



Pomiary charakterystyk odłamków głowicy niekierowanego lotniczego pocisku raketowego 70 mm

ANDRZEJ FARYŃSKI, ANDRZEJ DŁUGOŁĘCKI,
ZBIGNIEW ZIÓŁKOWSKI

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych,
01-494 Warszawa, ul. Księcia Bolesława 6

Streszczenie. Przedstawiono metodę i poparte obliczeniami wyniki pomiarów prędkości początkowej (ok. 1200 m/s) oraz kąтового i masowego rozkładu rozlotu odłamków po eksplozji głowicy odłamkowo-zapalającej rakiety 70 mm. Oszacowano współczynnik siły oporu najszybszych odłamków $c_D = 2,4 \div 4,6$ dla $M \approx 3$, promień rażenia 150 m.

Słowa kluczowe: balistyka zewnętrzna, wybuch, fragmentacja korpusu, prędkość odłamków

Symbole UKD: 623.54

1. Wstęp

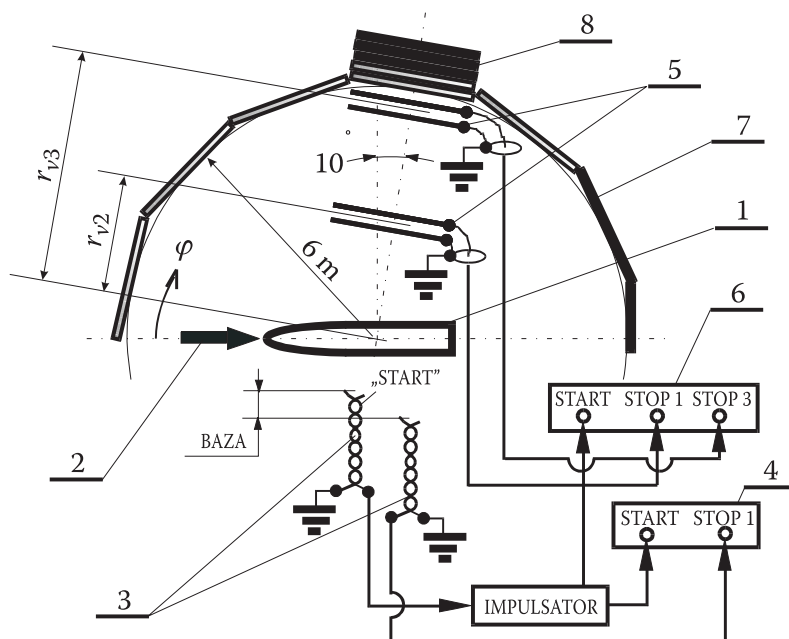
Poniżej opisano badania głowicy odłamkowo-zapalającej rakiety niekierowanej 70 mm, mające na celu uzyskanie wiarygodnych danych (prędkość początkowa, rozkład kątowy/masowy rozlotu) odnośnie działania rażącego jej odłamków. Próby przeprowadzono w warunkach, w jakich badano podobną głowicę M151 [1].

2. Układ badawczy

Rzut na płaszczyznę poziomą wzajemnego rozmieszczenia badanej głowicy i urządzeń pomiarowo-rejestrujących przedstawiono na rysunku 1.

Badana odłamkowo-zapalająca głowica bojowa 1, umieszczana tak, że jej oś podłużna leżała poziomo, zawierała materiał wybuchowy TNT-RDX o przybliżonej

gęstości energii chemicznej 4,5 MJ/kg, mający w przybliżeniu kształt walca o średnicy 45 mm i długości 170 mm. Walec materiału wybuchowego (MW) otoczony był cylindryczną warstwą stali o grubości 11 mm na przeważającej części pobocznic i 6 mm w części tylnej (przeznaczonej do łączenia z silnikiem). Korpus zamykały: część dziobowa i dno, o znaczeniu drugorzędnym w procesie tworzenia odłamków. Ładunek MW głowicy był pobudzany od strony „dziobu”.



