

# PROCEDEE ȘI TEHNICI DE STABILIZARE A PROCESELOR DE ARDERE A GAZELOR ÎN INSTALAȚII CU PUTERE VARIABILĂ

*V. Daud, consultant științific,  
Agenția Națională pentru Reglementare Energetică*

## 1. INTRODUCERE

Tendința de extindere a diapazonului de variere a puterii arzătoarelor necesită varierea într-un diapazon larg afectează mulți parametri, care determină formarea amestecului, lungimea flăcării și caracteristicile lui hidraulice. Totodată se agravează altă problemă – stabilitatea procesului de ardere. În practică deseori apare o instabilitate a procesului de ardere a gazelor în legătură cu ruperea flăcării sau pătrunderea ei în canalul arzătorului. Problemele stabilității proceselor de ardere a gazelor au fost studiate în mod teoretic și experimental de către mulți savanți din mai multe țări [1, 2].

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 determinarea corelației dintre stabilitatea procesului de ardere și viteza de propagare a flăcării. Vorbind de stabilitatea 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 [2], că există un echilibru dintre tendința flăcării de a se deplasa împotriva fluxului de amestec, pe de o parte, și tendința de a fi “aruncată” de la gura arzătorului de către fluxul de amestec. Spre regret, fenomenul de echilibru al flăcării se observă într-un diapazon îngust de viteze ale fluxului de amestec aer-gaz. După cum este menționat [1, 2], 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.

În literatura de specialitate [1,2] sunt propuse diverse modele pentru explicarea mecanismului de stabilizare a flăcării, dintre care unul are la bază balanța energiei termice generate la arderea gazelor cu temperatură înaltă și energia consumată de amestecul aer-gaz 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. 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 caracteristici aerodinamice joase, pentru care zona de recirculare nu depinde semnificativ de viteza fluxului de amestec aer-gaz.

Multiple cercetări experimentale arată, 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. Rezultatele cercetărilor anterioare sunt viabile pentru un set de condiții concrete, însă în realitate condițiile variază mult, legate de necesitatea funcționării într-un diapazon larg de putere.

În lucrarea curentă se prezintă rezultatele cercetărilor stabilizării procesului de ardere viabile într-un diapazon larg de putere, ce servesc ca model de control electronic în timp real în instalațiile de ardere.

## 2. METODICA DE CERCETARE A STABILITĂȚII PROCESULUI DE ARDERE

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. Trebuie de menționat, că fenomenul ruperii flăcării este caracteristic tuturor tipurilor de arzătoare și pericolul lui se manifestă prin întreruperea arderii gazelor pe un timp, apoi urmată de explozia 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 care se manifestă prin arderea în ambrazura arzătorului, ceea ce duce la defectarea lui.

Pentru cercetarea diapazonului de funcționare stabilă a arzătorului e necesar ca condițiile de ardere în timpul cercetărilor, să decurgă cât se poate, mai aproape de realitate, prin arderea reală a gazului, nu prin simulare. Funcție de aceste condiții se determină procedeele de efectuare a experimentelor. Cercetările arzătoarelor de putere variabilă, în lucrare, se realizează în cazane de încălzire cu apă. Experimentele au fost efectuate pe stand, care permite colectarea datelor în mod automatizat și repetarea experimentelor în condiții similare. O altă latură importantă este realizarea experimentelor în două cazuri diferite: cu flacără deschisă (în afara focarului); în focar, în prezența contrapresiunii din focar. Pentru a stabili flacăra, la ieșire din arzător, se crează condiții sigure de aprindere a amestecului aer/gaz. Aceasta se rezolvă prin metode aerodinamice și cu utilizarea stabilizatoarelor. 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. 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  $\alpha$  față de curentul de aer (în continuare numit stabilizator de tip A;

b) stabilizator format dintr-un număr de palete în formă de „V” cu distribuție axială a gazului, numit stabilizator de tip B.

c) stabilizator de formă conică cu distribuția gazului pe partea periferică, numit stabilizator de tip C.

