A XVII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești"
SEBEȘ, 2017

PARTICULARITĂȚI CONSTRUCTIVE ALE EJECTOARELOR ÎN CONSTRUCȚIA MOTOARELOR RACHETĂ

Elena-Bianca AVĂDANEI, Constantin AVĂDANEI

PARTICULARS OF CONSTRUCTION IN CONSTRUCTION EJECTORS ROCKET MOTORS

This paper presents some features of evolutionary parameters on fluid flow through the ejector gas dynamics.

Ejectors are devices with wide applicability gas dynamics in the technical field and especially in the military.

Keywords: ejector, gas dynamics parameters, chamber, ejection coefficient, fluid driven, driving fluid, turbulent flow

Cuvinte cheie: ejector, parametri gazodinamici, camera de amestec, coeficient de ejectie, fluid antrenat, fluid de antrenare, curgere turbulentă

1. Introducere

Ejectoarele sunt dispozitive cu ajutorul cărora un fluid poate fi antrenat sau comprimat, folosind în acest scop un alt fluid având o presiune mai mare.

Construcţia ejectoarelor prezintă unele particularităţi care depind de natura fluidelor de lucru şi mai ales de regimul de viteze care evoluează în dispozitiv. Acest regim reprezintă criteriul de clasificare a ejectoarelor: subsonice şi supersonice.

Ejectorul supersonic se caracterizează prin regimuri de curgere cu viteză supersonică în ajutajele din componenţa sa. Curgerea

fluidului fiind în regim variabil, deci o curgere turbulentă, în acest caz straturile de fluid efectuează pe lângă mişcarea în direcţia considerată (predominantă) şi o deplasare transversală, straturile de fluid amestecându-se.

În tehnică ejectoarele supersonice au cea mai mare aplicabilitate practică.

2. Curgerea fluidelor în ejectoare supersonice

Schema unui ejector supersonic este prezentată în figura 1. Dispozitivul se compune din ajutajele convergent-divergent 1 şi 3 şi camera de amestec 2.

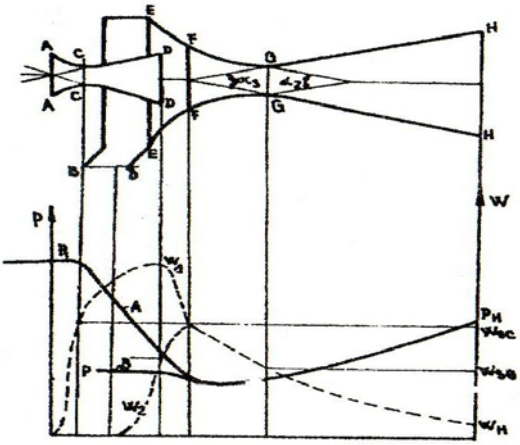

Fig.1 Ejector supersonic

Fluidul de înaltă presiune p_A , numit şi fluid de antrenare, intră prin secţiunea A-A în ajutajul 1 şi atinge în secţiunea minimă a acestui ajutaj viteza sunetului. În continuare, acest fluid se accelerează şi iese, prin secţiunea D-D, în camera de amestec 2, unde se atinge presiunea p_F , viteză supersonică [1], [3].

Fluidul de joasă presiune, numit fluid antrenat, aflat la o presiune p_B inferioară presiunii p_F , intră în camera de amestec prin secţiunea B-B, unde se destinde treptat până la valoarea p_F .

În timpul evoluţiei gazelor până în secţiunea F-F, vitezele se egalizează şi devine tot supersonică. Amestecul de fluide curge în continuare prin ajutajul 3, care este convergent-divergent, cu o viteză iniţială supersonică.

În secţiunea G-G viteza de curgere este egală cu viteza sunetului, proprie condiţiilor de stare care există în această secţiune.

Pe porţiunea divergentă a ajutajului, presiunea amestecului are o creştere mai accentuată până se atinge, în secţiunea finală H-H, o presiune p_H, intermediară presiunilor iniţiale, $p_A > p_H > p_B$. În mod corespunzător, viteza amestecului se reduce până la valoarea w_H.

3. Caracteristici dimensionale ale ejectoarelor supersonice

Studiul ejectoarelor oferă specialiştilor în domeniu un instrument util în determinarea configuraţiei şi a caracteristicilor constructive adaptabile condiţiilor de utilizare.

În principal se determină dimensiunile caracteristicilor în secţiunile: C-C, D-D, E-E, F-F, G-G, H-H.

