

## OCENA PRZYDATNOŚCI ZABEZPIECZEŃ PNEUMO-MECHANICZNYCH ZAPALNIKÓW W WYROBACH RAKIETOWYCH

*W artykule autorzy przedstawili nową koncepcję rozwiązania układu zabezpieczająco-uzbrajającego zapalnika z zastosowaniem elementu pneumo-mechanicznego, w postaci puszki membranowej. Rozwiązanie charakteryzuje się tym, że element pneumo-mechaniczny z układem styków elektrycznych spełnia rolę elementu zabezpieczającego zapalnik. Działanie układu polega na odłączeniu zespołu pirotechnicznego od zespołu elektroniki zapalnika. Po wystrzale pocisku raketowego i oddaleniu się na bezpieczną odległość w wyniku uzyskaniu prędkości pocisku, odpowiadającej założonej wartości ciśnienia spiętrzenia, następuje wskutek odkształcenia membrany przejście styków elektrycznych w nowy stan równowagi stabilnej, co powoduje połączenie zespołu elektroniki z zespołem pirotechnicznym.*

### 1. Wstęp

W ciągu kilku ostatnich lat opracowano wiele konstrukcji zapalników elektronicznych, stosowanych do uruchamiania zespołu (ładunku) wykonawczego wyrobów raketowych, bomb, jak też pocisków artyleryjskich. Dość znaczną grupę wśród wymienionych wyrobów stanowią zapalniki czasowe, w których zespół opóźniający wykonany jest w oparciu o cyfrowy układ zegarowy, najczęściej synchronizowany zegarem kwarcowym. Konstrukcje takie charakteryzuje znaczny zakres przedziałów nastaw czasowych, ich powtarzalność i dokładność, możliwość współpracy z układami mikroprocesorowymi, komputerem a także możliwość wielokrotnego programowania.

Ze względu na bezpieczeństwo użytkownika bardzo istotnym zagadnieniem jest zabezpieczenie takich wyrobów przed przedwczesnym, niezamierzonym zadziałaniem wskutek losowych oddziaływań zewnętrznych (zakłóceń elektromagnetycznych, mechanicznych i klimatycznych itp.).

W niniejszym artykule przedstawiono próbę analizy uwarunkowań, które mogą prowadzić do przedwczesnego zadziałania tego typu zapalników, a także pewne wytyczne, które mogą być wykorzystywane przy konstruowaniu lub modyfikowaniu układów zabezpieczających.

W pociskach raketowych zapalnik stanowi element przedziału bojowego, którego zadaniem jest rażenie celu powietrznego lub uszkodzenia go w stopniu uniemożliwiającym wypełnienie zadań bojowych. W pociskach raketowych np. typu STRZAŁA zapalnik powoduje wybuch części bojowej przy osiągnięciu celu, lub przy samolikwidacji pocisku. Często stosowanym rozwiązaniem jest zapalnik typu elektromechanicznego, z elementami uderzeniowymi, z uzbrojeniem odległościowym i mechanizmem samolikwidacji. Posiada on zwykle dwa stopnie zabezpieczenia, które wyłączają się w czasie lotu, co zapewnia

bezpieczeństwo systemu przy starcie, składowaniu i transporcie. Typowy zapalnik składa się z mechanizmu bezpiecznikowego, zapewniającego bezpieczeństwo podczas obsługi oraz w czasie lotu do momentu uzbrojenia, z zespołu detonującego powodującego wybuch części bojowej i zespołu samolikwidacji powodującego niezależne zdetonowanie części bojowej po upływie określonego czasu lotu.

W pociskach raketowych typu np. JASTRZĄB przeznaczonych do symulowania celów pozornych imitujących obiekty stanowiące cele dla pocisków raketowych i bomb, oraz tworzenia zasłon zakłócających urządzenia naprowadzania, zapalniki stanowią czasowy układ elektroniczny, który po zaprogramowanym czasie działania powoduje detonację układu zapłonowego. Cele pozorne „stawiane” przez pociski raketowe tego typu służą do dezinformowania systemów rozpoznawczych oraz do zakłócenia systemów naprowadzenia i sterowania pocisków raketowych oraz bomb lotniczych wyposażonych w kamery telewizyjne lub czujniki promieniowania podczerwonego i laserowego. Zapalnik w tego typu pociskach raketowych współpracując z systemem ochrony biernej celu, zostaje zaprogramowany na czas niezbędny do wyniesienia przez pocisk, do punktu rozcalenia, materiału służącego do utworzenia celu pozornego. W punkcie rozcalenia impuls elektryczny układu wykonawczego zapalnika wywołuje detonację układu zapłonowego, w wyniku której gorące gazy podpalają pirolinię inicjującą działanie głowicy z materiałem tworzącym cel pozorny.

