



A XI-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2011

CONSIDERAȚII PRIVIND CURGEREA GAZELOR PRIN TUBURI CU DIAMETRE MICI

Maria-Costina AVĂDANEI, Constantin AVĂDANEI

CONSIDERATIONS ON GAS FLOW THROUGH SMALL DIAMETER TUBES

The paper refers to the study of movement of gas through small diameter tubes. It customizes the case when the movement is considered one-dimensional mass-exchange, heat and mechanical work outside. Research results are a tool in the design of small diameter pipes weapons.

Keywords: mass flow, one-dimensional motion, ballistics, power line
Cuvinte cheie: debit masic, mișcare unidimensională, balistică, linie de curent

1. Introducere

Proiectarea țevelor de armament de calibre mici constituie un demers deosebit de complex din punct de vedere tehnic și științific. Competiția acerbă în câmpul tactic determină o schimbare rapidă a modului de ducere a războiului. Prezentul și viitorul oferă specialiștilor militari instrumente matematice și de prelucrare a datelor, de înaltă eficiență pentru optimizarea caracteristicilor armamentului de calibru redus.

Energia dezvoltată în țevă, prin arderea unor combustibili de înalt randament, oferă proiectilului caracteristicile balistice necesare pentru zborul pe traiectorie și efectele dorite la țintă [3].

2. Parametrii gazodinamici

Studiul acestei mișcări se face cu ajutorul următoarelor relații:

a) Expresia debitului masic al gazelor [2]:

$$\dot{m} = \rho v \sigma \quad (1)$$

în care, ρ – densitatea, v - viteza, σ – secțiunea transversală a tubului;

b) Ecuația de stare:

$$p = \rho R T \quad (2)$$

în care, R – constantă a gazelor, T - temperatura gazelor;

c) Ecuația presiunii:

$$\int \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} d\bar{r} + \frac{v^2}{2} + U + \int \frac{dp}{\rho(p)} = C \quad (3)$$

în care, U – potențialul forțelor masice, C – o constantă care depinde de linia de curent sau linia de vârtej a curgerii gazelor.

Dacă ecuația (3) se completează cu lucrul mecanic elementar exterior dL_m și lucrul mecanic al forțelor de frecare (energia disipată prin frecare) dL_f , în ipoteza mișcării permanente ($\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} = 0$) și neglijării forțelor masice ($U=0$) se obține [4]:

$$v dv + \frac{dp}{\rho} + dL_m + dL_f = 0 \quad (4)$$

d) Principiul întâi al termodinamicii:

$$dQ = dU + DL \quad (5)$$

unde, dQ - reprezintă suma dintre căldura elementară transmisă fluidului din exterior (dQ_c) și căldura elementară interioară datorată frecărilor ($dQ_i = dL_f$).

3. Descrierea mișcării unidimensionale a gazelor în tuburi

Introducând în (5) expresiile:

$$dQ = dQ_e + dQ_i \quad (6)$$

$$dU = c_v dT = (c_p - R) dT = dh - R dT \quad (7)$$

unde, $h = c_p T$ reprezintă entalpia specifică fluidului,

$$R dT = d(RT) = d\left(\frac{p}{\rho}\right) = \frac{dp}{\rho} - p \frac{d\rho}{\rho^2}$$

$$dL = p dv_p = pd\left(\frac{1}{\rho}\right) = -p \frac{d\rho}{\rho^2} \quad (8)$$

Se obține

$$dQ_e + dQ_i = dh - \frac{dp}{\rho} \quad (9)$$

sau, ținând seama de (4)

$$dQ_e = dh + vdv + dL_m \quad (10)$$

expresie ce exprimă principiul întâi al termodinamicii aplicat fluidelor în mișcare unidimensională, cu schimb de căldură și lucru mecanic [5].

Din ecuațiile (1) și (2) prin logaritmare și diferențiere se obține [1]:

$$\frac{\dot{dm}}{m} = \frac{dp}{\rho} + \frac{dv}{v} \frac{d\sigma}{\sigma}; \quad \frac{dp}{\rho} = \frac{dp}{\rho} + \frac{dT}{T} \quad (11)$$

iar din expresia (11) se poate scrie

$$\begin{aligned} \frac{dp}{\rho} &= \frac{p}{\rho} \frac{dp}{p} = RT \left(\frac{dp}{p} + \frac{dT}{T} \right) = RdT + RT \frac{dp}{\rho} = \\ &= RdT + RT \left(\frac{\dot{dm}}{m} - \frac{dv}{v} - \frac{d\sigma}{\sigma} \right) = RdT + \frac{a^2}{\gamma} \left(\frac{\dot{dm}}{m} - \frac{dv}{v} - \frac{d\sigma}{\sigma} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

Introducând expresia (12) în (3) se deduce

$$v dv - \frac{a^2}{\gamma} \frac{dv}{v} + \frac{a^2}{\gamma} \left(\frac{\dot{dm}}{m} - \frac{d\sigma}{\sigma} \right) + RdT + dL_m + dL_f = 0 \quad (13)$$

Din (10) se determină

$$v dv = dQ_e - dh - dL_m = dQ_e - \frac{\gamma RdT}{\gamma - 1} - dL_m \quad (14)$$

care, introducându-se în (13) și apoi prin împărțire cu $\frac{\gamma}{a^2}$ se obține:

$$\frac{\gamma}{a^2} dQ_e - \frac{\gamma RdT}{(\gamma - 1)a^2} - \frac{dv}{v} + \frac{\dot{dm}}{m} - \frac{d\sigma}{\sigma} + \frac{\gamma}{a^2} dL_m = 0 \quad (15)$$

sau, ținând seama de (3) relația (15) devine:

$$(1 - M^2) \frac{dv}{v} = \frac{d\sigma}{\sigma} + \frac{\dot{dm}}{m} + \frac{dL_m}{a^2} + \frac{\gamma - 1}{a^2} dQ_e + \frac{\gamma}{a^2} dL_m \quad (16)$$

Relația (16) este denumită relația lui Hugoniot generalizată [4].

4. Concluzii

■ Din (16) rezultă că mișcările supersonice se obțin în ajutaje Laval (dacă în secțiunea minimă se realizează parametri critici), fie în tuburi de secțiune transversală constantă dacă se face schimb de masă

•
m sau de schimb de lucru mecanic exterior L_m , fie schimb de căldură dQ_e .

■ Abordarea termodinamică permite specialiștilor militari să creeze un model al evoluției parametrilor gazelor din interiorul tuburilor, cât mai apropiat de fenomenele reale.

■ Aparatul matematic utilizat permite proiectanților să simuleze pe mijloacele de calcul moderne evoluția acestor parametri.

BIBLIOGRAFIE

[1] Landau, L., Lifshitz, E., *Physique theorique*, Tome 6, Mecanique des fluides, Edition Mir, Moscou, 1988.

[2] Sterie, Șt., *Mecanica fluidelor*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1992.

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

[4] Sterie, Șt., Alexandru, Gh., Paraschiv, T., Codreanu, I., *Gazodinamica sistemelor reactante*, Editura tehnică, București, 1977.

[5] Comolet, R., *Mecanique experimentale des fluides*, Edition Massou, Paris, 1961.

[6] Sterie, Șt., Năstăsescu, V., Maloș, G., *Simularea fenomenelor mecanice și hidraulice*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 2000.

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