A fost cercetată stabilitatea procesului de ardere pe trei tipuri de stabilizatoare, A, B, și C cu diverse dimensiuni. Ținând cont că, din punct de vedere a securității se recomandă ca experimentarea stabilității să fie efectuată pe arzătoare de putere mică și medie dar reeșind și de la gradul înalt de automatizare și securitate a standului de cercetare au fost alese următoarele modele de arzătoare: de putere mică –  $P_w = 250$  kW și de putere medie  $P_w = 750$  kW.

Experimentarea stabilității funcționării arzătoarelor s-a efectuat pe standul automatizat, înzestrat cu senzori de presiune diferențială cu diapazonul 0-1000 Pa, calibrați pentru arzător: DAVA-250, putere maximă experimentală  $P_w(max) = 300$  kW. La putere maximă, presiunea diferențială a gazului este calibrată la  $\Delta P_g = 1000$  Pa și corespunde consumului de gaz  $V_g = 300$  kW/(9,304\*3600) = 0,00896 m<sup>3</sup>/s, iar presiunea

diferențială a aerului- calibrată la  $\Delta P_a = 1000$  Pa și corespunde consumului de aer  $V_a = V_g * 9,52 = 0,0855$  m<sup>3</sup>/s. Consumurile curente de aer și gaz se calculează cu formulele:

$$V_a = \Delta P_a \cdot 0,0855/1000 \text{ [m}^3/\text{s]},$$

$$V_g = \Delta P_g \cdot 0,00896/1000 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

În mod similar, pentru arzătorul tip DAVA-750 cu puterea maximă experimentală  $P_w(max) = 950$  kW, presiunea diferențială a gazului este calibrată la  $\Delta P_g = 1000$  Pa și corespunde consumului de gaze  $V_g = 950$  kW/(9,304\*3600) = 0,0284 m<sup>3</sup>/s, iar presiunea diferențială a aerului este calibrată la  $\Delta P_a = 1000$  Pa și corespunde consumului de aer,  $V_g * 9,52 = 0,2706$  m<sup>3</sup>/s. Consumul curent de aer și gaz se calculează cu formulele:

$$V_a = \Delta P_a \cdot 0,2706/1000 \text{ [m}^3/\text{s]},$$

$$V_g = \Delta P_g \cdot 0,0284/1000 \text{ [m}^3/\text{s]},$$

care au avut aplicație la procesele de experimentare și cercetare a stabilității funcționării arzătoarelor. Colectarea datelor experimentale privind stabilitatea flăcării cu utilizarea standului automatizat și s-a realizat conform următoarei scheme pentru toate arzătoarele și tipurile de stabilizatoare:

1. S-e stabilește calitatea amestecului prin menținerea la nivel constant pe parcursul experimentului a coeficientului de exces de aer.

2. Se pornește arzătorul la o putere minimă prestabilită,  $P_w^{min}$ , și se crește treptat până la puterea  $P_w \cong 0,9 P_w^{max}$ .

3. Se crește lent puterea arzătorului, monitorizând în continuu volumurile instantanee de gaz și aer și starea de echilibru a flăcării.

4. În momentul dezechilibrului flăcării (rupeții/pătrunderii) se fixează automat și manual consumul instantaneu de gaz și aer -  $V_g$  și  $V_a$ .

5. Se coboară puterea arzătorului la puterea  $P_w \cong 0,9 P_w^{max}$  și se repetă punctele 3 și 4 de, cel puțin, 3 ori. 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  $P_w^{min}$ , până la apariția acestui fenomen;

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 –  $T_g$ .

Prelucrarea statistică a datelor colectate, s-a efectuat conform următorului algoritm:

**Tabelul 1.** Rezultatele experimentale privind stabilitatea arderii (arzător- Dava-750, stabilizator tip C,  $D_s=144\text{mm}$ , "pătrunderea flăcării").

Coef. exces de aer, "a"	Datele măsurate consum aer						Datele măsurate consum gaz					
	Exp. 1		Exp. 2		Exp. 3		Exp. 1		Exp. 2		Exp. 3	
	$dP_a$ 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

**Tabelul 2.** Rezultatele experimentale privind stabilitatea arderii (arzător Dava-750, stabilizator tip C,  $D_s=144\text{mm}$ , "ruperea flăcării").

