



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

## **EVOLUȚIA PARAMETRILOR ATMOSFERICI ÎN PREZENȚA UNDEI DE ȘOC CAUZATĂ DE DETONAȚIA UNEI ÎNCĂRCĂTURI EXPLOZIVE**

Elena-Bianca AVĂDANEI, Constantin AVĂDANEI

### **ATMOSPHERIC PARAMETERS IN THE PRESENCE OF SHOCK WAVE CAUSED DETONATION OF AN EXPLOSIVE CHARGE**

The paper presents results of recent research on the effects of detonation of explosive charges on the Earth's atmosphere. Developments are studied environmental parameters, temperature, pressure, speed, in the presence of the shock wave.

Key words: detonation, explosive charge, blast, shock wave front, and state variables

Cuvinte cheie: detonație, încărcătură explozivă, undă de șoc, frontul unde de șoc, parametri de stare

#### **1. Introducere**

Prin aprofundarea cercetărilor teoretice și experimentale specialiștii militari urmăresc atât maximizarea efectelor exploziilor asupra obstacolelor de pe câmpul de luptă cât și creșterea randamentului energetic al explozivilor.

Rezolvarea problemelor tehnice se face cu un aparat matematic evoluat, care este constituit dintr-o acumulare de cunoștințe de specialitate, de rezistența materialelor, mecanică teoretică, mecanica fluidelor.

În cazul de față tratarea fenomenelor ce apar la detonația în aer a unei încărcături explozive se face considerând aerul un gaz ideal, toți parametrii finali putând fi calculați numai funcție de parametrii inițiali ai mediului, temperatură și presiune, viteza de deplasare a frontului undei de șoc.

Un caz interesant este cel când unda de șoc întâlnește obstacole rigide sub diferite unghiuri de incidență.

## 2. Fenomene care au loc la impactul undei de șoc cu o suprafață rigidă

Suflul produs de o explozie exercită pe structuri rigide forțe analoage cu cele ale vântului natural. Cele produse de suflu sunt mult mai puternice și sunt denumite forțe de frânare iar la impact încarcă obstacolul întâlnit cu solicitări suplimentare.

Presiunea de frânare poate fi determinată cu relația [1, 5]:

$$p_f = \frac{1}{2} \gamma M^2 c_f p \quad (1)$$

în care,  $\gamma$  - este raportul căldurilor specifice,  $M$  - numărul Mach,  $c_f$  - coeficient de frânare.

Unda de șoc care întâlnește o suprafață rigidă poate avea direcție normală sau oblică.

### • Unda de șoc normală

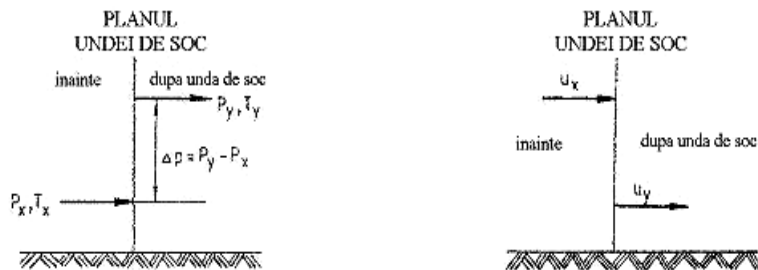


Fig. 1 Diagrama undei de șoc normale

În figura 1 este redat fenomenul undei de șoc normale în care variația parametrilor principali ai curentului de gaze rezultate din explozie suferă brusc, în urma unui salt, o creștere a presiunii, temperaturii și densității pe de o parte și o scădere a vitezei curentului,

pe de altă parte. Grosimea planului care separă mediul perturbat de cel neperturbat este foarte mică și se calculează cu relația [1, 2]:

$$\delta = \frac{11 + 7M_x}{\rho_x(M_x - 1)} 10^{-8} \quad (2)$$

în care,  $M_x$  – este numărul Mach al curentului la intrare,  $\rho_x$  – densitatea gazului prin care trece unda de șoc.

În studiul undei de șoc s-au utilizat în acest caz ecuațiile de conservare (masă, impuls, energie) și valorile cunoscute ale parametrilor inițiali, presiune, temperatură, viteză, densitate.

Din ecuația de conservare a energiei rezultă o relație care descrie unda de șoc normală (ecuația lui Prandtl):

$$M_x M_y = 1 \quad (3)$$

în care,  $M_x$  și  $M_y$  – sunt numărul Mach al curentului la intrare respectiv la ieșirea din planul sau frontul undei de șoc.