Zapalniki, w omówionych tu przykładowo pociskach raketowych, powinny posiadać co najmniej dwa niezależne stopnie zabezpieczenia działające stopniowo w bezpiecznej odległości od wyrzutni systemu raketowego. Niezadziałanie zapalnika do czasu oddalenia się pocisku raketowego (artyleryjskiego) na bezpieczną odległość od wyrzutni jest warunkiem podstawowym bezpiecznego działania systemów raketowych, artyleryjskich i bomb lotniczych.

## **2. Charakterystyka podstawowych zagrożeń pracy zapalnika**

Wyroby takie jak: pociski raketowe, artyleryjskie, bomby lotnicze w czasie eksploatacji podlegają oddziaływaniom czynników mechanicznych, klimatycznych, promieniowania jonizującego i elektromagnetycznego spowodowanego wybuchem jądrowym.

Wymienione typy amunicji, w zależności od warunków eksploatacji, powinny charakteryzować się odpowiednią wytrzymałością, odpornością na oddziaływanie narażeń mechanicznych, czynników klimatycznych i biologicznych.

We współczesnych zapalnikach elektronicznych zbudowanych w oparciu o zintegrowane układy scalone i układy mikroprocesorowe istotnym problemem jest uzyskiwanie odporności na zakłócenia elektroenergetyczne i elektromagnetyczne (oznacza to, że powinny spełniać wymogi tzw. kompatybilności elektromagnetycznej).

Elektroniczne zapalniki czasowe często współpracują z wyrobami raketowymi, które przenoszą ładunki oświetlające, dymne lub zakłócające pracę urządzeń radiolokacyjnych.

Stosunkowo największe zagrożenie związane jest z przedwczesnym zadziałaniem wyrobu oświetlającego, co wynika z możliwości poparzenia obsługi wyrzutni czy też wywołania pożaru, którego skutki w pewnych okolicznościach mogą stanowić bezpośrednie zagrożenia dla bezpieczeństwa obsługi.

W odróżnieniu od ładunku oświetlającego (zapalającego) ładunek dymny czy też zakłócający pracę radarów sam z siebie nie stanowi tak istotnego zagrożenia dla obsługi. Pewne zagrożenie może natomiast powodować materiał użyty do rozcalenia głowicy. Jeśli jest nim materiał wybuchowy kruszący, to niekontrolowane, przedwczesne zadziałanie wyrobu na wyrzutni może stanowić zagrożenie dla życia i zdrowia obsługi, a także spowodować poważne straty materialne.

Przyczyny przedwczesnego zadziałania zapalników czasowych mogą być wywołane:

- uszkodzeniem układów wykonawczych (tranzystorów),
- działaniem silnego ładunku elektrostatycznego,
- impulsem elektromagnetycznym spowodowanym wybuchem jądrowym,
- promieniowaniem jonizującym spowodowanym wybuchem jądrowym,
- promieniowaniem świetlnym spowodowanym wybuchem jądrowym,
- wyładowaniem atmosferycznym (uderzeniem pioruna),
- uszkodzeniem układu czasowego (opóźniacza).

W większości przypadków przedwczesne (nieoczekiwane) zadziałanie wyrobu może nastąpić na wyrzutni, w chwili włączenia wyrobu do napięcia zasilającego

Zadziałanie wyrobu na wyrzutni i w jej pobliżu jest najbardziej niebezpieczne dla obsługi oraz sprzętu. Dlatego też wymaga się by zabezpieczenie zapalnika uniemożliwiało jego zadziałanie na wyrzutni i w odległości, z której niemożliwe jest rażenie obsługi wyrzutni i sprzętu. Jest to najczęściej dystans od kilkudziesięciu do setek metrów.

Osobnym zagadnieniem staje się konieczność zapewnienia poprawnego działania podzespołów elektronicznych i elektrycznych w otaczającym środowisku. Wymaga to zminimalizowania do niezbędnego poziomu zakłóceń generowanych przez te urządzenia, jak również ich odporności na zakłócenia [3, 5] które mogą być wywołane między innymi wyładowaniami atmosferycznymi, silnymi polami magnetycznymi itp. Wymagana jest zatem tzw. kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) to jest zdolność urządzenia elektrycznego i elektronicznego lub systemu do działania w środowisku elektromagnetycznym w sposób zadawalający i bez jednoczesnego powodowania zaburzeń elektromagnetycznych, które byłyby niedopuszczalne dla innych urządzeń występujących w tym środowisku [1, 4].

Aby sprostać przedstawionym wymaganiom, konieczne jest na etapie projektowania, badań, instalowania i użytkowania uwzględnianie wymagań współczesnych norm dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej. Zastosowanie fizycznej przerwy w obwodzie elektronicznym spłonki zapalnika praktycznie zabezpiecza wyrób przed przypadkowym zadziałaniem.