Coef. exces de aer "a"	Datele măsurate de consum aer						Datele măsurate de consum gaz					
	Exp. 1		Exp. 2		Exp. 3		Exp. 1		Exp. 2		Exp. 3	
	$dP_a$ 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	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

1. Pentru volumele instantanee de gaz și aer -  $V_g$  și  $V_a$  măsurate și coeficientul excesului de aer  $\alpha$  stabilit, se determină viteza amestecului aer-gaz în momentul ruperii flăcării cu următoarea formulă:

$$w_{am}^r = C_{am}^r / S_a, \tag{1}$$

unde:  $V_{am}^r = V_g^r + V_a^r$  este debitul amestecului instantaneu egal cu suma volumelor instantanee de gaz și aer;  $S_a$  - aria secțiunii echivalente a gurii arzătorului.

2. Se prelucrează statistic valorile colectate în conformitate cu metoda prescrisă în [4]:

a) se determină valoarea medie a vitezei amestecului la ruperea flăcării:

$$\tilde{w}_r = \sum_{i=1}^k w_{am_i}^r / k, \tag{2}$$

b) se calculează dispersia vitezei amestecului la ruperea flăcării:

$$S^2 = \sum_{i=1}^k (w_{am_i}^r - \tilde{w}_r)^2 / k, \tag{3}$$

c) se calculează abaterea standard a vitezei amestecului de la viteza medie la ruperea flăcării:

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{1}{k-1} \cdot \sum_{i=1}^k (w_{am_i}^r - \tilde{w}_r)^2}, \tag{4}$$

d) se calculează abaterea maximă:

$$\Delta w_{max} = |w_{am}^r - \tilde{w}_r|. \tag{5}$$

e) se verifică abaterea maximă cu ajutorul t-distribuției Student [67, 69]:

$$\tau = \Delta w_{max} / \bar{S}, \tag{7}$$

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 următoare:

$$\tau_{(5\%,k)} = \frac{t_{(5\%,k+2)} \cdot \sqrt{k-1}}{\sqrt{(k-2) + |t_{(5\%,k+2)}|}^2} \quad (8)$$

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

se compară rezultatele obținute și valorile pentru care  $\tau_{(5\%,k)} \gg \tau_{(0.1\%,k)}$  și se exclud;

h) se recalculează din nou  $\tilde{w}_r, \bar{S}$  pentru valorile filtrate.

3. Pentru generalizarea rezultatelor experimentale s-a utilizat ecuația criteriului Pekle [144, 167]:

$$Pe = Pe_n \frac{1}{n} \alpha^m, \quad (9)$$

în care:

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

$Pe_n = u_n d/a$  - criteriul Pekle, determinat la viteza de propagare 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 propagare a flăcării [m/s];

$\alpha$  - coeficientul excesului de aer în amestec.

4. Conform rezultatelor experimentale se construiesc graficele ecuațiilor criteriului Pekle în scară logaritmică:

$$\lg(Pe) = F(\lg(Pe_n)) \quad (10)$$

Reieșind din poziția de înclinare a acestor drepte se calculează valoarea numerică a exponentului puterii -  $n$ :

$$w \cdot d / a = c(u_n \cdot d / a)^n \text{ sau } Pe = c \cdot Pe_n \frac{1}{n}, \quad (11)$$

de unde:

$$n = \frac{\Delta \lg(Pe)}{\Delta \lg(Pe_n)}. \quad (12)$$

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

$$c = \frac{wd/a}{(u_n \cdot d/a)^n} = \frac{Pe}{Pe_n^{1/n}}. \quad (13)$$

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

$$c = F(\alpha^m). \quad (14)$$

7. Unghiul de înclinație a acestei drepte determină exponentul  $m$ , care reflectă dependența fenomenului ruperii/pătrunderii flăcării de  $\alpha$  - excesul de aer:

$$m = \frac{\Delta \lg(c)}{\Delta \lg(F(\alpha^m))}. \quad (15)$$

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

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

$$\frac{w_p \cdot d}{a} = c_p \cdot \alpha^m \cdot \left(\frac{u_n \cdot d}{a}\right)^{\frac{1}{n_p}}. \quad (16)$$

