



Ocena skuteczności amunicji odłamkowej wyposażonej w zapalniki zbliżeniowe*

Maciej PODCIECHOWSKI, Krystian ZIMOŃCZYK,
Stanisław ŻYGADŁO

*Institut Systemów Mechatronicznych, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa,
Wojskowa Akademia Techniczna
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa*

Streszczenie. W artykule opisano matematycznie zjawisko rażenia celów grupowych, zdefiniowano kryteria oceny skuteczności tego rażenia, a następnie przedstawiono algorytm symulacji komputerowej, który stanowił podstawę opracowania programu komputerowego, z wykorzystaniem którego przeprowadzono ocenę skuteczności różnego typu amunicji, w warunkach ostrzelania siły żywej w terenie odkrytym. Ocena skuteczności rażenia odłamkowego amunicji artyleryjskiej wykazała, że wzrost skuteczności rażenia, w wyniku zastąpienia zapalnika uderzeniowego zapalnikiem zbliżeniowym, uzyska się przy wybuchach na wysokości z przedziału $\langle 3; 20 \rangle$ m.

Słowa kluczowe: mechanika, artyleryjskie zapalniki zbliżeniowe, skuteczność rażenia

1. WSTĘP

Rażenie odłamkowe jest jednym z podstawowych sposobów zwalczania siły żywej, uzbrojenia i lekkiego sprzętu technicznego na współczesnym polu walki. Do tego celu wykorzystuje się amunicję artyleryjską różnego rodzaju i bomby lotnicze, które wyposaża się w skorupy odłamkowe o naturalnej lub wymuszonej fragmentacji i miniaturowe zapalniki zbliżeniowe.

* Artykuł był prezentowany na VIII Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”, Pułtusk, 6-8 października 2010 r.

Zagadnieniami ostatniej fazy ruchu pocisków, rozpoczynającej się w chwili spotkania pocisku z celem lub zainicjowania jego rozczalenia (wybuchu) w przypadku pocisku z zapalnikiem zbliżeniowym lub czasowym zajmuje się balistyka końcowa. Głównym zadaniem balistyki końcowej są badania zjawisk i procesów związanych z uderzeniowym oraz wybuchowym działaniem pocisków lub ich zespołów bojowych na różne cele. Dotyczą one m.in. wnikania pocisków w napotkane przeszkody i przenikania przez nie, detonacji ładunków wybuchowych, rażącego działania powybuchowych fal uderzeniowych i strumieni kumulacyjnych, wytwarzania i napędzania odłamków oraz skuteczności ich działania na cele żywe, opancerzone i inne.

Aby amunicja była efektywna, to przy jej projektowaniu (skorup odłamkowych i zapalników zbliżeniowych) należy rozwiązać wiele problemów teoretycznych i badawczych, wśród których istotny i ważny jest problem oceny skuteczności rażenia odłamkowego. Rozwiązuje się go na drodze pracochłonnych i kosztownych badań eksperymentalnych lub też w wyniku obliczeń teoretycznych prowadzonych z wykorzystaniem metod symulacji komputerowej.

Teoretyczne rozwiązanie problemu skuteczności rażenia odłamkowego wymaga przede wszystkim wyboru kryteriów oceny, które w wiarygodny sposób pozwolą przewidywać skuteczność użycia amunicji. Następnie trzeba opisać matematycznie te kryteria, opracować algorytm i napisać program symulacji komputerowej zjawiska ostrzelania naziemnych celów grupowych amunicją odłamkową. Program musi umożliwić wprowadzanie danych o charakterystykach skorupy (głowicy) odłamkowej i celu grupowego oraz zakresie zmian parametrów lotu pocisku (prędkości, kącie lotu i wysokości wybuchu). W efekcie otrzymuje się wykresy skuteczności lub jej wzrostu w funkcji wysokości wybuchu.

2. PROGNOZA EFEKTU RAŻENIA ODŁAMKOWEGO

Amunicję o działaniu odłamkowym wykorzystuje się głównie do rażenia naziemnych celów grupowych, które składają się z wielu celów pojedynczych, rozmieszczonych na dowolnym obszarze tak, że ostrzelanie jednego może spowodować również porażenie innych.