În concluzie cele două tipuri de curgere sunt, una supersonică de apropiere și una subsonică de depărtare față de acest plan. Valorile numărului Mach sunt exprimate în modul următor [1, 5]:

$$M_y^2 = \frac{2 + (\gamma - 1)M_x^2}{2\gamma M_x^2 - (\gamma - 1)} \quad (4)$$

$$M_x^2 = \frac{2 + (\gamma - 1)M_y^2}{2\gamma M_y^2 - (\gamma - 1)} \quad (5)$$

Cu ajutorul relației (3) se pot determina și temperaturile în cele două zone de curgere:

$$\frac{T_x}{T_y} = \left( \frac{a_y}{a_x} \right)^2 = \frac{[2 + (\gamma - 1)M_x^2][2\gamma M_x^2 - (\gamma - 1)]}{(\gamma + 1)^2 M_x^2} \quad (6)$$

Vitezele curentului de gaze, la intrarea respectiv, la ieșirea din frontul undei de șoc se determină cu relațiile [4, 6]:

$$\frac{u_x}{a_y} = \frac{2 + (\gamma - 1)M_y^2}{(\gamma + 1)M_y} \quad (7)$$

$$\frac{u_y}{a_x} = \frac{2 + (\gamma - 1)M_x^2}{(\gamma + 1)M_x} \quad (8)$$

unde,  $a_x$  și  $a_y$  – sunt viteza sunetului la intrarea și respectiv la ieșirea din frontul undei de șoc.

Raportul presiunilor în frontul undei de șoc se calculează cu relațiile:

$$\frac{p_y}{p_x} = \frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} \frac{u_y}{u_x} - 1 \quad (9)$$

Legătura dintre temperaturile și presiunile din frontul undei de șoc se poate exprima cu relațiile Hugoniot-Rankine [1, 2]:

$$\frac{T_y}{T_x} = \left( \frac{a_y}{a_x} \right)^2 = \frac{p_y \left[ (\gamma - 1) \frac{p_y}{p_x} + (\gamma + 1) \right]}{p_x \left[ (\gamma + 1) \frac{p_y}{p_x} + (\gamma - 1) \right]} \quad (10)$$

În aceste condiții suprapresiunea șocului exploziv,  $\Delta p$ , reprezintă saltul de la presiunea inițială  $p_x$  (atmosferică) la presiunea generată de unda de șoc,  $p_y$  și se poate determina cu relația [6]:

$$\Delta p = p_y - p_x = \frac{2\gamma(M_x^2 - 1)}{\gamma + 1} M_x \quad (11)$$

Fiecare front al undei de șoc cauzată de o explozie este urmat de un suflu de particule perturbate din mediu, care are viteza:

$$u_p = a_x \left[ M_x - M_y \left( \frac{T_y}{T_x} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = \frac{2(M_x^2 - 1)}{(\gamma + 1)M_x} a_x \quad (12)$$

Efectul distructiv al frontului undei de șoc apare când acesta întâlnește un obiect rezistent, cu o suprafață relativ plană și este caracterizat de temperatura și de presiunea de stagnare:

$$p_{\text{stag}} = p_y \left[ 1 + \frac{(\gamma + 1) \left( \frac{u_p}{a_x} \right)^2}{2 \frac{T_y}{T_x}} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (13)$$

$$\frac{T_{\text{stag}}}{T_x} = \frac{T_y}{T_x} + \frac{\gamma - 1}{2} \left( \frac{u_p}{a_x} \right)^2 \quad (14)$$

Șocul exploziv este un fenomen tranzitoriu, după trecerea acestuia presiunea atinge valoarea inițială, suflul se atenuază iar temperatura se menține la valori ridicate datorită caracterului ireversibil al șocului [4, 6]:

$$\frac{T_{\text{ps}}}{T_x} = \left( \frac{a_{\text{ps}}}{a_x} \right)^2 = \left( \frac{a_y}{a_x} \right)^2 \left( \frac{p_y}{p_x} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \quad (15)$$

### • Unda de șoc oblică

În acest caz suprafața undei de șoc este înclinată cu un unghi  $\beta$  față de direcția de deplasare a curentului, care crează un șoc oblic, bidimensional asupra obstacolelor.

Din figura 2 reiese că numai vitezele la intrarea și la ieșirea din planul undei de șoc se descompun în câte doi vectori, numerele Mach fiind scalari.

Unghiurile de intrare  $\beta$  și de ieșire  $\theta$  – numit și unghi de deflexie sau de pană- se calculează cu relațiile [4]:

$$\text{tg} \beta = \frac{u_x}{u'} \quad (16)$$

$$\text{tg}(\beta - \theta) = \frac{u_y}{u'} \quad (17)$$

unde,  $u_x$  – componenta normală a vitezei de intrare,  $u_y$  – componenta normală a vitezei de ieșire,  $u'$  - componenta paralelă a vitezei cu planul undei de șoc.

