

# SENS'2006

Second Scientific Conference with International Participation  
SPACE, ECOLOGY, NANOTECHNOLOGY, SAFETY  
14 – 16 June 2006, Varna, Bulgaria

---

## РЕГРЕСИОНЕН МОДЕЛ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ БРОЯ НА ПОЛЕЗНИТЕ ОСКОЛКИ ПРИ РАЗРИВ НА БОЕПРИПАСИ

Валентин Радев, Ангел Крумов

*Предложен е регресионен модел за изчисляване броя на полезните осколки от взрива на боеприпаси, снаредявани с взривни вещества (включително с високоенергийни взривни вещества и взривни смеси) с различна скорост на детонация.*

### Увод

Поразяващото действие на осколъчно-фугасните снаряди в целта се оценява критериите: осколъчност, осколъчно и фугасно действие [1, 3, 8]. Основна характеристика на критерият осколъчност е броят на “полезните” осколки (осколки с маса над 1 g), образуващи се при дробенето на корпуса на снаряда.

### Преглед на съществуващите методи

В практиката са утвърдени две емпирични формули за изследване на осколъчността по броя на полезните осколки. Първата и единствена, използвана от години в САЩ, е формулата на Mott [6, 8, 11]:

$$N = \left[ m_k / (2M_k^2) \right] e^{-\left( m_{opt}^{0.5} / M_k \right)} \quad (1)$$

където:  $N$  - осколки с маса равна или по-голяма от  $m_{opt}$ , броя;  $m_k$  - маса на корпуса на снаряда, kg;  $M_k$  - параметър, който характеризира дробенето на корпуса на осколки:

$$M_k = B b^{5/6} d^{1/3} (1 + b/d), \quad (2)$$

където:  $B$  - константа, зависеща от природата на взривното вещество и материала на корпуса;  $b$  - усреднена дебелината на стената на корпуса, m;  $d$  - калибър на снаряда, m.

Втората е известната и масово използвана в практиката на редица страни, включително у нас, формула на АНИИ [1,3]:

$$N = \beta \frac{m_{вв}}{r_{cp}} \frac{U}{\sqrt{\sigma_b}} \quad (3)^1$$

където:  $\beta$  - опитен коефициент, характеризиращ вида на взривното вещество (за тротила  $\beta=0,58$ , за аматол марка А-80  $\beta=0,45$ );  $m_{вв}$  – маса на взривното вещество, kg;  $U$  - коефициент, зависещ от конструкцията на снаряда и свойствата на метала на обвивката, като стойността му се определя по таблица с входни величини  $\psi$  - коефициент на изгъняване на материала и  $K_I$  – който от своя страна също се определя по таблица с входни параметри:  $C_m = m_k/d^3$  - относителна маса на метала на обвивката

---

<sup>1</sup> Предвид многобройните коефициенти във формулата, определяни от експериментални и таблични данни, димензиите по изключение само за тази формула, са оставени извънсистемни.

(корпуса на снаряда),  $\text{kg/dm}^3$ ,  $\eta = m_{\text{вв}}/m_{\text{к}}$  – коефициент на масата на разривния заряд;  $r_{\text{ср}}=d/2K_1$  - среден радиус на камерата на снаряда, m;  $\sigma_b$  - якост на опън на метала на корпуса,  $\text{kgf/mm}^2$ .

Формула (3) се използва само за боеприпаси със стоманени корпуси, като при изчисляване масата на корпуса на боеприпаса трябва се добавя и масата на взривателя [1,3]. Основният проблем, който възниква при използване ѝ е свързан с липсата на достатъчно данни за стойностите на опитният коефициент  $\beta$ , характеризиращ енергийните характеристики на различните взривни вещества. Този факт не позволява да се определя теоретичното броя на полезните осколките от взрива на боеприпаси, снаряжени, например със съвременни високоенергийни взривни вещества или смеси от тях, нови взривни вещества и др.

Подобни са затрудненията и с използването на формулата на Mott. В достъпната литература няма достатъчно данни за експерименталния коефициент  $B$ . Този коефициент зависи освен от характеристиките на взривното вещество и от тези на материала на корпуса на снаряда [6, 7]. Това е причината стойностите му да важат за строго определени боеприпаси.

### Създаване на регресионен модел

В настоящата работа се предлага за решаването на проблема с изчисляване на стойностите на коефициента  $\beta$  да се използват резултатите от извършените експериментални изследвания за осколъчност на снаряди, снаряжени със съвременни високоенергийни взривни вещества [5]. На тази база и като се използват известните данни за скоростта на детонация на използваните взривни вещества с неизвестен коефициент  $\beta$ , чрез регресионен модел за неговото определяне, се изчислява и теоретично предсказва броя на полезните осколките от взрива на боеприпасите.