Amunicja odłamkowa charakteryzowana jest poprzez rodzaj, ilość i sposób rozprzestrzeniania się energii rażącej po wybuchu. Rozpryskowi, obok odłamków, towarzyszy gazowy produkt wybuchu, którego energia szybko maleje z odległością rozchodzenia się fali uderzeniowej. Odłamki powstałe w wyniku rozprysku głowicy zawierają porcje energii kinetycznej E_{ok} , a ich rozkład przestrzenny, tory lotu, liczba n , prędkości v_{max} , masy m_o i powierzchnie charakterystyczne s_o mają charakter losowy.

W trakcie lotu odłamki tracą stopniowo swoją energię, przy czym wielkość tych strat zależy od: odległości od rozprysku, parametrów m_o , v_{max} i s_o odłamka, a także od współczynnika oporu czołowego C_x i gęstości powietrza ρ . Odłamek skutecznie razi cel, gdy jego energia jest nie mniejsza od energii niezbędnej do porażenia celu:

$$E_{ok} \geq w_s s_o \quad (1)$$

gdzie: w_s – minimalna gęstość energii skutecznie rażąca cel. Z zależności

$$v_{s \min} = \sqrt{\frac{2w_s s_o}{m_o}} \quad (2)$$

można określić minimalną prędkość odłamka skutecznego. Natomiast zależność

$$d_s = \frac{2m_o}{\rho C_x s_o} \ln \frac{v_{\max}}{v_{s \min}} \quad (3)$$

opisuje odległość od punktu rozprysku, na której spełniony jest warunek (1).

Współczynnik C_x określa się w wyniku badań, prowadzonych w tunelu aerodynamicznym. Wielkość powierzchni odłamka s_o szacuje się ze wzoru

$$s_o = uf(m_o) \quad (4)$$

gdzie współczynnik u i funkcję $f(m_o)$ wyznacza się doświadczalnie.

Rozpryskowi głowicy towarzyszy n odłamków, stanowiących sumę odłamków skutecznych n_s i odłamków nieskutecznych n_n . Wielkości: n_s , m_o , v_{\max} i s_o , charakteryzujące odłamki skuteczne oraz ich masowe i ilościowe rozkłady, są nieznane dla głowic o fragmentacji niewymuszonej (wyznacza się je doświadczalnie) oraz znane dla głowic o fragmentacji wymuszonej.

Cel grupowy jest przeliczalnym zbiorem C o licznosci n_c , w skład którego wchodzi cele pojedyncze (żołnierze, samochody, pojazdy bojowe, radiostacje, radary itp.) rozmieszczone na obszarze S_c o dowolnym kształcie i wymiarach. Ze względu na różne cele, w zbiorze C wyróżnia się podzbiory $C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_J$ o tych samych własnościach. Każdy cel pojedynczy w analizie efektu rażenia określa: powierzchnia wrażliwa s_c , gęstość energii odłamka w_s skutecznie rażąca cel i liczba odłamków skutecznych k , wymagana do porażenia celu.

Warunki rażenia celu grupowego określa zbiór czynników, spośród których na wyróżnienie zasługują:

- sposób i dokładność wstrzelenia pocisku w rejon celu
- wysokość H_w , kąt upadku θ_p i prędkość v_p pocisku w chwili wybuchu
- rodzaj terenu i warunki atmosferyczne w rejonie celu
- sposób maskowania i osłony celów pojedynczych.

Podsumowując rozważania o prognozowaniu efektu rażenia, można stwierdzić, że:

- o skuteczności rażenia celu decyduje wiele czynników związanych z pociskiem, celem i warunkami rażenia, przy czym wiele z nich ma charakter losowy
- przedziały zmian wartości poszczególnych czynników na ogół wyznacza się doświadczalnie
- dla jednego pocisku można zbudować liczny zbiór celów grupowych
- informacje o celach grupowych można uzyskać w wyniku analizy ugrupowań bojowych wojsk
- uzyskanie pełnego zbioru danych i informacji do prognozowania efektu rażenia jest niemożliwe.

