



Pomiary parametrów fali uderzeniowej wytwarzanej przez wybuch 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 wyniki pomiarów impulsów ciśnienia generowanych przez eksplozję głowicy odłamkowo-zapalającej rakiety 70 mm. Oszacowano prędkość fali uderzeniowej, równoważnik trotylowy wybuchów, odpowiadający generowanym impulsom, część energii materiału wybuchowego, zużywaną na wytworzenie fali uderzeniowej oraz promień rażenia siły żywej przez falę uderzeniową.

Słowa kluczowe: balistyka zewnętrzna, wybuch, fala uderzeniowa, prędkość fali uderzeniowej, impuls ciśnienia

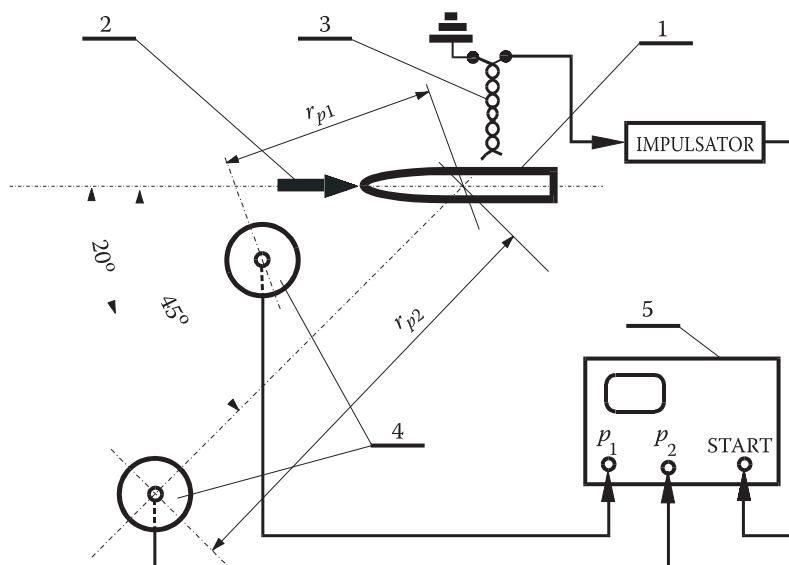
Symbole UKD: 623.54

1. Wstęp

Poniżej opisano badania głowicy odłamkowo-zapalającej rakiety niekierowanej 70 mm, mające na celu uzyskanie danych dotyczących wywołanej przez nią fali uderzeniowej, w tym działania rażącego. Próby przeprowadzono w warunkach, w jakich badano podobną głowicę M151 [1].

2. Schemat eksperymentu

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



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego (skala niezachowana): 1 — głowica bojowa; 2 — kierunek pobudzenia detonacji (dziób głowicy); 3 — zwarcioowy czujnik drutowy (startowy); 4 — czujniki ciśnienia z opływami; 5 — oscyloskop cyfrowy

Badana odłamkowo-zapalająca głowica bojowa 1, umieszczana tak, że jej oś podłużna leżała poziomo, zawierała ok. 0,46 kg materiału wybuchowego TNT-RDX o przybliżonej gęstości energii chemicznej 4,5 MJ/kg, mającego w przybliżeniu kształt walca o średnicy 45 mm i długości 170 mm. Walec ten otoczony był warstwą stali o grubości ok. 11 mm, przy czym na długości ok. 4 cm od strony dna głowicy grubość ta wynosiła 6 mm. Ładunek materiału wybuchowego (MW) głowicy był pobudzany od strony „dziobu”.