9. Se determină vitezele amestecului aer-gaz de rupere/pătrundere a flăcării:

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

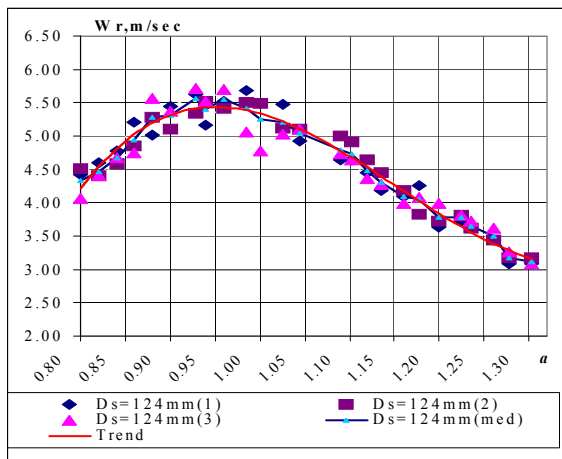
$$w_p = c_p \cdot \alpha^m \cdot u_n \left(\frac{1}{n_p}\right) \left(\frac{d}{a}\right)^{\left(\frac{1}{n_p}-1\right)}. \quad (17)$$

Aceste ecuații analitice sînt utilizate pentru verificarea rezultatelor experimentale, proiectarea noilor arzătoare și la exploatarea lor.

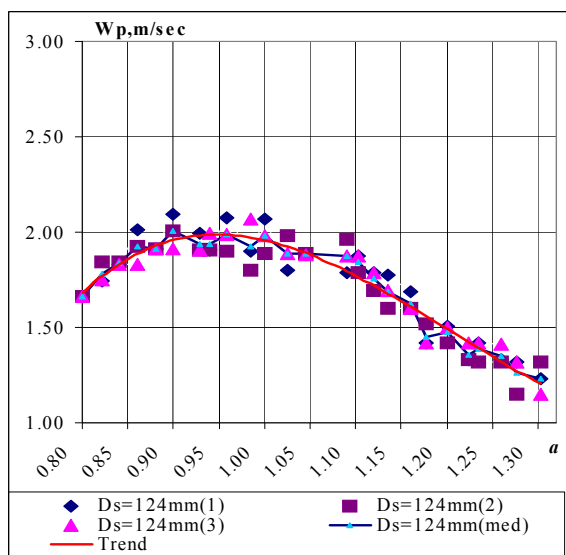
### 3. DETERMINAREA LIMITELOR DE STABILITATE A PROCESULUI DE ARDERE

După cum s-a mai menționat, factorii, care influențează stabilitatea procesului de ardere sunt cantitatea de gaze în amestec și raportul de aer-gaze, modul de mișcare a amestecului, diametrul gurii arzătorului, diverse particularități constructive ale arzătorului. Realizând o gamă de experimente, apoi prelucrând aceste date în conformitate cu metoda expusă mai sus, obținem dependențele vitezelor rupere/pătrundere a flăcării de calitatea amestecului aer/gaz pentru fiecare arzător și tip de stabilizator. Luând în considerație că excesul de aer este recomandat  $a = 0,95 \text{--} 1,05$  în

condiții staționare și  $a = 0,8\text{:-}1,2$  în condiții tranzitorii, am propus să determinăm limitele stabilității procesului la acele viteze ale amestecului corespunzătoare limitelor exesului de aer în condiții tranzitorii. Astfel au fost experimentate arzătoare cu puterea  $P_w = 250/750$  kW cu stabilizatoare de tip A,B,C cu dimensiunile echivalente  $D_s = 138\text{:-}144$  mm, cu exces de aer  $a = 0,8\text{:-}1,2$ . Prezentăm un exemplu de diagrame experimentale în figurile 1a și 1b ale dependenței vitezei amestecului la rupere/pătrundere a flăcării de excesul de aer  $a$ .