3. SPOSÓB OCENY EFEKTU RAŻENIA ODŁAMKOWEGO

Efekt rażenia celu grupowego jest wprost proporcjonalny do sumy porażonych celów pojedynczych, wykluczonych z walki. Jeżeli założymy, że:

- cel grupowy jest rozmieszczony na powierzchni S_c i określa go zbiór $C = \{C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_J\}$
- każdy podzbiór $C_j \in C$ składa się z n_j celów pojedynczych o parametrach s_{cj} , w_{sj} i k_j oraz predyspozycji bojowej W_{bj} , o wartości z przedziału $(0;1)$
- porażenie celu ma miejsce w wyniku wybuchu tylko jednego pocisku na wysokości H_w przy kącie θ_p i prędkości v_p
- porażone i wykluczone z walki cele pojedyncze tworzą przeliczalny zbiór $C_p = \{C_{p1}, C_{p2}, \dots, C_{pj}, \dots, C_{pJ}\}$ o licznosci n_p
- cel pojedynczy jest porażony, jeżeli zostanie trafiony przez odłamki skuteczne, których liczba $k_{ij} \geq k_j$, gdzie k_j – minimalna liczba odłamków skutecznych potrzebna do porażenia celu pojedynczego ze zbioru C_j ,

to suma porażonych i wykluczonych z walki celów pojedynczych określona jest przez n_{pj} podzbioru C_{pj} dla celu jednorodnego lub za pomocą licznosci n_p zbioru C_p dla celu niejednorodnego. Licznosci n_{pj} i n_p są zmiennymi losowymi, których dobrą miarą są wartości oczekiwane:

$$\mu_{pj} = \sum_{l=0}^{n_j} l P\{n_{pj} = l\} \quad \mu_p = \sum_{j=0}^J \mu_{pj} W_{bj} \quad (5)$$

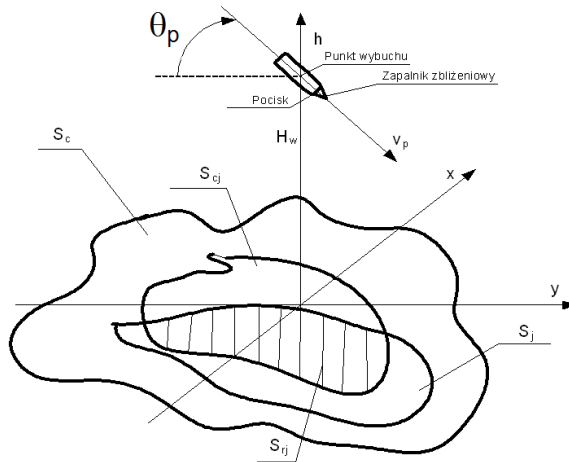
W praktyce do oceny porównawczej efektu rażenia odłamkowego potrzebna jest informacja o stopniu porażenia celu grupowego o różnym składzie i charakterze.

Taką informację dostarczają wskaźniki:

$$q_{pj}[\%] = 100 \frac{\mu_{pj}}{n_j} \quad q_p[\%] = 100 \frac{\mu_p}{\sum_{j=1}^J n_j W_{bj}} \quad (6)$$

Niezbędne do prowadzenia jakościowej i ilościowej oceny powyższych wskaźników jest opisanie prawdopodobieństwa $P_{jl} = P\{n_{pj} = l\}$ porażenia l z n_j elementów $C_{ji} \in C_j$. Opisując cel $C_{ji} \in C_j$ poprzez powierzchnie S_j , S_{cj} i S_{rj} (rys. 1), otrzymamy:

$$\mu_{pj} = \sum_{i=0}^{n_j} l \binom{n_j}{l} \left[\frac{1}{S_{cj}} \sum_{z=1}^Z P_{jz} S_{rjz} \right]^l \left[1 - \frac{2}{S_{cj}} \sum_{z=1}^Z P_{jz} S_{rjz} \right]^{(n_j-l)} \quad (7)$$