■ Valoarea secţiunii C-C se obţine din ecuaţia de continuitate [6], scrisă pentru fluidul de antrenare A [2], [4]:

$$A_C = \frac{\dot{m}_A v_c}{w_C} \tag{1}$$

unde $\dot{m}_A$ reprezintă debitul masic al fluidului de antrenare. În această secţiune se atinge viteza sunetului, rezultând că vitezele fluidului de antrenare şi a amestecului au valorile:

$$v_C = v_A \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{1}{\gamma - 1}} \qquad w_C = \sqrt{2 \frac{\gamma}{\gamma + 1} p_A v_A} \tag{2}$$

unde v_A şi p_A sunt mărimi care caracterizează starea iniţială a fluidului de antrenare, cunoscute.

■ Secţiunea D-D se determină în mod similar:

$$A_D = \frac{\dot{m}_A v_D}{w_D} \tag{3}$$

unde: $$v_D = v_A \left(\frac{p_A}{p_D} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

$$w_D = \sqrt{2\frac{\gamma}{\gamma-1}p_A v_A\left[1-\left(\frac{p_D}{p_A}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]} \tag{4}$$

Calculele se efectuează în ipoteza: $p_D = p_F$

■ Secţiunea E-E se determină scriind ecuaţia de continuitate pentru fluidul antrenat, la presiunea $p_E \cong p_F$:

$$A_E = \frac{\dot{m}_B v_E}{w_E} \tag{5}$$

unde $\dot{m}_B$ este debitul masic de fluid antrenat în secţiunea B-B.

Pentru cazul când diferenţa $p_E - p_B$ este relativ mică, se poate considera: $v_B \cong v_E$ şi $w_E = \sqrt{2(p_B - p_F)v_B}$ (6)

Dacă variaţia volumului specific al fluidului antrenat între secţiunile B-B, E-E, nu poate fi neglijată, atunci:

$$v_E = v_B\left(\frac{p_B}{p_F}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

$$w_E = \sqrt{2\frac{\gamma}{\gamma-1}p_B v_B\left[1-\left(\frac{p_F}{p_B}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]} \tag{7}$$

În camera de amestec se produce în realitate egalizarea presiunii celor două fluide şi uniformizarea vitezei lor de curgere. În calcule, procesul de amestecare se consideră că are loc izobar la presiunea p_F, care se apreciază pe bază de date statistice sau se calculează şi se consideră în continuare cunoscută [4], [5].

■ Amestecul de fluide ce s-a realizat are o viteză medie w_F, în secţiunea F-F, secţiune care se determină aplicând legea cantităţii de mişcare:

$$w_F\left(\dot{m}_A + \dot{m}_B\right) = \dot{m}_A w_D + \dot{m}_B w_E \tag{8}$$

de unde: $$w_F = \frac{\dot{m}_A w_D + \dot{m}_B w_E}{\dot{m}_A + \dot{m}_B} \quad (9)$$

Dacă se notează raportul debitelor de fluid :

$$u = \frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_B} \quad (10)$$

acesta se numeşte *factor de ejecţie*, mărime caracteristică a construcţiei şi a funcţionării ejectoarelor.

Ţinând seama de acest factor:

$$w_F = \frac{w_E + u\, w_D}{1+u} \quad (11)$$

Deoarece viteza în secţiunea F-F este supersonică, aceasta este superioară vitezei sunetului în secţiunea G-G, adică: $w_F > w_{SG}$ şi rezultă:

$$u < \frac{w_D - w_{SG}}{w_{SG} - w_E} \quad (12)$$

Temperatura amestecului de gaze din secţiunea F-F se poate determina ştiind că entalpia amestecului este egală cu suma entalpiilor celor două fluide [1], [5]:

$$T_F = \frac{\dot{m}_A c_{pA} T_D + \dot{m}_B c_{pB} T_E}{\dot{m}_A c_{pA} + \dot{m}_B c_{pB}} \quad (13)$$

unde: $T_E = T_B \left(\frac{p_E}{p_B} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$, $T_D = T_A \left(\frac{p_D}{p_B} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$

Volumul specific al amestecului de gaze este:

$$v_F = \frac{v_D + u v_E}{1+u} \quad (14)$$

Evoluţia amestecului de fluide între secţiunile F-F şi G-G, deci pe porţiunea convergentă a ajutajului 3, este o comprimare adiabatică, în cursul căreia viteza scade până la valoarea vitezei sunetului w_{SG} :

$$w_{SG} = \sqrt{w_F^2 - 2\frac{\gamma}{\gamma-1} p_F v_F \left[1 - \left(\frac{p_G}{p_F}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]} \tag{15}$$

sau: $w_{SG} = \sqrt{\gamma p_G v_G}$, iar $v_G = v_F \left(\frac{p_F}{p_G}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$

Astfel se poate calcula presiunea amestecului de fluide în secţiunea G-G:

$$p_G = \left[\frac{(\gamma-1) w_F^2 + 2\gamma p_F v_F}{\gamma(\gamma+1) p_F v_F}\right]^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \tag{16}$$