(a)

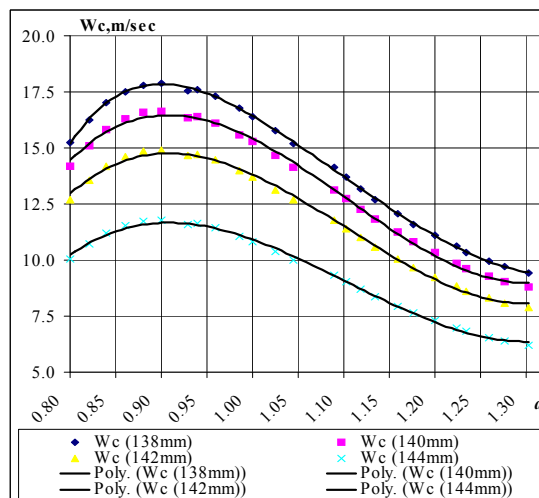


(b)

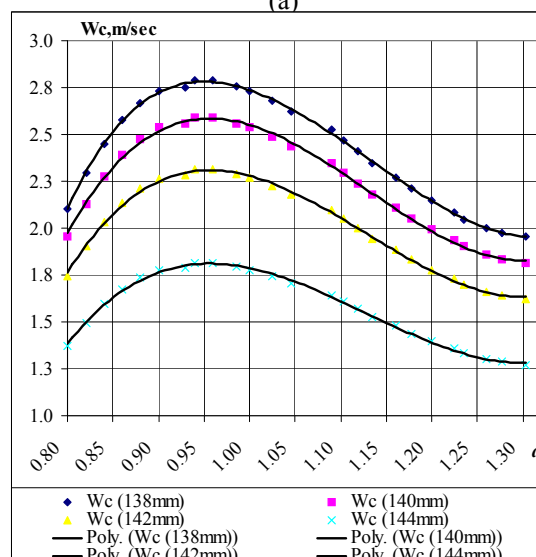
**Figura 1.** Dependența vitezelor de rupere (a) și pătrundere (b) experimentale de excesul de aer ( $P_w=250$  kW, cu stabilizator tip A,  $D_s = 124$  mm).

Pentru a generaliza diagramele obținute experimental, efectuăm recalculul acestor diagrame a vitezelor amestecului aer-gaz de rupere/pătrundere a flăcării în baza ecuațiilor teoretice pentru aceleași

condiții (vezi p. 9 din metoda de calcul). Aceste diagrame sunt prezentate în figurile 3 și 4.



(a)



(b)

**Figura 2 .** 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.

Analiza rezultatelor obținute referitor la vitezele de rupere/pătrundere a flăcării permite să constatăm următoarele:

1. Curbele dependenței vitezei de rupere/pătrundere a flăcării de excesul de aer are valori maxime în diapazonul de variere  $a = 0.95\text{:-}1.05$ , practic pentru toate tipurile de stabilizatoare și nu depinde de dimensiunea lui (figurile 1 și 2). Aceasta se explică prin faptul, că arderea amestecului de această calitate generează mai multă căldură, ceea ce permite menținerea unui echilibru mai stabil între masa de amestec proaspăt și masa de amestec consumat (deja ars).

**Tabelul 3.** Parametrii ecuațiilor de stabilitate a flăcării.

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

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 este la viteză mai mică, iar fenomenul de pătrundere - la viteză mai mare. La viteze mari ale amestecului, micșorarea diametrului duce la diminuarea turbulenței, amestecul devine neomogen în volumul flăcării și ca urmare, procesul devine instabil (figurile 1 și 2).

Efectuând verificarea rezultatelor experimentale cu ajutorul criteriului Pekle am constatat, că procesul de ardere este stabil pentru toate tipurile de stabilizatoare. Dependența liniară a logaritmului,  $l_e$  ( $P_e$ ) și  $l_e$  ( $P_{en}$ ) confirmă că procesul de ardere se află în stare de echilibru.

În baza prelucrării rezultatelor experimentale pentru determinarea stabilității procesului de ardere a gazelor în condițiile susnumite s-au calculat valorile coeficienților  $n$ ,  $c$ , și  $m$  din ecuațiile de stabilitate, care sunt prezentate în tabelul 3.