Rys. 1. Położenie powierzchni rozmieszczenia celu grupowego i obszaru rażenia $S_{cj} \in S_c$ – powierzchnia rozmieszczenia celów ze zbioru C_j , S_c – powierzchnia rozmieszczenia celów ze zbioru C , $S_j \in S$ – powierzchnia rażenia odłamkami skutecznymi, $S_{rj} \in (S_{cj} \cap S_j)$

Fig. 1. Location of the surface distribution of target group and destruction area $S_{cj} \in S_c$ – the surface of targets distribution from the set C_j , S_c – the surface of targets distribution from the set C , $S_j \in S$ – the surface of effective destruction area, $S_{rj} \in (S_{cj} \cap S_j)$

Cechą charakterystyczną celu grupowego jest to, że zajmuje określoną powierzchnię S_c . Dlatego też o skuteczności rażenia pocisku powinna decydować powierzchnia S_j , a nie obszar $S_{rj} \leq S_j$. Taką wielkością, będącą dobrą miarą (kryterium) skuteczności działania odłamkowego jest wartość oczekiwana skutecznej powierzchni rażenia [1]:

- dla celu jednorodnego
$$\mu_{sj} = \sum_{z=1}^Z p_{jz} S_{jz} \quad (8)$$

- dla celu niejednorodnego
$$\mu_s = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \mu_{sj} W_{bj} \quad (9)$$

gdzie: Z – liczba pól s_{jz} , na które podzielono obszar S_j .

Efektywnym sposobem podwyższania skuteczności pocisków artyleryjskich jest ich wyposażanie w zapalniki zbliżeniowe, w miejsce zapalników uderzeniowych. Aby jednak takie przedsięwzięcie było uzasadnione, należy wykazać, że wskaźnik wzrostu skuteczności

$$q_s = \frac{\mu_s(H_w = H_{ZA})}{\mu_s(H_w = 0)} > 1 \quad (10)$$

gdzie: $H_{ZA} > 0$ – wysokość zadziałania zapalnika zbliżeniowego;

$\mu_s(H_w = 0)$ – skuteczność pocisku z zapalnikiem uderzeniowym.

4. METODA BADANIA SKUTECZNOŚCI RAŻENIA ODŁAMKOWEGO

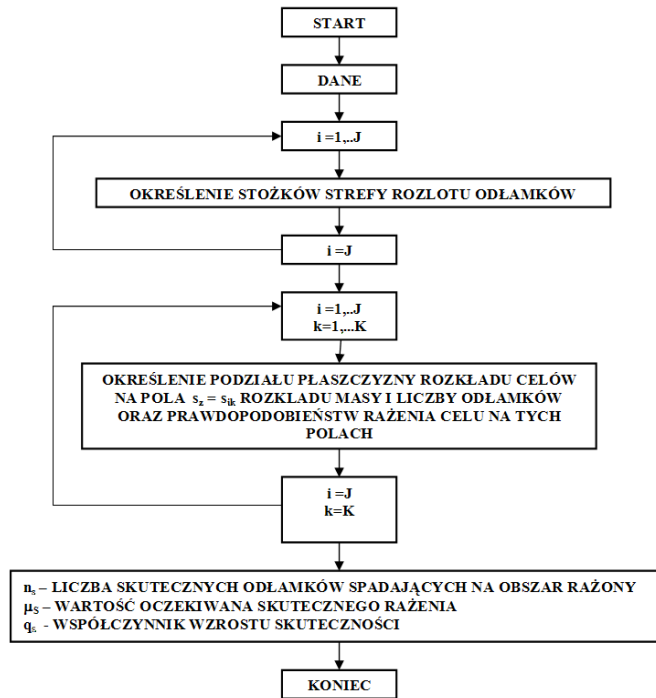
W symulacyjnej metodzie badania skuteczności rażenia odłamkowego przedstawianej w pracy [1] przyjęto kryteria w postaci wartości oczekiwanej skutecznej powierzchni rażonej μ_s (9) i współczynnika wzrostu skuteczności q_s (10). Ponadto przyjęto, że istota metody będzie polegała na:

- symulacji rozprysku głowicy odłamkowej nad celem dla zadanych parametrów lotu pocisku
- podziale przestrzeni rozlotu odłamków na sektory wokół punktu rozprysku pocisku, a powierzchni rozmieszczenia celu – na pola elementarne s_z
- obliczaniu (w wyniku całkowania numerycznego) wielkości pól s_z i wyznaczeniu liczb n_{s_z} odłamków skutecznych spadających na poszczególne pola s_z
- wyznaczeniu prawdopodobieństwa porażenia p_z elementarnych powierzchni s_z
- obliczeniu wskaźników μ_s (9) i q_s (10).

