

CHARAKTERYSTYKA PIROTECHNICZNYCH UKŁADÓW OPÓZNIAJĄCYCH STOSOWANYCH W ŚRODKACH BOJOWYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono charakterystyki pirotechnicznych układów opóźniających (PUO) stosowanych we współczesnych konstrukcjach środków bojowych. Zaprezentowano również podział na rodzaje pirotechnicznych układów opóźniających występujących w środkach bojowych (ŚB), zalety ich stosowania w ŚB oraz przedstawiono budowę przykładowych PUO.

Słowa kluczowe: pirotechniczny układ opóźniający, mieszanina pirotechniczna, małogazowa mieszanina pirotechniczna, czas opóźnienia, prędkość palenia.

CHARACTERISTICS OF PYROTECHNIC DELAY SYSTEMS USED IN COMBAT MEANS

Abstract: In this paper there were presented characteristics of pyrotechnic delay systems (devices) used in modern constructions (designs) of combat means. There were also shown types of delay systems (devices) applied in combat means and advantages of usage of such pyrotechnic systems (devices). Finally, basic constructions (designs) of pyrotechnic delay devices were discussed.

Keywords: pyrotechnic delay system (device), pyrotechnic composition, gasless (low-gas) delay composition, delay time, burning rate.

1. Wstęp

W wielu konstrukcjach środków bojowych (ŚB) występują elementy, od których wymagane jest działanie z określonym czasem opóźnienia. Uzyskanie założonego opóźnienia podyktowane jest wymogami bezpieczeństwa działania oraz niezawodnością działania ŚB. Zadania te realizowane są przez różnorodne konstrukcje pirotechnicznych układów opóźniających (PUO).

Dla zagwarantowania warunków bezpieczeństwa w działaniu ŚB powinna być zapewniona odpowiednia zwłoka czasowa pomiędzy działaniem poszczególnych elementów wykonawczych ŚB w celu np. ochrony użytkowników, zwłaszcza operatorów (zespołów obsługujących) ŚB. Przykładem może być zwłoka czasowa od zakończenia spalania startowego ładunku paliwa do zapłonu marszowego ładunku paliwa podczas pracy silnika pocisku raketowego wyrzeliwanego z przenośnej wyrzutni (w tym ręcznej). Dzięki zastosowaniu układu opóźniającego operator unika poparzenia gazami wylotowymi silnika raketowego (fot.1[1]).

Kolejnym ważnym zadaniem stawianym układom opóźniającym jest zapewnienie ich niezawodnego i skutecznego działania decydującego w istotnym stopniu o prawidłowym

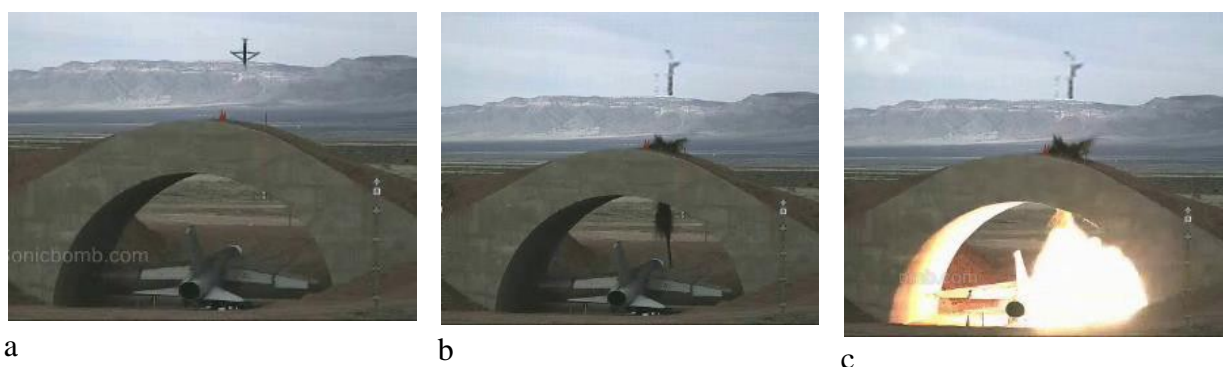
działaniu ŚB (amunicji). Układ opóźniający w połączeniu z innymi układami wykonawczymi ŚB odpowiada za jego określone, zamierzone działanie np. na torze lotu pocisku (artyleryjskiego, raketowego) lub u celu zgodnie z jego operacyjnym przeznaczeniem. Przykładem działania PUO na torze lotu jest rozcalenie pocisku na określonej wysokości lotu, która jest nastawiona przed wystrzałem, niezadziałanie pocisku przy uderzeniu w cel, lecz w określonej odległości za nim, albo rażenie celu po pokonaniu osłony chroniącej cel (fot.2 [1]).