Като са използвани данните за експериментално получения брой на осколките от взривяването на 122-mm и 152-mm снаряди (фиг. 1), снаряжени с високоенергийната взривна смес тротил/хексоген в процентно съотношение на компонентите 50/50 (Т/Х 50/50) [5] по преобразуваната формула (2):

$$\beta = N \frac{r_{\text{ср}}}{m_{\text{вв}}} \frac{\sqrt{\sigma_b}}{U} \quad (3)$$

е получена стойността за коефициента за взривната смес Т/Х 50/50 за тези боеприпаси  $\beta(T/X)=0,85$ .



Фиг. 1. 122-, 125- и 152-mm осколъчно фугасни снаряди

По същият начин, като са използвани експерименталните данни за 125-mm снаряди [5], снарядени със високоенергийната взривна смес А-ІХ-2, е изчислена и стойността на коефициента  $\beta$  за тях -  $\beta (A-IX-2)=1$ . Обобщените експериментални и теоретични резултати за стойности на коефициента  $\beta$ , включително и за тези високоенергийните взриви смеси, са дадени в табл. 1. В таблицата са посочени и съответстващите стойности за скоростта на детонация  $D$  на съответното взривно вещество.

Таблица 1

Вид на ВВ	$D$ , m/s	$\beta$
хексоген и А-ІХ-2	8200	1
Т/Х 50/50	7600	0,85
пикринова киселина	7300	0,63
динитробензол		0,60
тротил	6900	0,58
аматол 80/20	5500	0,45

Зависимостта на тези две нормално разпределени случайни величини - скоростта на детонация  $D$ , и коефициента  $\beta$  е изследвана, като е проверена хипотезата за незначимост на коефициента на корелация между тях. Стойността на коефициента на корелация, като критерии за линейна зависимост е проверен за нулевата хипотеза  $H_0: \rho_{xy}=0$  и за алтернативната  $H_0: \rho_{xy} \neq 0$ . За целта е изчислена оценката  $r_{xy}$  на коефициента на корелация  $\rho_{xy}$  по формулата [2]:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[ \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}}, \quad (4)$$

където:  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  и  $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ .

С получените данни е изчислена статистиката на разпределение на Стюдант  $t=3,875$  по формула:

$$t = \frac{r_{xy} \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}} \quad (5)$$

За ниво на значимост  $\alpha=0,05$  и брой на степените на свобода  $\nu=n-2$  по табл. 4 [2] е определена стойността на статистиката на Стюдант  $t(\alpha/2, \nu)=3,182$ . Сравнението  $t(3,875) > t_{табл.}(3,182)$  показва, че нулевата хипотеза се отхвърля. Коефициента на корелация е значим, т.е. съществува силна линейната зависимост на двете случайни величини - коефициента  $\beta$  и скоростта на детонация  $D$  за различните взривни вещества.

С помощта на еднофакторен регресионен анализ е установена точната математическа зависимост между стойностите на случайни величини – скорост на детонация и коефициента  $\beta$  от табл. 1. Изчисленията са извършени в средата на програмната система “Matlab 7.1 SP14”, като зависимостта е представена чрез регресионно уравнение от вида:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n c_i x^i \quad (6)$$

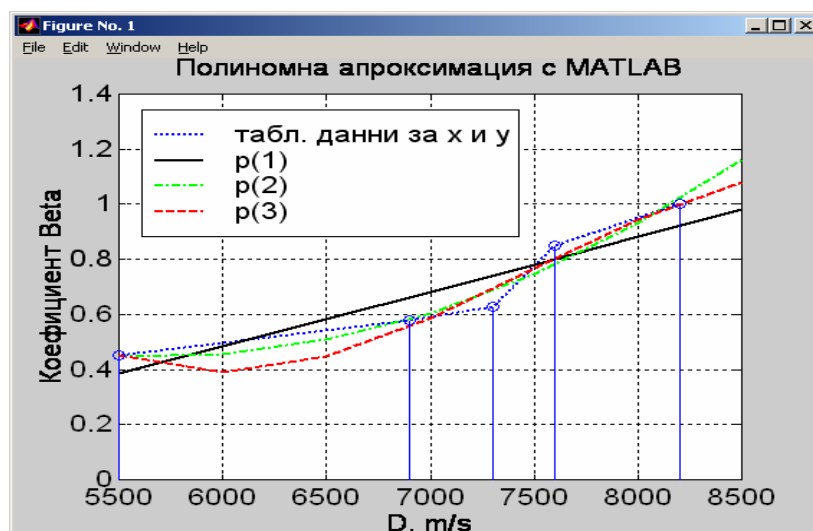
Полученото регресионно уравнение за  $\beta=f(D)$  има вида:

$$\beta = -5 \cdot 10^{-12} D^3 + 2 \cdot 10^{-7} D^2 - 0,0018 D + 5 \quad (7)$$

Това уравнение дава възможност, при известна скорост на детонация на взривното вещество, да се определи стойността на коефициента  $\beta$ .