Rys. 1. Schemat eksperymentu (skala niezachowana): 1 — głowica bojowa; 2 — kierunek pobudzenia detonacji (dziób głowicy); 3 — zwarciove czujniki drutowe; 4 — miernik czasów mikrosekundowych; 5 — zwarciove czujniki płaszczyznowe; 6 — miernik czasów milisekundowych; 7 — półcylindryczna tarcza do określania geometrii rozlotu odłamków; 8 — stos z płyt pilśniowych do wyłapywania odłamków

Prędkość odłamków mierzono w kierunku zbliżonym do normalnej do osi głowicy. Do jej wyznaczenia służył zestaw czujników zwarciowych 3 i 5, wraz z wielokanałowymi licznikami czasu 4 i 6. Każdy kanał licznika mierzył czas między zwarcie na wspólnym wejściu START i zwarcie na odpowiednim wejściu STOP. Licznik 4, mierzący w zakresie mikrosekundowym (z dokładnością 0,01 μ s) czas t_1 dojścia powierzchni rozpęcanego korpusu głowicy do czujnika zwarciowego STOP 1, znajdującego się w odległości „baza” od czujnika START, obsługiwany był przez czujniki drutowe; zwierane końcówki drutów umieszczone były w takiej początkowej odległości od ścianki korpusu, by znajdowały się przed strefą jego pęknięcia. Zliczanie — w zakresie milisekundowym (z dokładnością 1 μ s) w kanałach licznika 6 — czasów

dolotu odłamków głowicy, odpowiednio: t_2 — na odległość r_{v2} i t_3 — na odległość r_{v3} , zatrzymywane było przez czujniki płaszczyznowe o powierzchni $0,7 \times 0,7 \text{ m}^2$, natomiast rozpoczynało się, podobnie jak w liczniku 4, od tego samego impulsu wytwarzanego przez IMPULSATOR, zwierany czujnikiem START, umieszczonym w odległości ok. 1 mm od powierzchni głowicy. Głowica, czujniki oraz środek pasa tarczy 7, umieszczone były na wysokości 1 m nad ziemią.

3. Pomiar prędkości odłamków

Detonujący ładunek MW powoduje rozpęcznie ścianek głowicy, które pierwotnie mają na przeważającej jej długości grubość 11 mm, zaś na odcinku denym, przeznaczonym do połączenia z silnikiem — grubość ok. 6 mm. Przyjmując, że pęknięcie skorupy następuje po ok. 20% liniowym odkształceniu plastycznym, otrzymujemy, że grubość przeważającej części skorupy w momencie tworzenia odłamków wynosi $d \approx 9 \text{ mm}$.

Czasy: t_1 — pokonania przez rozpęczony korpus odcinka „baza”, t_2 — pokonania przez wytworzone odłamki liderowe (najszybsze) odcinka r_{v2} i t_3 — pokonania przez odłamki liderowe odcinka r_{v3} , w kolejnych strzałach — zamieszczono w tabeli 1. Na ich podstawie obliczono, zamieszczone również w tej tabeli, średnie prędkości skorupy i odłamków v_1 , v_2 i v_3 na danych odcinkach.

W dwóch pierwszych strzałach głowica zwrócona była „dziobem w lewo” w orientacji zgodnej z rysunkiem 1 i zwarciove czujniki płaszczyznowe 5 ustawione były w sektorze, w który leciały odłamki pochodzące z grubszej (11 mm) części skorupy. Podczas strzału 3 głowica ustawiona była „dziobem w prawo”, a ustawiony blisko głowicy czujnik płaszczyznowy o rozmiarach porównywalnych z r_{v3} mógł być zwierany również przez potencjalnie szybsze odłamki, pochodzące z części dennej. Tym tłumaczy się fakt, że zarejestrowana prędkość maksymalna odłamków w 2 pierwszych strzałach wynosiła ok. 1200 m/s, natomiast w strzale 3 — ok. 1600 m/s.

