare și efectuare a supravegherii tehnice a obiectelor cu grad sporit de pericol din domeniul gazier, S.P"Polimer", or. Moscova. 1997; Acreditarea laboratoarelor, or. Chișinău.1996 - Standardizarea - baza normativă a certificării. consumatoare de gaze naturale, lichefiate Întreprinderea de stat Simpozion - utilaje "Gazteploaparat", Republica Belorusia

Publicații științifice în domeniul de activitate: Autor a 22 publicații științifice din domeniul sisteme și tehnologii energetice, inclusiv în domeniile gazier, termoenergetic, lucrări publicate în reviste, culegeri naționale și de circulație internațională, expuse la conferințe, seminare, întruniri profesionale de lucru.