2. Układy opóźniające stosowane w środkach bojowych

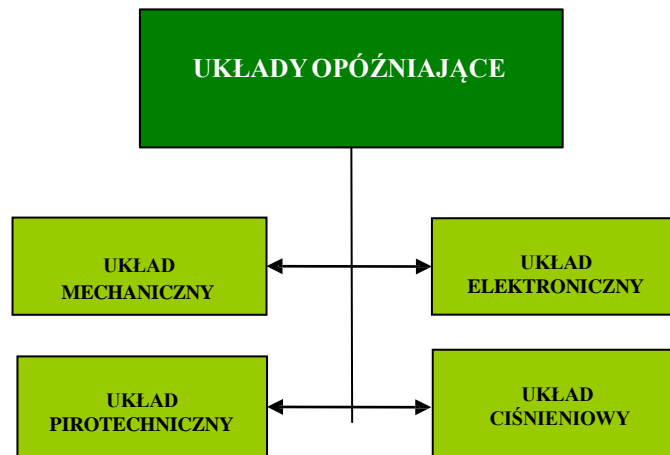
We współczesnych ŚB wykorzystuje się następujące rodzaje układów opóźniających (rys.1). Na fot. 3 [1] przedstawiono mechaniczny układ opóźniający (zegarowy) stosowany w zapalniku TMR-44, w który uzbrojony jest 82 mm pocisk raketowy zakłócająco-radiolokacyjny do 82 mm armaty A-PK-16.



Fot. 1. Etapy odpalenia pocisku raketowego z wyrzutni:
a – zadziałanie ładunku startowego, b – działanie układu opóźniającego, c – zadziałanie silnika marszowego



Fot. 2. Rażenie celu ze zwłoką czasową po pokonaniu osłony chroniącej cel:
a – zbliżanie się pocisku do osłony (przeszkody), b – przebicie przeszkody (działanie układu opóźniającego), c – rażenie celu



Rys. 1. Rodzaje układów opóźniających stosowanych w środkach bojowych



Fot. 3. Zapalnik TMR-44 i jego mechaniczny układ opóźniający z podziałką czasową na korpusie zapalnika: a – zapalnik TMR-44, b – mechanizm zegarowy wypracowujący wymaganą zwłokę działania.

Przed strzałem w zapalniku nastawiany jest czas rozcalenia pocisku na torze lotu (od chwili jego odpalenia/wystrzelenia), poprzez przekręcenie na żądaną wartość zwłoki czasowej pierścienia zapalnika z podziałką czasową.

Częstą praktyką jest stosowanie w ŚB co najmniej dwóch PUO powiązanych funkcjonalnie ze sobą lub działających niezależnie od siebie. W przypadku zastosowania dwóch, powiązanych ze sobą układów, jeden może zapewniać bezpieczeństwo podczas działania amunicji, zaś drugi wpływa na określone zadziałanie amunicji u celu. Przykładem mieszanych układów opóźniających stosowanych w amunicji są:

- układ mechaniczno – pirotechniczny: układ mechaniczny (zegarowy) odpowiada za bezpieczeństwo podczas działania zapalnika pocisku tzn. za uzbrojenie zapalnika (pocisku) w określonej odległości za wylotem lufy, wyrzutni, natomiast układ pirotechniczny wypracowuje odpowiedni czas opóźnienia po uderzeniu pocisku w cel;

- układ elektroniczno - pirotechniczno - mechaniczny: układ elektroniczny odpowiada za wypracowanie określonej zwłoki w działaniu (np. rozcalenie się pocisku na torze lotu), natomiast układy: pirotechniczny oraz mechaniczny po wypracowaniu określonego czasu powodują uzbrojenie elementów wykonawczych łańcucha ogniowego/wybuchowego, polegające na przykład na przemieszczeniu spłonki pobudzającej w korpusie zapalnika/pocisku lub zamknięciu obwodu elektrycznego;
- układ ciśnieniowo - pirotechniczny: układ ciśnieniowy odpowiada za rozpoczęcie procesu uzbrajania zapalnika pocisku po osiągnięciu przez pocisk określonej głębokości (penetracji) celu. Układ ciśnieniowy może powodować rozpoczęcie działania układu pirotechnicznego lub odwrotnej kolejności.