TABELA 1

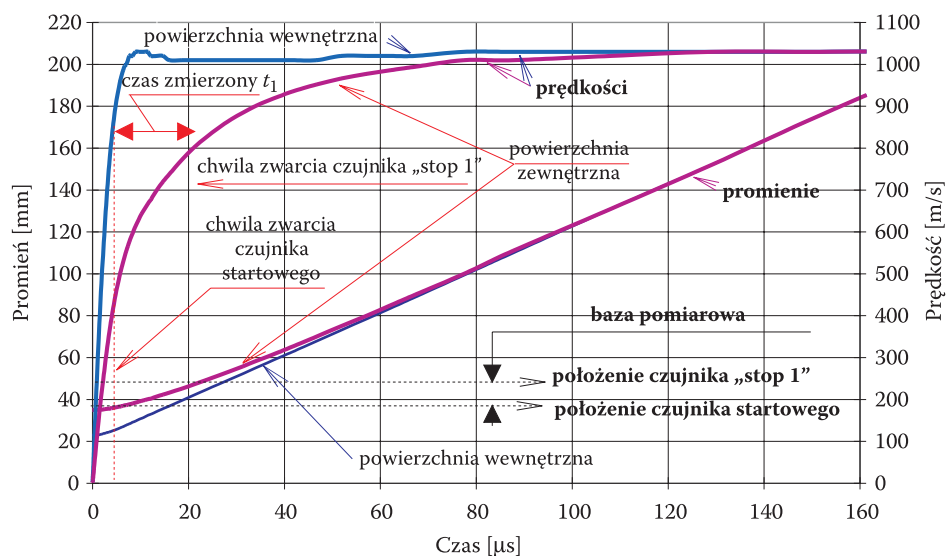
Zmierzone czasy i obliczone prędkości odłamków

	„baza” [mm]	t_1 [μs]	v_1 [m/s]	r_{v2} [m]	t_2 [ms]	v_2 [m/s]	r_{v3} [m]	t_3 [ms]	v_3 [m/s]
Strz. 1	13,9	20,4	681	3	2,498	1201	6	10,738	559*)
Strz. 2	11,2	16,8	667	3	2,477	1211	6	5,486	1094/997**)
Strz. 3	9,4	14,2	662	–	–	–	1	0,622	1610

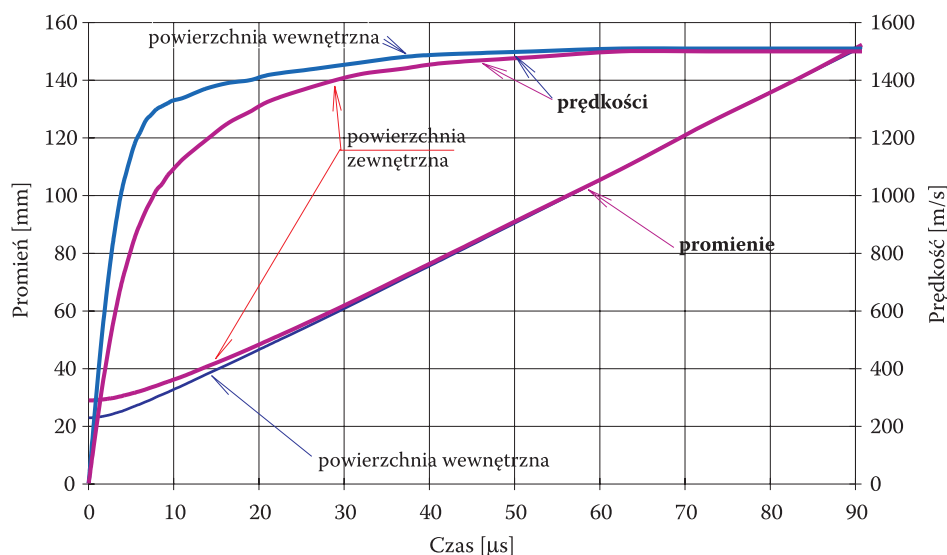
*) — czujnik STOP 3 zwarty przez inny odłamek, niż STOP 2