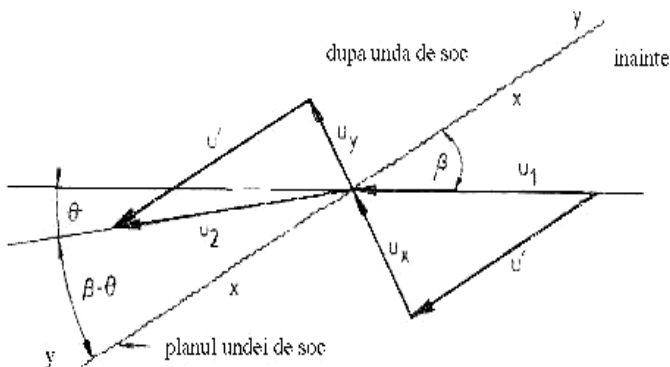


Fig. 2 Diagrama unei de șoc oblice

Deși componenta vitezei  $u_y$  este obligatoriu subsonică, conform cerințelor unei de șoc drepte frontul unei va avea valori supersonice.

Notând cu  $M_1$  – numărul Mach al curentului la intrare și cu  $M_2$  – numărul Mach la ieșire, se determină numerele Mach pentru componentele normale ale vitezelor:

$$M_x = \frac{u_x}{a_1} = M_1 \sin \beta \quad (18)$$

$$M_y = \frac{u_y}{a_2} = M_2 \sin (\beta - \theta) \quad (19)$$

Raportul presiunilor curenților de intrare și de ieșire se determină cu relația [1, 4]:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\gamma M_1^2 \sin^2 \beta - \frac{\gamma - 1}{2}}{\frac{\gamma + 1}{2}} \quad (20)$$

iar a temperaturilor cu relația:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{a_2}{a_1} \right)^2 = \frac{\left( 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_1^2 \sin^2 \beta \right) \left( \gamma M_1^2 \sin^2 \beta - \frac{\gamma - 1}{2} \right)}{\left( \frac{\gamma + 1}{2} \right)^2 M_1^2 \sin^2 \beta} \quad (21)$$

Legătura dintre unghiurile  $\beta$  și  $\theta$  se poate stabili cu relația [1, 5]:

$$\frac{\operatorname{tg}(\beta - \theta)}{\operatorname{tg}\beta} = \frac{2 + (\gamma - 1)M_1^2 \sin^2 \beta}{(\gamma + 1)M_1^2 \sin^2 \beta} \quad (22)$$

Astfel se poate calcula numărul Mach al curentului la ieșirea din frontul undei de șoc:

$$M_2^2 = \frac{2 + (\gamma - 1)M_1^2 \sin^2 \beta}{\left[2\gamma M_1^2 \sin^2 \beta - (\gamma - 1)\right] \sin^2(\beta - \theta)} \quad (23)$$

Când se procedează la maximizarea reflexiei se determină unghiul maxim pentru care se produce acest fenomen [1, 4]:

$$\sin^2 \beta = \frac{1}{4\gamma M_1^2} \left\{ (\gamma + 1)M_1^2 - 4 + \sqrt{(\gamma + 1) \left[ (\gamma + 1)M_1^4 + 8(\gamma - 1)M_1^2 + 16 \right]} \right\} \quad (24)$$

### 3. Concluzii

- Ipotezele simplificatoare utilizate în prima etapă de calcul a caracteristicilor fenomenului exploziei nu introduc erori mari în determinarea parametrilor care caracterizează unda de șoc. Aceste ipoteze se referă la ecuațiile de echilibru pentru presiuni și temperaturile de detonație.

- Algoritmul de calcul prezentat constituie un instrument la îndemâna specialiștilor din domeniu în optimizarea compoziției explozivilor, astfel încât efectele exploziilor la țintă să fie maxime.

- Fundamentarea fenomenelor generării undei de șoc pe timpul exploziilor în atmosferă contribuie la o elaborare cât mai exactă a ecuației transformării explozive a substanțelor.

### BIBLIOGRAFIE

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

- [2] Comolet, R., *Mecanique experimentale des fluides*, Edition Massou, Paris, 1961.
- [3] Landau, L., Lifshitz, E., *Physique theorique, Tome 6, Mecanique des fluides*, Edition Mir, Moscou, 1988.
- [4] Orban, O., Goga, D., *Fizica explozivilor*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1993
- [5] Sterie, Șt., *Ecuațiile Mecanicii fluidelor*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1995.
- [6] Bodin, C., *Fizica explozivilor*, Editura Academiei Tehnice Militare, București, 1972.

Informatician Elena-Bianca AVĂDANEI  
Cluj-Napoca  
Lector univ. Dr.Ing. Constantin AVĂDANEI  
membru AGIR  
E-mail: costi\_av\_2003@yahoo.com