Wielokrotna symulacja rozprysku i każdorazowe obliczenia skuteczności rażenia dają możliwość szybkiego uzyskania informacji o wpływie: parametrów lotu pocisku, charakterystyk głowicy odłamkowej i charakteru celu na skuteczność rażenia pocisku. Rozprysk głowicy jest symulowany numerycznie dla kolejno wybieranych kombinacji wartości:

$$H_w \in \langle H_{wmin}; H_{wmax} \rangle; v_p \in \langle v_{pmin}; v_{pmax} \rangle; i \theta_p \in \langle \theta_{pmin}; \theta_{pmax} \rangle$$

przy czym wybór ten jest dokonywany z odpowiednimi krokami.



Rys. 2. Algorytm obliczeń komputerowych

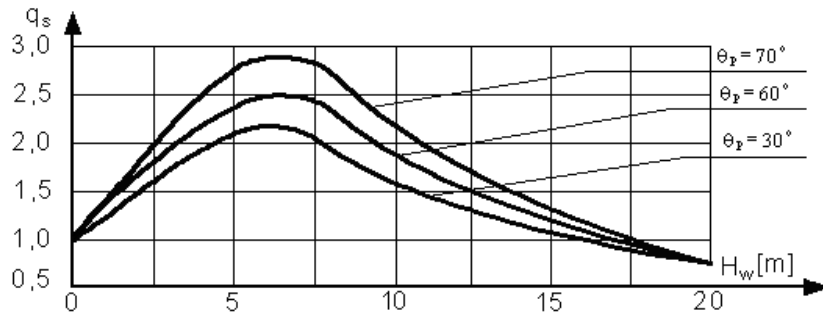
Fig. 2. The computing algorithm

Algorytm obliczeń (rys. 2) zawiera model matematyczny pocisku, do opracowania którego przyjęto następujące założenia:

- środek masy pocisku jest także środkiem jego rozprysku, a wektor prędkości pocisku v_p jest przyłożony w środku rozprysku i ma kierunek zgodny z osią symetrii pocisku
- w chwili rozprysku skorupy powstaje zbiór odłamków A o licznosci n , który składa się z podzbioru odłamków skutecznych A_s oraz podzbioru odłamków nieskutecznych A_n ; licznosci n_s i n_n wyżej wymienionych podzbiorów z odległością od punktu rozprysku ulegają zmianie, przy czym ich suma jest stała i równa n
- tory loty odłamków na swojej drodze skutecznej d_s są prostoliniowe i rozpoczynają się w środku rozprysku; odległości skuteczne odłamków d_s opisane są przez zależność (3); wektory prędkości v_{max} są przyłożone w środku rozprysku, a ich kierunki i zwroty mają charakter losowy

- przestrzeń rażenia odłamków jest kulą o środku w punkcie wybuchu pocisku i promieniu r_s równym odległości d_{smax} , jaką osiągnie odłamek najskuteczniejszy
- przestrzeń rozlotu odłamków skutecznych określana jest na podstawie rozkładu ilościowego $n(i)$, podziału masowego q_j i procentowego rozkładu masowego $\varepsilon(j)$ odłamków.

Jako przykład przedstawiono wyniki obliczeń wzrostu skuteczności rażenia odłamkowego q_s dla pocisku moździerzowego 120 mm w przypadku ostrzelania celu grupowego w postaci ugrupowania siły żywej, w pozycji leżącej – rysunek 3.