Temperatura în secţiunea G-G se calculează cu relaţia:

$$T_G = T_F \left(\frac{p_G}{p_F}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \tag{17}$$

Secţiunea G-G a ajutajului rezultă din ecuaţia continuităţii:

$$A_G = \frac{\left(\dot{m}_A + \dot{m}_B\right) v_G}{w_{SG}} \tag{18}$$

Stabilirea valorii secţiunii de ieşire a ajutajului se face pe baza condiţiei: $p_H \geq p_m$, p_m fiind presiunea mediului în care iese amestecul de fluide. În acest caz viteza de ieşire din ejector se calculează cu relaţia:

$$w_H = \sqrt{w_{SG}^2 - 2\frac{\gamma}{\gamma-1} p_H v_H \left[1 - \left(\frac{p_G}{p_H}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]} \tag{19}$$

unde: $v_H = v_F \left(\frac{p_F}{p_H}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$

Astfel secţiunea de ieşire a ajutajului 3 se poate calcula cu formula:

$$A_H = \frac{\left(\dot{m}_A + \dot{m}_B\right) v_H}{w_H} \tag{20}$$

Corespunzător, se poate calcula temperatura amestecului de fluide la ieşirea în mediul exterior:

$$T_H = T_F \left(\frac{p_H}{p_F} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \tag{21}$$

Presiunea finală p_H nu poate fi oricât de mare se doreşte, deoarece aceasta rezultă prin comprimarea adiabatică a amestecului care începe să fie frânat de la o viteză bine determinată în secţiunea G-G, viteza sunetului. În consecinţă, presiunea maximă care se va putea realiza în secţiunea de ieşire a ajutajului este:

$$p_{H\max} = p_G \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \tag{22}$$

În proiectare există şi cazul când se impun mărimile w_H şi p_H , calculându-se presiunile p_G şi p_F .

Lungimile ajutajelor se calculează în condiţiile desprinderii fluidului de pereţi. Ca urmare, unghiul de divergenţă a ajutajului 1 nu trebuie să aibă un unghi mai mare de 10^0 . În consecinţă, lungimea acestei porţiuni este [3], [5]:

$$L_{CD} = \frac{D_0 - D_C}{2tg\alpha_1} \tag{23}$$

În care D este diametrul secţiunii considerate.

Partea convergentă a ajutajului 3 se face cu un unghi la vârf $\alpha_2 \leq 30^0$.

Lungimea ajutajului 3 va fi:

$$L_{FG} = \frac{D_F - D_G}{2tg\alpha_2} \tag{24}$$

Unghiul la vârf al porţiunii convergente a ajutajului 3 nu trebuie să depăşească 6^0 , iar lungimea acestei porţiuni va fi:

$$L_{GH} = \frac{D_H - D_G}{2tg\alpha_3} \tag{25}$$

4. Concluzii

● Ejectoarele sunt dispozitive gazodinamice cu largă aplicabilitate, atât în domeniul civil cât şi militar.

● Ejectoarele sunt utilizate în instalaţii termodinamice, de automatizări, generatoare de vacuum sau la mijloace de propulsie ale aparatelor aerodinamice.

● Limitarea utilizării lor se datorează numai consumului de energie, care este destul de mare.

● În ejectoare are loc amestecul şi schimbul de energie (impuls) între două fluide cu presiuni diferite, rezultând un amestec de presiune intermediară.

BIBLIOGRAFIE

[1] Avădanei, C., *Contribuţii în studiul optimizării fenomenelor gazodinamice din dispozitivele armamentului de calibru redus*, Teză de doctorat, Academia Tehnică Militară, Bucureşti, 1999.

[2] Berbente, C., Constantinescu, N.V., *Dinamica gazelor*, Vol.1, Institutul Politehnic Bucureşti, 1977.

[3] Năstase, M., Codreanu, I., Paraschiv, T., *Termotehnica*, Editura Academiei Tehnice Militare, Bucureşti, 1994.

[4] Radcenco, V., *Termodinamica generalizată*, Editura Tehnică, Bucureşti, 1992.

[5] Safta, D., *Motoare rachetă. Caracteristicile energetice şi termodinamice ale motoarelor rachetă*, Editura Academiei Tehnice Militare, Bucureşti, Bucureşti, 1989.

[6] Ştefan, S., *Mecanica fluidelor*, Editura Academiei Tehnice Militare, Bucureşti, 1992-1993.

Informatician Elena-Bianca AVĂDANEI, Cluj-Napoca
Lector univ. Dr.Ing. Constantin AVĂDANEI
membru AGIR
E-mail: costi_av_2003@yahoo.com