### **3. Charakterystyka różnych rodzajów zabezpieczeń zapalników do zastosowań w wyrobach raketowych**

Z uwagi na bezpieczeństwo działania wyrobu raketowego najkorzystniejsze zabezpieczenie zapalnika przed nieprzewidzianym, przedwczesnym zadziałaniem może stanowić zabezpieczenie mechaniczne, w którym linia ognia na drodze spłonka elektryczna – pobudzacz pirotechniczny byłaby otwarta (przesunięcie przestrzenne spłonki w stosunku do pobudzacza) do chwili oddalenia się wyrobu od wyrzutni na bezpieczną odległość. W przypadku wyrobów artyleryjskich takie rozwiązanie jest stosunkowo proste do technicznej realizacji – przyspieszenia pocisku podczas strzału są rzędu kilkunastu tysięcy g, w związku z tym siły bezwładności działające na elementy zapalnika są na tyle duże, że umożliwiają (zależnie od konstrukcji):

- ścięcie elementu (kołka) zabezpieczającego,
- ugięcie sprężyny i nakłucie spłonki inicjującej proces odbezpieczenia,
- przesunięcie (obrót) i zatrzaśnięcie w nowej pozycji elementów przesłaniających linię ognia między spłonką, a pobudzaczem.

Zbudowane w oparciu o powyższe zasady zabezpieczenia bezwładnościowe są pewne w działaniu, a mechanizmy ich nie mogą być uruchomione w sposób przypadkowy, np. na skutek przeciążeń zaistniałych w wyniku upadku pocisku czy też wstrząsów powstałych podczas transportu. Wynika to z faktu, że przeciążenia takie są kilkaset razy mniejsze od tych,

które występują w czasie wystrzału. Właściwie zaprojektowane zabezpieczenie poprzedzone analizą dynamiki jego mechanizmów połączone z próbami urządzenia stanowią wystarczającą gwarancję niezawodności wyrobu.

Odmienne przedstawiają się założenia do projektowania zabezpieczeń zapalników wyrobów raketowych. Przeciężenia, którym podlegają te wyroby są stosunkowo niewielkie (przy pracy silnika startowego rzędu 100 g, przy pracy silnika marszowego rzędu kilkudziesięciu g), w związku z tym siły bezwładności, którym podlegają elementy zapalnika są niewielkie, sytuacje komplikują fakt, że ich wartości są porównywalne z wartościami sił występujących w czasie przypadkowego upadku wyrobu z nieznaczej wysokości czy też wstrząsów występujących podczas transportu.

Powyższe czynniki powodują, że projektowanie zabezpieczeń zapalnika wyrobu raketowego musi być oparte na zupełnie inne założenia. W początkowym okresie budowy elektronicznych zapalników czasowych panował pogląd, że wykorzystanie elementów półprzewodnikowych daje bardzo szerokie możliwości konstruowania opóźniaczy i członów wykonawczych, które mogą pracować nie tylko z wielką dokładnością ale i niezawodnością. Przyjmując powyższe założenia, początkowo konstruowano wyroby nie zawierające zabezpieczeń, później zaś zaczęto stosować stosunkowo proste i skuteczne (w warunkach laboratoryjnych) zabezpieczenia przed losowym przedwczesnym zadziałaniem. Przykładowymi rozwiązaniami mogą być:

- elektroniczne układy czasowe zamykające okresowo bramkę elementu wykonawczego,
- tyrystory, tranzystory MOSFET, tranzystory bipolarne zawierające czasową spłonkę elektryczną układu wykonawczego,
- zespoły podwójnych kluczy tranzystorowych uruchamiających spłonkę elektryczną (jeden klucz był zwierany po upływie założonego „bezpiecznego” czasu od opuszczenia wyrzutni przez wyrób, drugi zaś po upływie czasu zaprogramowanego dla właściwego opóźniacza.

Istotną wadą opisywanych rozwiązań była możliwość zadziałania na skutek oddziaływania ładunku elektrostatycznego, a także wskutek samoczynnego uszkodzenia tranzystora, z tych względów przydatność zabezpieczeń elektronicznych jest bardzo ograniczona. Próba prostego zabezpieczenia było zwieranie spłonki elektrycznej przewodem, który podlegał zerwaniu (odcięciu) w chwili zejścia wyrobu raketowy z wyrzutni. Opisywane rozwiązanie dość skutecznie zabezpiecza wyrób na wyrzutni, ale przestaje funkcjonować bezpośrednio po zejściu wyrobu z wyrzutni lub w bardzo nieznaczej odległości od niej. Zadziałanie zapalnika (i całego wyrobu) może nastąpić w bezpośrednim sąsiedztwie obsługi wyrzutni, tym samym zabezpieczenie daje iluzoryczne poczucie bezpieczeństwa, ponadto praktyczne stosowanie tego typu zabezpieczeń jest dość kłopotliwe.