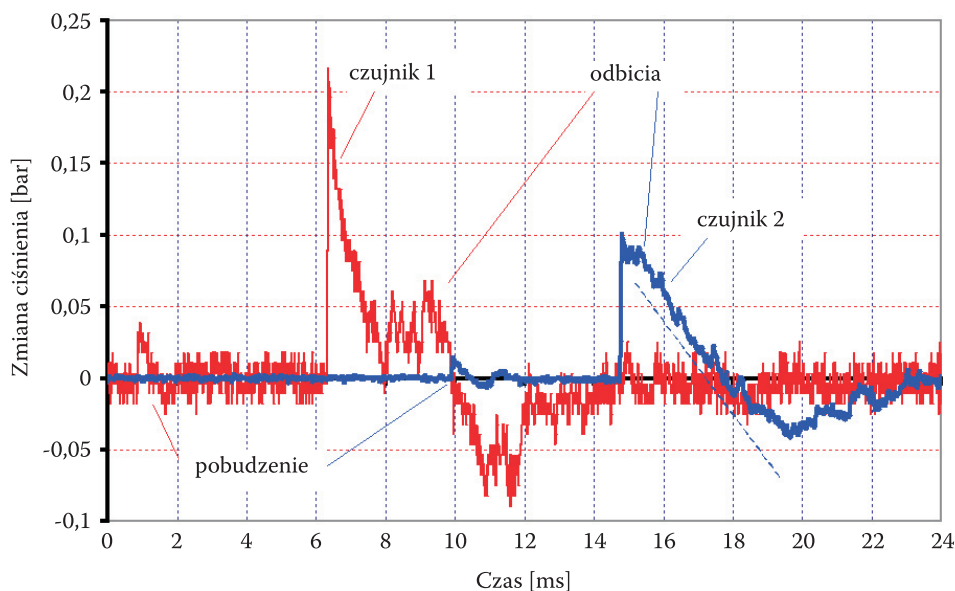
Ciśnienie na froncie fali uderzeniowej (FU) mierzyły dwa czujniki piezoelektryczne 4, oznaczone dalej, w tym na wykresach, jako: czujnik 1 (w odległości r_{p1}) lub czujnik 2 (w odległości r_{p2}). Umieszczone były, tak jak głowica, na wysokości $H = 1$ m nad ziemią — w odległościach dużo większych od rozmiarów głowicy, co pozwalało w dalszych obliczeniach traktować jej ładunek wybuchowy jako ładunek punktowy, oraz w taki sposób, by były mało narażone na działanie odłamków i możliwie mało zaburzały sobie wzajemnie dochodzącą falę uderzeniową.

Rejestracji sygnałów dokonywano za pomocą oscyloskopu cyfrowego, wyzwalanego przez generator impulsów (IMPULSATOR, rys. 1), który z kolei był wyzwalany przez czujnik zwarcioowy „3”, umieszczony w odległości ok. 1 mm od powierzchni głowicy.

3. Pomiar ciśnienia na froncie fali uderzeniowej i prędkości tej fali w powietrzu

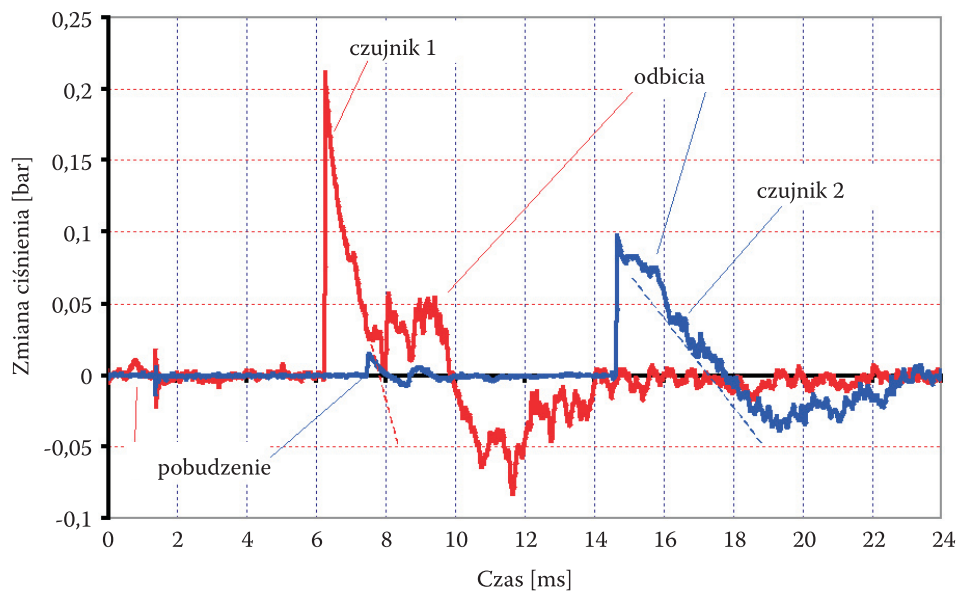
Zastosowany sposób synchronizacji pozwolił na rejestrację, prócz przyrostu ciśnienia Δp , także czasów t_{p1} i t_{p2} dojścia FU do danego czujnika.