Na fot. 4 [1,2] przedstawiono zapalnik AWKD-U do bomby głębinowej PLAB-250-120, w którym zastosowano układ opóźniający pirotechniczno-ciśnieniowy.



**Fot. 4. Zapalnik AWKD-U i jego układy opóźniające [1,2]:
a - ciśnieniowy układ opóźniający (1- membrana), b - pirotechniczny układ opóźniający**

3. Charakterystyka pirotechnicznych układów opóźniających

Spośród wszystkich wymienionych układów opóźniających, pirotechniczne układy opóźniające (PUO) znalazły najszersze zastosowanie w konstrukcjach ŚB (amunicji). Mimo, że PUO charakteryzują się mniejszą dokładnością uzyskiwanych czasów opóźnienia w porównaniu np. z układami elektronicznymi, to są najczęściej stosowane w konstrukcjach środków bojowych ze względu na:

- 1) możliwość zastosowania w łańcuchu ogniowym ŚB jednego elementu umożliwiającego uzyskanie wymaganego czasu opóźnienia w działaniu łańcucha og-

- niowego (wybuchowego), a następnie skuteczne przekazanie impulsu inicjującego działanie (zapłon/wybuch) kolejnego elementu łańcucha ogniowego;
- 2) niewielkie gabaryty;
 - 3) łatwość produkcji;
 - 4) prostą konstrukcją;
 - 5) uzyskiwanie wymaganej powtarzalności czasów spalania i niezawodności działania [3].

W wielu ŚB używa się różnorodnych konstrukcji PUO odpowiadających za bezpieczne i niezawodne działanie ŚB. Na fot. 5 [1] pokazano przykładowe PUO stosowane we współczesnych ŚB oraz ich elementach, m.in. w zapalnikach, raketach, przeciwpancernych pociskach kierowanych (ppk), granatach ręcznych oraz w nabojach granatnikowych.



Fot. 5. Konstrukcje pirotechnicznych układów opóźniających (PUO) stosowanych w środkach bojowych Wojska Polskiego

3.1. Podział pirotechnicznych układów opóźniających

Ze względu na założone działanie środka bojowego projektuje się dla niego odpowiedni typ pirotechnicznego układu opóźniającego. W obecnie używanych środkach bojowych występują PUO, które można sklasyfikować pod względem:

- 1) stopnia trudności demontażu (usunięcia ze ŚB):
 - a) niedemontowalny - PUO w sposób trwały umieszczony jest w środku bojowym np. poprzez wprasowanie go lub wklejenie. Pozyskanie takiego PUO np. do badań wiąże się z przeprowadzeniem nieodwracalnego rozmontowania (cięcia) ŚB, co prowadzi do jego częściowego albo całkowitego zniszczenia,
 - b) demontowalny: PUO jest oddzielnym elementem środka bojowego i w łatwy sposób można go zdemontować (np. poprzez wykręcenie);