Rys. 3. Wykresy wzrostu skuteczności q_s dla 120 mm pocisku moździerzowego

Fig. 3. Growth efficiency charts q_s for 120 mm caliber mortar projectile

5. WNIOSKI

W artykule przedstawiono sposób rozwiązania problemu kryteriów oceny skuteczności rażenia odłamkowego naziemnych celów grupowych. Do oceny efektu rażenia celu wykorzystano: wartości oczekiwane liczby porażonych elementów celu grupowego (μ_{pj} lub μ_p), wartości rażonej powierzchni celu (μ_{cj} lub μ_c) oraz współczynnik stopnia porażenia celu (q_{pj} lub q_p). Natomiast do oceny skuteczności środków rażących o działaniu odłamkowym: wartość oczekiwaną skuteczną powierzchnię rażenia (μ_{sj} lub μ_s) oraz współczynnik wzrostu skuteczności q_s .

Przedstawione kryteria stanowią podstawę do opracowania symulacyjnej metody badań skuteczności rażenia odłamkowego, która umożliwi ocenę wpływu parametrów lotu pocisku, własności celu grupowego oraz charakterystyk głowicy odłamkowej na skuteczność rażenia.

Proponowany w artykule sposób rozwiązania problemu skuteczności rażenia odłamkowego pozwala zaoszczędzić czas i ograniczyć koszty, a uzyskane wyniki, zdaniem autorów, są w pełni wiarygodne i wystarczające do projektowania artyleryjskich zapalników zbliżeniowych.

I tak od zapalnika zbliżeniowego do pocisków artyleryjskich uzyskano wymaganą wysokość zadziałania z przedziału: $\langle H_w \rangle \approx \langle 3;25 \rangle m$, natomiast dla zapalnika zbliżeniowego do niekierowanych pocisków raketowych warunek powyższy przyjmuje postać $\langle H_w \rangle \approx \langle 6;22 \rangle m$.

Artykuł zawiera wyniki pracy finansowanej przez MNiSW ze środków na naukę w latach 2009-2011 jako projekt rozwojowy nr O R00 0001 09.

LITERATURA

- [1] Sznuć K., *Symulacyjna metoda badania skuteczności głowic odłamkowych*, praca doktorska, Wydawnictwo WAT, Warszawa, 1979.
- [2] Rozpłochowski M., Zimończyk K., *Analiza i synteza dopplerowskich i częstotliwościowych radiozapalników do bomb lotniczych*, praca doktorska, Wydawnictwo WAT, Warszawa, 1985.
- [3] Sznuć K., Zimończyk K., Kryteria oceny skuteczności rażenia celów grupowych pociskami odłamkowymi, *Biuletyn WAT*, vol. XXXVIII, nr 3, s. 67-76, Warszawa, 1989.
- [4] Sznuć K., Zimończyk K., Komputerowe badania skuteczności rażenia odłamkowego, *Biuletyn WAT*, vol. XXXIX, nr 4, s. 103-116, Warszawa, 1990.
- [5] Gacek J., Sznuć K., Zimończyk K., Komputerowe badania skuteczności rażenia odłamkowego niekierowanych pocisków raketowych „z-z”, *Biuletyn WAT*, vol. XXXIX, nr 6, s. 67-78, Warszawa, 1990.
- [6] Dąbrowski W., Zimończyk K., Wpływ zastosowania zapalników zbliżeniowych na skuteczność środków rażących, *Problemy Techniki Uzbrojenia i Radiolokacji*, nr 42, s. 49-62, Wydawnictwo WITU, 1988.

Evaluation of the Effectiveness Destruction of Fragmentation Ammunition Equipped with Proximity Detonators

Maciej PODCIECHOWSKI, Krystian ZIMOŃCZYK,
Stanisław ŻYGADŁO

Abstract. In the paper there are described mathematically phenomenon of group targets. The criteria for assessing the effectiveness of the destruction are defined and then an algorithm of computer simulation is presented, which provided a basis for developing a computer program. Using this one was carried out an assessment of the effectiveness of various types of ammunition, firing conditions of manpower in the outdoor area. Evaluate the effectiveness of fragmentation destruction of artillery ammunition showed that increasing the efficiency of destruction is achieved by explosions at an altitude ranging between $\langle 3, 20 \rangle$ m, as a result of the shock fuse replacement on the proximity fuse.

Keywords: mechanics, artillery proximity fuses, destruction efficiency