Przebiegi ciśnień, zarejestrowanych przez oba czujniki w funkcji czasu podczas kolejnych wybuchów, przedstawiono na rysunkach 2, 3 i 4. Czas $t = 0$ odpowiada momentowi zwarcia czujnika „3”. Ekspandująca quacylindryczna warstwa odłamków stanowiła element generujący własne FU, które docierały do czujników z opóźnieniem i nakładały się na falę bezpośrednią dając efekty, oznaczone na rysunkach jako „odbicia”. „Odbicia” nie zaburzały amplitud ciśnień Δp_{max} pochodzących od fali bezpośredniej. Przybliżone przebiegi początkowej dodatniej części impulsów ciśnienia bez wpływu odbić, o czasie trwania τ_+ , zaznaczono na rysunkach liniami przerywanymi.

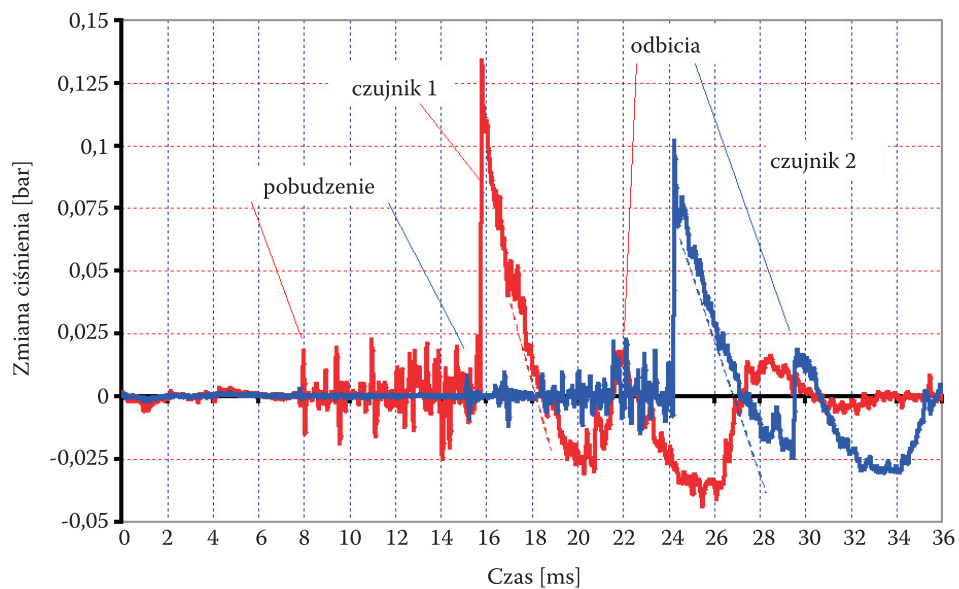


Rys. 2. Impulsy ciśnienia w czasie propagacji fali uderzeniowej po 1 wybuchu głowicy

Czujniki zarejestrowały również prekursorzy — impulsy ciśnień pochodzące od wybuchu małych ładunków, inicjujących wybuchy głowicy. Na rysunkach oznaczono je jako „pobudzenie”. Impulsy te przy strzałach 1 i 2 mają kształt zbliżony do impulsów „głównych” i poprzedzają je o czas wynoszący kilka milisekund. Przy strzale 3 sposób inicjowania wybuchu był odmienny, co widać po charakterze prekursora na rysunku 4.



Rys. 3. Impulsy ciśnienia w czasie propagacji fali uderzeniowej po 2 wybuchu głowicy



Rys. 4. Impulsy ciśnienia w czasie propagacji fali uderzeniowej po 3 wybuchu głowicy

Odpowiednie parametry propagacji FU zostały zebrane w tabeli 1. Średnie prędkości fali wynosiły odpowiednio $v_{p1} = r_{p1}/t_{p1}$ i $v_{p2} = (r_{p2} - r_{p1})/(t_{p2} - t_{p1})$. $\tau_{1,2+}$ oznaczają czasy trwania dodatniej części impulsu ciśnienia.