- 2) typu konstrukcji:
 - a) zamknięty - PUO, w których produkty spalania (przede wszystkim gazowe) są odprowadzane do wolnej, zamkniętej przestrzeni wewnątrz PUO. Zamknięty PUO ma pomieścić produkty spalania powstałe w wyniku zadziałania inicjatora (spłonki) oraz spalania pirotechnicznej mieszaniny opóźniającej,
 - b) otwarty - PUO, w których produkty spalania (przede wszystkim gazowe) odprowadzane są do wnętrza korpusu ŚB lub specjalnymi otworami wentylacyjnymi poza ŚB (w PUO typu otwartego wymagane jest zastosowanie uszczelnienia otworów w celu ochrony mieszaniny pirotechnicznej przed wilgocią). Wymóg odprowadzania produktów spalania stosowany jest głównie w przypadku PUO zaelaborowanego pirotechnicznymi mieszaninami wydzielającymi podczas spalania stosunkowo duże ilości gazów (np. proch czarny);
- 3) rodzaju zastosowanych mieszanin pirotechnicznych w PUO:
 - a) mieszaniny „małogazowe”,
 - b) mieszaniny „gazowe”, zazwyczaj proch czarny;
- 4) czasu opóźnienia:
 - a) milisekundowe,
 - b) kilkusekundowe,
 - c) kilkudziesięciosekundowe;
- 5) ilości zastosowanych mieszanin pirotechnicznych:
 - a) jednomieszaninowe - występuje jeden rodzaj mieszaniny pirotechnicznej zaprasowanej pod stałym lub zmiennym ciśnieniem,
 - b) dwu lub więcej mieszaninowe - PUO składa się z kilku mieszanin pirotechnicznych zaprasowanych szeregowo;
- 6) możliwość sterowania czasem opóźnienia:
 - a) stały czas opóźnienia - konstrukcja PUO daje jednakowy czas opóźnienia, mieszczący się w założonym przedziale,
 - b) regulowany czas opóźnienia:
 - *ręcznie* - wybierana jest odpowiednia nastawa zapalnika (w wyniku obrotu pierścienia nastawczego) przed strzelaniem, która odpowiada określonemu czasowi palenia się PUO,
 - *samoczynnie* - czas opóźnienia zależy jest od sił (nacisku) działających na mieszaninę pirotechniczną w czasie uderzenia pocisku w przeszkodę;
- 7) statusu pracy /umiejscowienia PUO w łańcuchu ogniowym ŚB:
 - a) stałego - PUO jest integralnym elementem składowym łańcucha ogniowego bez możliwości pominięcia go w procesie przenoszenia impulsu ogniowego,
 - b) regulowanego - PUO może być wykorzystywany w procesie przekazywania impulsu ogniowego, albo może zostać pominięty,
 - c) niezależnego - PUO występuje w amunicji jako element niezależny od działania zasadniczego łańcucha ogniowego. Posiada własny mechanizm zapalający.
- 8) kształtu zaprasowanego ładunku mieszaniny pirotechnicznej:
 - a) cylindryczny,
 - b) profilowany (w kształt litery C),
 - c) z wnęką stożkową;
- 9) typu elementu pobudzanego przez PUO:
 - a) spłonka pobudzająca,
 - b) wzmacniacz płomienia,
 - c) masa pirotechniczna (dymna, oświetlająca),
 - d) inny PUO.

3.2. Budowa przykładowych pirotechnicznych układów opóźniających

Pirotechniczne układy opóźniające charakteryzują się prostą konstrukcją, co sprawia, że są powszechnie stosowane w ŚB.

Głównymi elementami składowymi PUO są:

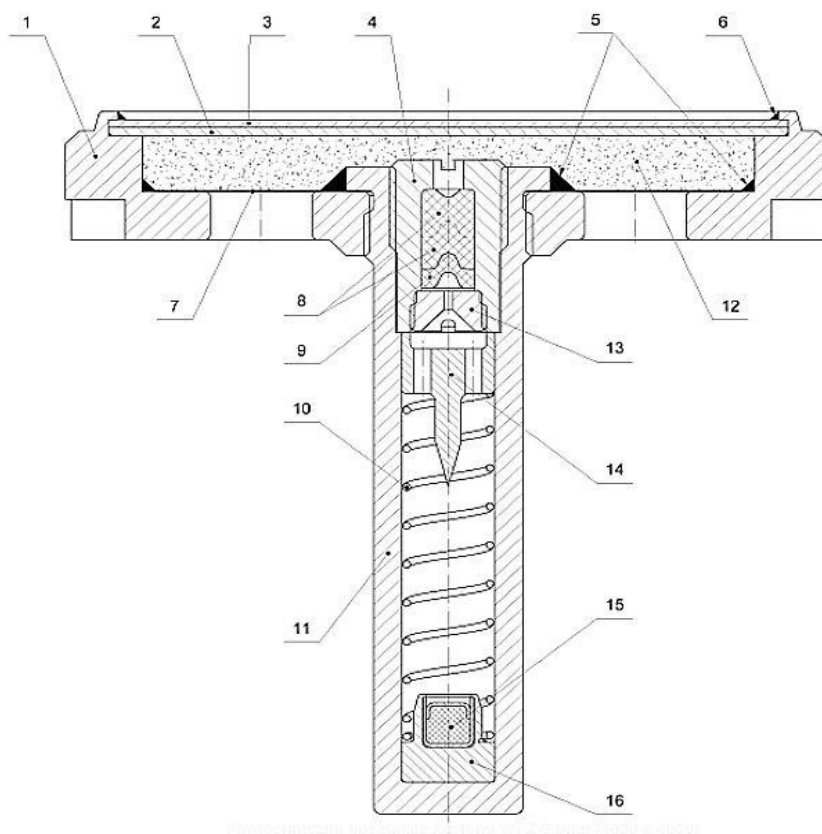
- korpus;
- uszczelka;
- pirotechniczny ładunek opóźniający składający się z pirotechnicznej mieszaniny opóźniającej, wypracowującej dany interwał czasowy. Często pirotechniczny ładunek opóźniający posiada od zapalanego końca warstewkę mieszaniny zapalającej (ang. „*ignition composition*”, tj. mieszaniny pirotechnicznej szybko palnej lub wykonanej z prochu czarnego, posiadającej lepsze właściwości zapłonowe. Mieszanina zapalająca posiada także wyższą odporność mechaniczną na działanie produktów spalania, zwłaszcza gazowych powstałych w wyniku zadziałania spłonki w porównaniu z pirotechniczną mieszaniną opóźniającą. Na przeciwnym końcu ładunku opóźniającego względem jego zapłonu, zaprasowana jest mieszanina wzmacniająca impuls ogniowy (*flash composition*) przekazywany od opóźniającej (zasadniczej) masy pirotechnicznej;
- przegroda zabezpieczająca (odbijająca) - dławik tłumiący działanie fali nadciśnienia powstałej podczas spalania masy spłonki zapalającej;
- komora do pomieszczenia produktów spalania (głównie gazowych);
- spłonka zapalająca;
- mieszanina podpałowa (w przypadku gdy przymocowana jest do PUO).

W zależności od konstrukcji PUO niektóre elementy składowe mogą nie występować.

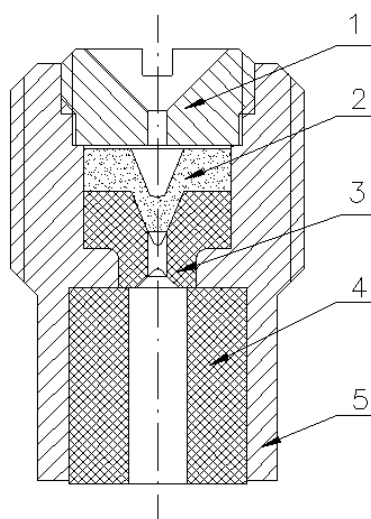
Na rys. 2 [4] przedstawiono PUO typu zamkniętego, stosowany w pociskach rakietowych. PUO powoduje zapłon silnika marszowego pocisku rakietowego w określonej odległości (bezpiecznej) od strzelającego tak, aby nie został poparzony gazami wylotowymi (patrz również foto 1). Podczas strzału obsada spłonki (16) wraz ze spłonką (15) pokonuje opór sprężyny (10), w wyniku czego nakłuwana jest przez iglicę (14). Produkty spalania (przede wszystkim gazowe) powstałe w wyniku zadziałania spłonki (15) zapalają segmenty (8,9) ładunku pirotechnicznego, które po spaleniu się w określonym czasie, powodują zapłon mieszaniny podpałowej (12) z prochu czarnego.

Na rys.3 [5] został przedstawiony PUO stosowany w zapalniku głowicowym pocisków artyleryjskich. Zadaniem PUO jest zadziałanie pocisku ze zwłoką po uderzeniu w cel. PUO jest typu otwartego o czasie działania wynoszącym kilkaset milisekund, który składa się z dławika (1), korpusu (5), ładunku zapalającego (2), ładunku opóźniającego (3), ładunku wzmacniającego płomień.