***) — prędkość na bazie r_{v3} /prędkość na bazie $r_{v3} - r_{v2}$

Za pomocą prostego modelu numerycznego ([2], wz.1.4) adiabaticznej ekspansji gazów powybuchowych w otoczce stalowej i w symetrii sferycznej opartego na [3] obliczono zmianę w czasie promienia i prędkości wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni skorupy głowicy (traktowanej jako ośrodek nieściśliwy). Wyniki tych obliczeń pokazano na rysunku 2 — dla ścianki o początkowej grubości 11 mm i na rysunku 3 — dla ścianki o początkowej grubości 6 mm. Obliczone prędkości końcowe wyniosły 1030 m/s dla ścianki grubszej i 1500 m/s dla cieńszej. W symetrii cylindrycznej, właściwej dla konstrukcji głowicy, ze względu na mniejsze obciążenie jednostkowe materiału wybuchowego masą napędzanej skorupy, uzyskiwane prędkości końcowe są trochę większe od wyżej wymienionych. Wartości powyższe dobrze zgadzają się, nawet ilościowo, z prędkościami zmierzonymi. Parametry do obliczeń zostały dobrane tak, by przyrost promienia zewnętrznego po zmierzonym czasie t_1 odpowiadał wartości „bazy” dla strzału nr 2. Na rysunku 2 pokazano odcinki „baza” i t_1 oraz punkty umieszczenia czujników zwarciovych. Rysunek ten obrazuje również wzajemny stosunek prędkości średniej v_1 na „bazie” i maksymalnej prędkości odłamków.



Rys. 2. Początkowa faza rozpękania skorupy i rozlotu odłamków w głównej części o początkowej grubości ścianki 11 mm



Rys. 3. Początkowa faza rozpękania skorupy i rozlotu odłamków w części bliskiej dna o początkowej grubości ścianki 6 mm

4. Współczynnik oporu aerodynamicznego odłamka, promień rażenia

Wyniki pomiaru prędkości w czasie strzału 2 pozwalają na oszacowanie nadźwiękowego współczynnika oporu aerodynamicznego c_D najszybszego odłamka przy założeniu, że w rozpatrywanym zakresie prędkości (liczba Macha $M \approx 3$) ma on wartość stałą. Równanie poziomego ruchu odłamka w powietrzu, w kierunku osi x :

$$dv/dt = -c_D \rho_p v^2 S/(2m), \quad v = dx/dt,$$

gdzie: ρ_p — gęstość powietrza;
 S — średnia powierzchnia czołowa odłamka;
masa odłamka $m = S \rho_m d$, $\rho_m = 7800 \text{ kgm}^{-3}$ — gęstość metalu odłamka;
 $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$,

można prosto scałkować do postaci $v = v_0 \exp(-c_D \rho_p x S/2m)$. Można łatwo pokazać, że prędkość odłamka, który wiruje z równym prawdopodobieństwem wokół 3 osi, maleje najwolniej z x , gdy odłamek jest sześcianem o krawędzi d i $S/m \approx 1,5/\rho_m/d$, a wtedy dla danych jak w tabeli 1 ($v_2 \approx 1200 \text{ m/s}$, $v_3 = 1000 \div 1090 \text{ m/s}$)

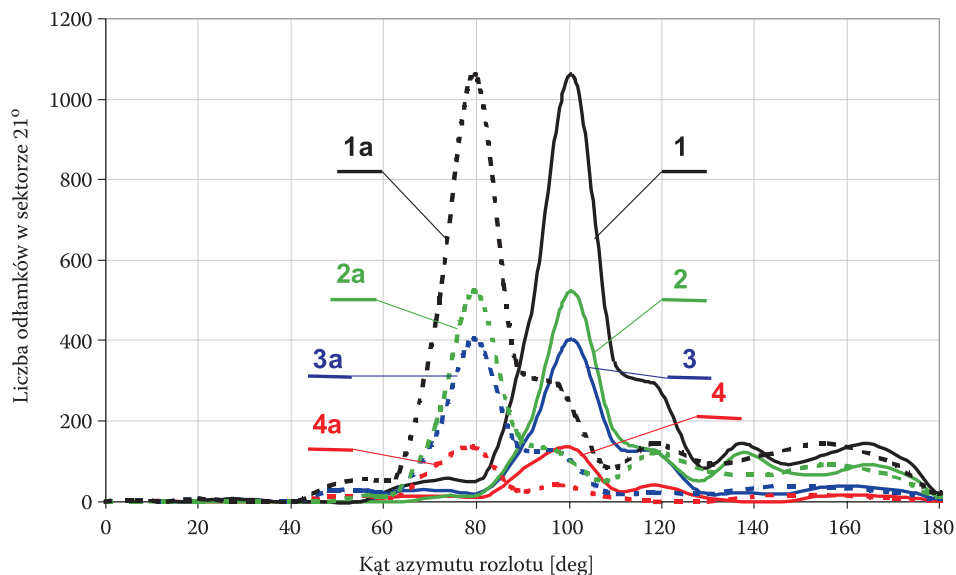
$$c_D = (4/3) (d/(r_{v3} - r_{v2})) (\rho_m/\rho_p) \ln(v_2/v_3) = 4,6 \div 2,4.$$