TABELA 1

Parametry impulsów ciśnienia związanych z falami uderzeniowymi

	r_{p1} [m]	t_{p1} [ms]	v_{p1} [m/s]	Δp_{1max} [bar]	τ_{1+} [ms]	r_{p2} [m]	t_{p2} [ms]	v_{p2} [m/s]	Δp_{2max} [bar]	τ_{2+} [ms]
Strz. 1	3	6,33	474	0,210	1,74	6	14,76	356	0,100	2,54
Strz. 2	3	6,24	481	0,210	1,62	6	14,64	358	0,097	2,54
Strz. 3	6,8	15,76	431	0,133	2,46	10	24,21	379	0,100	2,69

Poprawność pomiarów ciśnienia i prędkości fal można sprawdzić, korzystając z przybliżonej zależności dla płaskiej słabej FU w powietrzu:

$$\Delta p_{1,2max} \approx \rho_P v_{p1,2} (v_{p1,2} - c_S),$$

gdzie: $\rho_P = 1,223 \text{ kg/m}^3$ — gęstość powietrza,
 $c_S = 339 \text{ m/s}$ — prędkość dźwięku w powietrzu w warunkach normalnych.

W przypadku czujnika bliższego ($r_{p1} = 3$ i $6,8 \text{ m}$) do obliczeń należy użyć poprawionej wartości v_{p1} , uzyskanej z parabolicznej aproksymacji w tym punkcie przebiegu $r(t)$ FU. W tabeli 2 tak oszacowane nadciśnienia zamieszczono pod nazwą $\Delta p_{1,2eval}$.

4. „Ciśnieniowy” równoważnik trotylowy wybuchu — energia fali uderzeniowej

Odpowiednie wzory [2] wiążą równoważnik trotylowy ładunku wybuchowego Q z maximum impulsu ciśnienia na froncie FU (wzór Sadowskiego):

$$\Delta p_{1,2max} = 1,06 (Q^{1/3}/r_{p1,2}) + 4,3 (Q^{1/3}/r_{p1,2})^2 + 14,0 (Q^{1/3}/r_{p1,2})^3$$

oraz z czasem trwania dodatniej części tego impulsu

$$\tau_{1,2+} = 0,0015 (r_{p1,2})^{1/2} Q^{1/6}.$$

Wychodząc z wartości, zamieszczonych w tabeli 1, otrzymujemy za ich pomocą równoważniki Q (Q_p — wychodząc z $\Delta p_{1,2\max}$ i Q_τ — wychodząc z $\tau_{1,2+}$), przedstawione w tabeli 2. Powyższy wzór Sadowskiego dotyczy wybuchu punktowego ładunku kruszącego pozbawionego ciężkiej otoczki, przy założeniu symetrii sferycznej. W naszym przypadku duża część energii MW zużywana jest na nadawanie energii kinetycznej stalowej skorupie, która część jej z kolei oddaje liderowi FU — do chwili, gdy promień skorupy wzrośnie ok. $2\times$, kiedy to szczeliny między powstającymi odłamkami są wystarczająco szerokie, by wydostające się gazy powychowowe mogły swobodnie generować właściwy front FU. Dalej propagacja FU i ruch fragmentów skorupy odbywają się w zasadzie niezależnie.

Zatem Q , wyznaczony w powyższy sposób, odnosi się nie do całej masy MW głowicy, a do tej jej części (i odpowiednio energii), która jest odpowiedzialna za wytworzenie „czystej” FU.

W przeprowadzonych eksperymentach sumaryczna energia kinetyczna $E_{k\Sigma}$ odłamków równa była w przybliżeniu energii, nadanej masie cylindrycznej części korpusu głowicy, otaczającej materiał wybuchowy. Część ta miała długość ok. 17 cm i masę ok. 2,5 kg. Przy prędkości odłamków $v_2 = 1200$ m/s [3], $E_{k\Sigma} \approx 1,8$ MJ i (proporcjonalnie do pierwotnej energii chemicznej, wynoszącej ok. 2,07 MJ) na nadanie jej odłamkom zużywane jest ok. 0,4 kg masy MW.

Można więc przyjąć, że pozostała część: ok. 0,06 kg masy MW głowicy (równoważna energii 0,27 MJ) odpowiada równoważnikowi Q . Wartość ta dobrze zgadza się z wynikami strzałów 1 i 2 (Q_p , Q_τ , tab. 2), w których głowica zwrócona była w stronę czujników ciśnienia stroną grubościenną (11 mm); w przypadku strzału 3 głowica zwrócona była w stronę czujników stroną cienkościenną (6 mm) i nieunikniona asymetria FU (ale w dość wąskim kącie bryłowym) odbiła się na stosunkowo wyższych (większe odległości!) wartościach zmierzonych $\Delta p_{1,2\max}$ i oszacowanych Q_p .