### Обсъждане на резултатите

На графиката на фиг. 2 са дадени експериментална крива и криви на регресия на зависимостта на стойностите на коефициента  $\beta$  от скоростта на детонация на взривното вещество.



Фиг. 2. Изменение на стойностите на коефициента  $\beta$  във функция от скоростта на детонация на взривното вещество

За проверка адекватността на регресионния модел на експерименталните данни е проверена стойността на коефициента на корелация между тях по формулата:

$$R^2 = 1 - \frac{Q_{oost}}{Q}, \quad (8)$$

където  $Q_{oost} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2$  и  $Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$  са остатъчната сума на квадратите.

За използваното регресионно уравнение, изчислената стойност на коефициента на корелация е  $R^2=0,959$ , което гарантира адекватността на модела – фиг. 2. При възможност за провеждане на по-голям брой експерименти е препоръчително да се извърши и допълнителна оценка на дисперсията на случайната грешка от опита.

Регресионния модел има това допълнително качество, че с него може да се определя броя на полезните осколки и на боеприпаси, снаряжавани с взривно вещество от един и същи вид, но по различни методи. Например леене, шнековане или порционнно пресоване и др. Във всеки един от тези случай плътността на развирния заряд е различна, съответно различна е и скоростта на детонация. По този начин, ако се използва формула (3) и взривното вещество е тротил за стойността на коефициент  $\beta$  би трябвало да се използва  $\beta=0,58$ . Регресионното уравнение позволява да се изчисли точната стойност на коефициента  $\beta$  за съответстващата скорост на детонация на взривното вещество, снаряжавано по съответния начин.

#### **Заклучение**

Регресионният модел дава възможност да бъдат определяни стойностите на коефициентите  $\beta$ , характеризиращи взривните вещества, при известни техни скорости на детонация в широки граници от 5500 m/s до 8200 m/s и в процеса на проектиране да бъде оценявана тяхната осколъчност по броя на полезните осколки.

Границите за които може да се определя стойността на коефициента  $\beta$  с помощта на модела обхващат познатите взривни вещества и взривни смеси, които се използват за снаряжаване по различни методи на боеприпаси и най-вече на осколъчно-фугасни снаряди.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *БАРКАН С. и др.* Устройство и действие артиллерийских снарядов. С., ДВИ, 1973.
2. *БОЖАНОВ Е., И. ВУЧКОВ.* Статистически решения в производството и научните изследвания. С., Техника, 1979.
3. *ЛАЗОВ Н., В. ВЪЛЧЕВ.* Бойни припаси. С., ВИ, 1984.
4. *РАДЕВ В., О. ЧАЛЪКОВ.* Състояние и перспективи за развитието на артиллерийските снаряди с повишена мощност. Методи за оценка. В. Търново, ЮНК на ВНБОУ, 1996.
5. *ЧАЛЪКОВ О., В. РАДЕВ.* Един метод за повишаване мощта на действие на осколъчно-фугасните снаряди. Шумен, НС с международно участие, ВВАПВО “П. Волов”, 1995.
6. *COLD V., E. BAKER, K NG, J. HIRTINGER.* New Methodology for Simulating Fragmentation Munitions, U. S. Army, TACOM-ARDES, Picatinny Arsenal. NJ, 2001.
7. *LOYD R.* Conventional Warhead System Physics and Engineering Design, Progress in Astronautics and Aeronautics, Volume 179, AIAA, 1999.
8. *SCHWEIGER R.* A step towards computer aided engineering in the field of selfforging - fragment warhead design Intern. Symposium Ballistics, Orlando, 1984.
9. *VICTOR A.* Warhead performance Calculation for Threat Hazard Assessment, Department of Defense Explosive Safety Seminar. Las Vegas, 1996.
10. *ZECEVIC B., TERZIT J., CATOVIC A.* Experimental Research on Influence of Explosive charge to Natural Fragment Size Distribution. Vienna, Austria, 15<sup>th</sup> DAAAM International Symposium: Intelligent Manufacturing & Automation: Globalization – Technology – Men-Nature. 3-6<sup>th</sup> November 2004.

11. *ZECEVIC B., TERZIT J., CATOVIC A.* Influence of Warhead Case Material on Natural Fragmentation Performances. Vienna, Austria, 15<sup>th</sup> DAAAM International Symposium: Intelligent Manufacturing & Automation: Globalization – Technology – Men-Nature. 3-6<sup>th</sup> November 2004.

**Полк. д-р Валентин Иванов Радев** – ст.н.с. II ст. в Института за перспективни изследвания за отбраната към Военна академия „Г. С. Раковски”

**Д-р Ангел Георгиев Крумов** – н.с. I ст. в Институт по металознание БАН