Podobnie, wprowadziwszy „naddźwiękowy analog prędkości charakterystycznej” $v_{CH} = (2 m g / c_D / \rho_p / S)^{1/2}$ i mając na uwadze, że właściwe wartości (poddźwiękowej) prędkości charakterystycznej są ok. $1,5 \times$ większe, dostajemy $v = v_0 \exp(-g x / v_{CH}^2)$, skąd $v_{CH} = [g(r_{v3} - r_{v2}) / \ln(v_2 / v_3)]^{1/2} = 12,7 \div 17,5$ m/s dla danych jak wyżej. Otrzymane wartości c_D pozwalają na oszacowanie za pomocą powyższych wzorów promienia rażenia x_R (odległości, na której prędkość odłamka spada do wartości, której odpowiada energia kinetyczna 70 J) odłamków sześciennych, przyjmując mniej korzystny wariant, w którym $c_D = 2,6$ dla $M > 1$, $c_D = 1$ dla $M \leq 1$ oraz $v_0 = 1200$ m/s. I tak kolejno, dla odłamka „liderującego”, dla odłamków o masach 5 g i 1 g, $x_R = 150$ m, 131 m i 31 m odpowiednio.

5. Rozkład kątowy rozlotu odłamków

Do określenia geometrii rozlotu odłamków w płaszczyźnie poziomej, przechodzącej przez oś symetrii podłużnej głowicy (w funkcji kąta φ , rys. 1; $\varphi = 0$ — kierunek, wyznaczany przez dziób) służyła półcylicyryczna tarcza 1, wykonana z pojedynczych płyt pilśniowych o grubości ok. 5 mm i wysokości 1,2 m, ustawionych pionowo wokół badanej głowicy. Oś podłużna głowicy, umieszczonej poziomo w centrum półcylicyry, przechodziła przez jego skrajne krawędzie. Granice sektorów kąta azymutu $\Delta\varphi = \varphi_j - \varphi_{j-1}$ wyznaczały rozmiary pojedynczej płyty. Rozkład ilości i wielkości odłamków w funkcji kąta φ określano na podstawie zliczeń przebić płyt w poszczególnych sektorach. Jeden z sektorów przy $\varphi \approx 90^\circ$, stanowiący stos miękkich płyt pilśniowych („8”, rys. 1), służył do zatrzymania wszystkich odłamków, lecących w dany kąt bryłowy, co następnie pozwalało na określenie rozkładu wymiarów i mas „ m ” odłamków w całkowitej ich populacji. Po zdetonowaniu dwóch głowic ilość zliczonych przebić płyt dla kolejnych sektorów przeliczano następnie na kąt 360° w płaszczyźnie prostopadłej do osi głowicy; wielkość odłamków przez analogię do ustaleń sektora „8” określano na podstawie powierzchni przebitego otworu.

Stosując jako kryterium wielkość powierzchni przebicia, odłamki zakwalifikowano do trzech grup: duże ($m > 5$ g), średnie ($1 \text{ g} \leq m \leq 5 \text{ g}$) i drobne (lub małe) ($m < 1 \text{ g}$). W sumie przy wybuchu głowicy powstaje ok. 3000 odłamków różnej wielkości, z których ok. 71% w warunkach statycznych miotanych jest w sektorze $\Delta\varphi = 79^\circ \div 143^\circ$. W warunkach uderzenia w cel z prędkością postępową v_p rozkład kątowy w azymucie ulega przesunięciu. Na rysunku 4 przedstawiono ten rozkład zmierzony oraz przeliczony dla $v_p = 400$ m/s.