TABELA 2

Wyznaczone równoważniki trotylowe dokonanych wybuchów

	r_{p1} [m]	v_{p1}' [m/s]	$\Delta p_{1\text{eval}}$ [bar]	Q_τ [kg]	Q_p [kg]	r_{p2} [m]	v_{p2} [m/s]	$\Delta p_{2\text{eval}}$ [bar]	Q_τ [kg]	Q_p [kg]
Strz. 1	3	407	0,346	0,090	0,046	6	356	0,074	0,110	0,075
Strz. 2	3	410	0,356	0,060	0,046	6	358	0,083	0,108	0,069
Strz. 3	6,8	394	0,265	0,063	0,21	10	379	0,185	0,033	0,35

5. Promień rażenia siły żywej

Promień bezpieczny ze względu na działanie FU wyrazić można wzorem [2] (przyjmowano przy jego wyprowadzeniu, że brak kontuzji występuje przy $\Delta p \leq 0,1$ bar)

$$r_B = 15 Q^{1/3}, (r_B - \text{w [m]}, Q - \text{w [kg]}).$$

Podstawiając $Q = 0,06 \div 0,1$ kg, dostajemy $r_B = 5,9 \div 7$ m. Wartość ta odpowiada w przybliżeniu odległości r_{p2} . Promień rażenia przez FU, odpowiadający $\Delta p = 0,2$ bar, równy jest w przybliżeniu $r_{p1} \approx 3$ m.

6. Wnioski

Zarejestrowano przebiegi w czasie ciśnienia na froncie fali uderzeniowej, zmierzono maksymalne wartości ciśnienia oraz czasy charakterystyczne, związane z propagacją.

Wyznaczono prędkości fali uderzeniowej w punktach pomiarowych i na ich podstawie zweryfikowano obliczeniami zmierzone wartości ciśnień; weryfikacja pokazała więcej niż jakościową zgodność ciśnienia obliczonego ze zmierzonym, rosnącą wraz z odległością od miejsca wybuchu (własności modelu ładunku punktowego); w tym kontekście zastanawia zdecydowana różnica ciśnień maksymalnych zarejestrowanych w odległości ok. 3 m od głowicy — w pracy niniejszej (ok. 0,2 bar) i zaprezentowanych w [1] dla głowicy M151 (0,66 ÷ 1,64 bar, zależnie od wypełniającego MW, 0,7 bar dla Composition B, co odpowiada zdetonowaniu ładunku 0,46 kg MW w tej geometrii bez żadnego otaczającego korpusu).

Wyznaczono równoważnik trotylowy detonowanego ładunku MW, odpowiadający energii, przekazywanej fali uderzeniowej; sprawność tego przekazu wynosiła ok. 13% w odniesieniu do energii chemicznej MW głowicy.

Określono promień rażenia przez falę uderzeniową, generowaną w trakcie wybuchu głowicy — jest on dużo mniejszy od oszacowanego w [3] promienia rażenia odłamkami (3 ÷ 7 m wobec ok. 150 m).

Artykuł wpłynął do redakcji 19.05.2008 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w czerwcu 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] B. A. EPOV, *Osnovy vzryvnogo dela*, Voen. Izdat. Min. Obor. SSSR, Moskva, 1974.
- [3] A. FARYŃSKI, A. DŁUGOLECKI, Z. ZIÓLKOWSKI, *Pomiary charakterystyk odłamków głowicy niekierowanego lotniczego pocisku raketowego 70 mm*, Biul. WAT, 57, 3, 2008.

A. FARYŃSKI, A. DŁUGOLECKI, Z. ZIÓLKOWSKI

**Measurements of parameters of shock wave generated during explosion
of the 70 mm air-to-ground unguided missile warhead**

Abstract. The method as well as results of measurements of pressure pulses, which were generated during explosion of fragmentation — incendiary warhead of 70-mm rocket were presented. Shock wave velocity, TNT — equivalent of explosions, the part of chemical HE energy that was transferred to the generated shock wave as well as a shock wave lethality range (much less than that connected with warhead fragments) were evaluated.

Keywords: external ballistic, explosion, shock wave, impulse of pressure

Universal Decimal Classification: 623.54