Na fot. 6 [1,2] przedstawiony jest PUO stosowany w zapalniku AWKD-U, w który są uzbrajane lotnicze bomby głębinowe. Zadaniem PUO jest spowodowanie wybuchu bomby w przypadku jej nie trafienia w cel. Czas działania PUO wynosi około 40 sekund i składa się z mieszaniny zapalającej (1), mieszaniny opóźniającej (2) oraz mieszaniny wzmacniającej płomień (3), która bezpośrednio przenosi ogień na spłonkę pobudzającą.



Rys. 2. Zamknięty pirotechniczny układ opóźniający (PUO) pocisku raketowego:
1- korpus PUO, 2, 3, 7 – podkładki uszczelniające, 4 – korpus opóźniacza pirotechnicznego, 5, 6 – uszczelki, 8, 9 – segmenty zaprasowanej mieszanki opóźniającej, 10 - sprężyna, 11 – korpus opóźniacza pirotechnicznego, 12 - mieszanka podpalowa, 13 - dławik, 14 - iglica, 15 - splonka, 16 - korpus splonki



Rys. 3. Otwarty pirotechniczny układ opóźniający stosowany w zapalniku głowicowym pocisku artyleryjskiego: 1 - dławik, 2 - ładunek zapalający, 3 - ładunek opóźniający (zasadniczy), 4 - ładunek wzmacniający impuls ogniowy mający zainicjować działanie następnego elementu łańcucha ogniowego, 5 - korpus



Fot. 6. Pirotechniczny układ opóźniający zapalnika AWKD-U:

a – widok z góry, b – widok z dołu

1 – mieszanina zapalająca; 2 – mieszanina opóźniająca; 3 – mieszanina wzmacniająca płomień

4. Wnioski

Z analizy zaprezentowanych konstrukcji środków bojowych wynika, że pirotechniczne układy opóźniające (PUO) są najpowszechniej stosowanymi układami w ŚB (amunicji). Zasadniczą częścią PUO jest ładunek opóźniający, który odpowiedzialny jest za uzyskanie założonych parametrów pracy - czasu opóźnienia, przyjęcia impulsu zapłonowego oraz przekazania go do następnego elementu w łańcuchu ogniowym ŚB. Z wieloletnich badań amunicji wynika, że pirotechniczne układy opóźniające zachowują swoje założone parametry pracy podczas wieloletniego przechowywania amunicji. Jedynym warunkiem koniecznym jest prawidłowe wykonanie danego ŚB przejawiające się jego odpornością na oddziaływanie środowiskowe, zwłaszcza wilgoci, wynikającą z hermetycznej budowy ŚB. Oddziaływanie wilgoci powoduje istotne przyspieszenie fizykochemicznego rozkładu ładunku opóźniającego, a tym samym utratę parametrów jego pracy i degradację strukturalną. W obecnie produkowanych PUO rozrzut prędkości palenia się wynosi około 10%, dla określonych warunków palenia się (ciśnienia zewnętrznego, ciśnienia w komorze spalania, temperatury, średnicy zaprasowanej mieszaniny, materiału korpusu itp.) oraz przy zachowaniu odpowiedniej jakości produkcji mieszanin/ładunków pirotechnicznych. W celu zmniejszenia rozrzutów czasów palenia się PUO, trwają prace nad produkcją nowych ładunków pirotechnicznych. Obecnie produkowanych jest w na świecie około 40 rodzajów ładunków pirotechnicznych stosowanych w PUO. Ładunki te często różnią składem jakościowym oraz ilościowym (procentowym), charakteryzują się określonymi parametrami i są dobierane do konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych amunicji.

Literatura:

- [1] Materiały ze zbiorów autorów.
- [2] Zapalnik AWKD-U do lotniczych bomb głębinowych. Opis i eksploatacja, Mar. Woj. 968/86.
- [3] National Technical Information Service, *Engineering Design Handbook - Military Pyrotechnics Series, Part I, Theory and Application*, Springfield 1967, str. 85
- [4] Dokumentacja Techniczna - *Pirotechniczny opóźniacz zapłonu WPZ-9M rys. nr 4-026686 „I”*.
- [5] Dokumentacja Techniczna - *Zapalnik głowicowy W-429, Nr rysunku 3-026944 „12” L, indeks 53-W-025U*.