În scopul generalizării acestor rezultate, ținând

cont de variația liniară a acestor coeficienți, s-a aplicat interpolarea liniară a acestor parametri și am obținut formula variației coeficienților din ecuațiile de stabilitate, care permite calculul acestor coeficienți pentru puterile intermediare ale arzătoarelor:

$$k_x = k_0 + \frac{\Delta k}{\Delta P_w} \cdot (P_w^x - P_w^0) \quad (18)$$

Pentru cazul concret avem:

$$\Delta P_w = 750 - 250 \text{ kW}; \quad P_w^0 = 250 \text{ kW};$$

unde  $P_w^x$  este puterea curentă a arzătorului, kW;  
 $k_0$ ,  $P_x$  – valoarea coeficientului respectiv ( $n, c, m$ ) la puterea 250 kW și  $P_w^x$ , respectiv.

Prin urmare, această formulă se aplică la calculul valorilor parametrilor  $c$ ,  $n$  și  $m$  atât în proiectarea arzătoarelor noi, cât și în exploatarea celor curente. De regulă, aceste rezultate sunt implementate în programele de comandă ale arzătoarelor pentru determinarea în mod operativ a limitelor stabilității flăcării și combaterii

**Tabelul 4.** Vitezele limită stabile ale flăcării cu diverse stabilizatoare

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

fenomenului de rupere/pătrundere a flăcării [3,5,6, 8,9]. În acest mod s-au calculat valorile vitezelor maxime de rupere și celor minime de pătrundere, corespunzător diapazonul de viteze, ce sunt prezentate în tabelul 4, din care rezultă, că performanțele stabilizatorului tip C sunt mai înalte față de celelalte tipuri A și B.

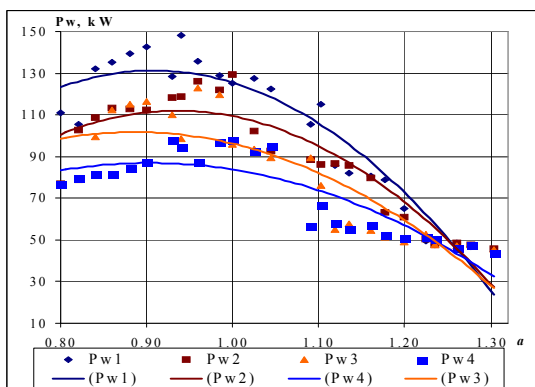
În baza datelor experimentale înafară de viteza amestecului aer/gaz la limita de rupere/pătrundere flacără am determinat consumul de gaz și puterea dezvoltată în aceste condiții. Acești parametri sunt foarte importanți atât la etapa de proiectare a noi arzătoare, cât la etapa de exploatare, asigurând un control electronic a stabilității procesului de ardere. Unele rezultate sunt prezentate în figurile 3 și 4 ce reflectă dependența consumului de gaz și puterea dezvoltată, respectiv în condițiile de rupere/pătrundere flacără. Se observă că puterea dezvoltată este proporțională cu consumul de gaz, însă e

turbulență mai puternică și respective se formează un amestec mai omogen aer/gaz și duce la sporirea puterii arzătorului. Totodată, se observă, că valorile maxime ale puterii se obțin în diapazonul excesului de aer = 0,9:-1,05.

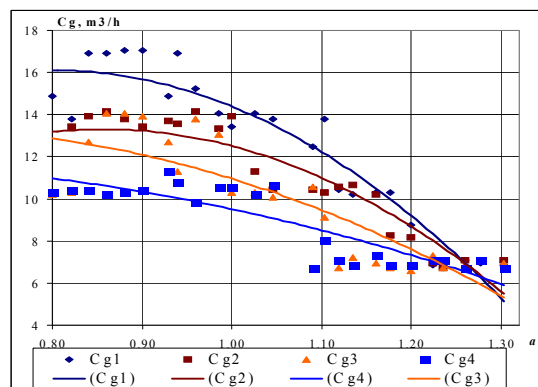
Aceste rezultate sunt recomandate și utilizate atât în proiectarea arzătoarelor noi [2, 9, 10], cât și în exploatarea lor. Rezultatele obținute sunt implementate în programele de comandă pentru a determina electronic, în mod operativ limitele stabilității flăcării