Rys. 4. Wykres obrazujący geometrię rozlotu odłamków po wybuchu badanej głowicy w warunkach statycznych (WS) i z uwzględnieniem prędkości postępowej głowicy $v_p = 400$ m/s (PP) (postać różniczkowa); oznaczenia: 1 — wszystkie odłamki w WS, 2 — małe w WS, 3 — średnie w WS, 4 — duże w WS, 1a — wszystkie z PP, 2a — małe z PP, 3a — średnie z PP, 4a — duże z PP; szerokość sektora (płyty pilśniowej) $\Delta\varphi = 21^\circ$

6. Wnioski

Ocenia się, że w trakcie wybuchu badanej głowicy bojowej powstaje ok.:

- 390 szt. odłamków dużych ($m > 5$ g);
- 1100 szt. odłamków średnich ($5 \text{ g} > m > 1 \text{ g}$);
- 1500 szt. odłamków małych ($m < 1 \text{ g}$) — rwanych i o nieregularnych wymiarach.

Odłamki te uzyskują prędkość maksymalną na drodze ok. 20 cm od osi głowicy, po czasie ok. 100 μs od umownej chwili detonacji. Ich współczynnik siły oporu dla $M \approx 3$, przy kształcie zbliżonym do sześcianu, wynosi $c_D = 2,4 \div 4,6$, ze wskazaniem na większą wartość, zaś oszacowany promień rażenia ok. 150 m.

Odłamki pochodzące z walcowej części głowicy (o grubości 11 mm), stanowiące przeważającą część wszystkich odłamków, mają prędkości początkowe, wynoszące w warunkach statycznych ok. 1200 m/s. Prędkość tych odłamków po pokonaniu ok. 6 m spada do ok. 1000 m/s. Maksymalna prędkość tych odłamków w przypadku głowicy, poruszającej się z prędkością 400 m/s, wynosi ok. 1270 m/s. Jest to ok. 200 \div 300 m/s mniej, niż prędkość średnia odłamków podawana w [1].

Odłamki, pochodzące z części dennej, wkręcanej w silnik, stanowiące zdecydowaną mniejszość wszystkich odłamków, w warunkach badań statycznych izolowanej

głowicy mają prędkości początkowe dochodzące do 1600 m/s. Przy głowicy wkręczonej w silnik, ich prędkość początkowa jest mniejsza i wynosi prawdopodobnie ok. 1400 ÷ 1450 m/s. Maksymalna prędkość odłamków z tej części głowicy, poruszającej się przed wybuchem z prędkością 400 m/s, wynosi ok. 1500 m/s.

Artykuł wpłynął do redakcji 19.05.2008 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w maju 2008 r.

LITERATURA

- [1] *TBX Evaluation Testing in the M151 Warhead as Risk Reduction for the APKWS*, 2005 NDIA Missiles & Rockets Symposium, Jason Gilliam, 28 April 2005.
- [2] *Badania procesów powstawania przestrzennego ładunku elektrycznego w pyłach powybuchowych w celu określenia zagrożeń podczas przelotu przez obłoki takich pyłów*, Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego Nr OT00B02524, ITWL, Warszawa, 2005.
- [3] E. WŁODARCZYK, A. JACKOWSKI, *Napędzanie warstwy cieczy nieściśliwej w powietrzu przez gazowe produkty wybuchu skupionego. Analityczne rozwiązanie zagadnienia*, Biul. WAT, 45, 3, 1996.

A. FARYŃSKI, A. DŁUGOLECKI, Z. ZIÓLKOWSKI

Measurements of characteristics of warhead fragments of the 70-mm air-to-ground unguided missile

Abstract. The measurement method as well as results of the computationally verified initial warhead fragments velocity (approx. 1200 m/s) and of their angular (spatial) and mass distributions for the fragmentation — incendiary warhead of 70-mm rocket were presented. The drag coefficient $c_D = 2.4 \div 4.6$ at $M \approx 3$ and the lethal range of 150 m for leader (the fastest) fragments were evaluated.

Keywords: exterior ballistics, explosive, case fragmentation, fragments velocity

Universal Decimal Classification: 623.54