#### 4. CONCLUZII

După cum s-a menționat, problema principală a cercetării stabilității procesului de ardere a gazelor constă în obținerea rezultatelor experimentale și elaborarea modelelor matematice pentru aprecierea

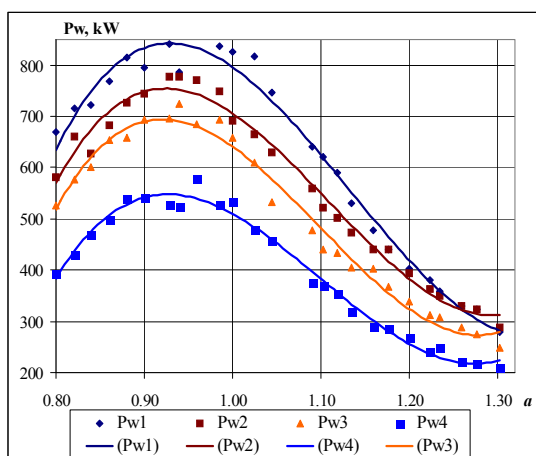


(a)

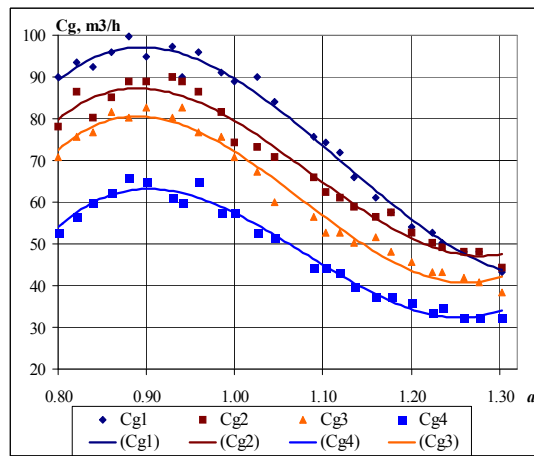


(b)

**Figura 3.** Puterea dezvoltată (a) și consumul 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)

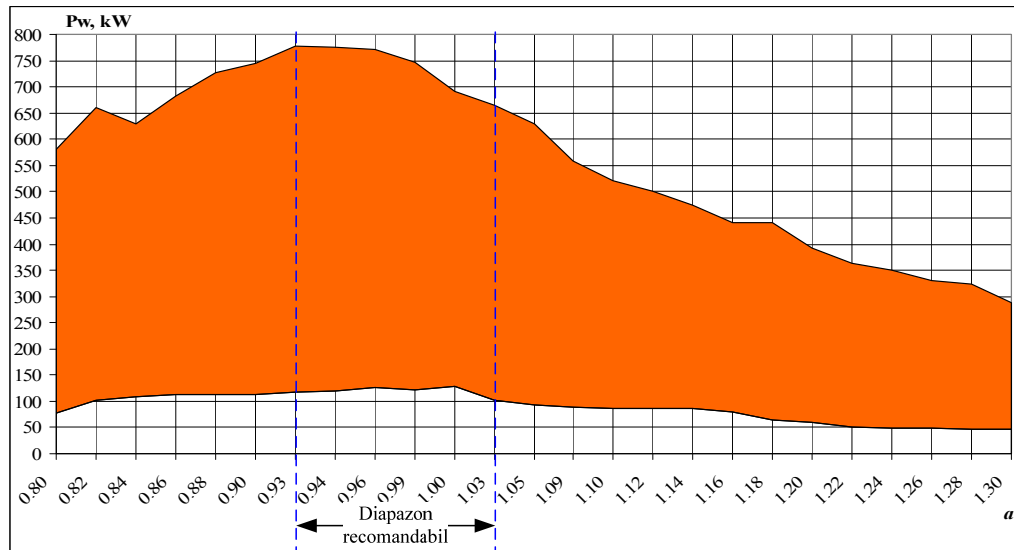


(b)

**Figura 4.** Puterea dezvoltată (a) și consumul 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).

puernic influențată și de tipul și diametrul efectiv al stabilizatorului. Acest parametru cauzează o

adecvată a acestor fenomene. În lucrarea curentă am prezentat metodică și algoritmul de prelucrare



**Figura 5.** Diapazonul de putere dezvoltată cu ardere stabilă pentru cazul:  $P_w=750$  kW, stabilizator tip C,  $D_s = 142$  mm.

statistică a datelor experimentale pentru determinarea stabilității procesului de ardere. Analiza comparativă a rezultatelor acumulate permite formularea următoarelor concluzii:

- Curbele dependenței vitezei de rupere/pătrundere a flăcării depind de excesul de aer, au valori maxime în diapazonul de variație  $a = 0.95$ :-1.05 practic pentru toate tipurile de stabilizatoare și nu depind de dimensiunea lor, însă depind esențial de diametrul echivalent: cu cât diametrul este mai mic, cu atât fenomenul de rupere se observă la viteză mai mică, iar fenomenul de pătrundere - la viteză mai mare.

- S-au determinat parametrii,  $n$ ,  $c$ ,  $m$  din ecuațiile de stabilitate a arderii și s-au calculat vitezele teoretice de rupere/pătrundere a flăcării pentru aceleași condiții ale experimentelor. Rezultatele calculului corespund dependențelor experimentale ale vitezelor de rupere/pătrundere a flăcării. Devierea rezultatelor teoretice de cele experimentale constituie  $\pm 2$ :-8%.

- Puterea dezvoltată minimă/maximă a arzătoarelor este dependentă de viteza de rupere/pătrundere a flăcării, care este influențată esențial de diametrul echivalent al stabilizatorului. S-a constatat că stabilizatorul tip C are performanțe mai bune. Ținând cont totodată și de tehnologia fabricării stabilizatoarelor, se recomandă utilizarea stabilizatorului de tip A și stabilizatorului de tip C.

- S-a dedus formula, care se aplică la calculul valorilor parametrilor  $c$ ,  $n$  și  $m$  atât în proiectarea arzătoarelor noi, cât și în exploatarea lor: aceste rezultate sunt implementate în programele de comandă ale arzătoarelor pentru determinarea în mod operativ a limitelor stabilității flăcării și combaterii fenomenului de rupere/pătrundere a flăcării.

### Bibliografie

- Alexeeva T.I., Novicov L. M. *Novye zakonmernosti stabilizatsii plameni. Fizika gorenija i vzryva*. 1979 № 4, p. 135-137.
- Antonescu N., Stănescu P.D., Antonescu N.N. *Procese de ardere - bazele fizice și experimentale*. - Editura MATRIX - București 2003.
- Arzătoare automatizate de gaz de tip "DAVA". - In: <http://www.rgg.md/doc.arzro.html>
- Bercea M. *Bazele cercetării experimentale. Vol.1. Iași: Universitatea Tehnică "Gh. Asachi", 1997*
- 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*
- Daud V., Nicu R. *Program de calcul a parametrilor arzătoarelor cu control electronic de putere variabilă*. - In: *Registrul de Stat a operelor ocrotite de dreptul de autor și drepturi conexe. Seria OS Nr. 1667/1634, AGEPI, 2007*.
- Daud V., R. Nicu. *Procedeu de optimizare a proceselor tehnologice în sisteme termoenergetice*. In: *Tezele conferinței anuale a doctoranzilor și studenților UTM*. - Chișinău, 17 noiembrie 2006.
- Nicu T., Daud V., Cerneavski M. *Procedeu de dirijare automatizată a arzătorului de gaz. Brevet de invenție nr. 1908G2 (MD), F23 NI /02, 2001*.
- Nicu T., Nicu V., I. Ciobanu. *Microcontroller electronic control for monoblock gas burners type «DAVA»*. - In: *PROCEEDING OF CNE - 2000, Chișinău, 2000*.

**Recomandat spre publicare: 16.04.2015.**