O wiele skuteczniejszym w działaniu są zabezpieczenia pirotechniczne. Bezpieczniki pirotechniczne stosowane są na ogół w celu uzyskania uzbrajania się zapalników w znacznej odległości od wyrzutni czy działa. W przypadku amunicji artyleryjskiej takie zabezpieczenie jest stosunkowo łatwe w realizacji (ze względu na duże przyspieszenia i zwartą konstrukcję pocisku) natomiast zastosowanie ich do zabezpieczenia amunicji raketowej powoduje pewne problemy. Ze względu na niewielkie przyspieszenia pocisków raketowych zapalenie ścieżki opóźniacza prochowego musi następować równocześnie z uruchomieniem silnika startowego rakiety, a jeszcze korzystniej silnika marszowego. Wydaje się niedopuszczalnym, by sam fakt zejścia rakiety z wyrzutni inicjował działanie takiego zabezpieczenia – przy nieprawidłowej pracy silnika startowego może dojść do upadku pocisku w bezpośrednim sąsiedztwie wyrzutni. Konsekwencją odblokowania zabezpieczenia może być zadziałanie pocisku ze wszystkimi negatywnymi skutkami. Konstrukcja bezpiecznika pirotechnicznego w wyrobach raketowych łączy się dodatkowo z trudnościami wynikającymi z faktu, że płomień

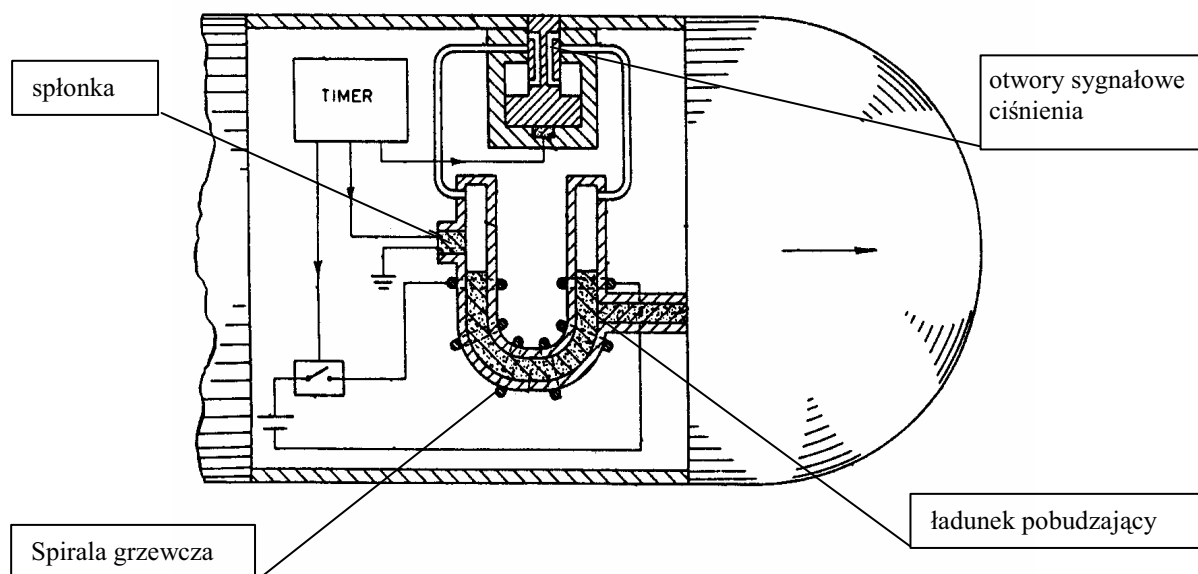
zapalający opóźniacz musi być przeniesiony z przedziału silnikowego na bojowy rakiety. Przeprowadzona powyżej analiza prowadzi do wniosku, że niecelowa jest budowa zabezpieczenia zapalnika wyrobu raketowego, którego działaniem jest funkcją tylko jednego parametru – przyspieszenia. Parametrami, które mogą być wykorzystane przy konstrukcji takiego zabezpieczenia mogą być:

- prędkość liniowa,
- prędkość wznoszenia,
- odległość (wysokość lotu),
- czas (od uruchomienia silnika marszowego),

Możliwe są ponadto konstrukcje wykorzystujące równocześnie kilka parametrów. Przykładem jest zabezpieczenie zapalnika, przedstawione, w którym wykorzystano zasadę, że jego odblokowanie następuje, gdy wyrób poddawany jest przyspieszeniu przez początkowy odcinek czasu lotu.

Przyjęcie takiej koncepcji funkcjonowania powoduje, że zabezpieczenie staje się niewrażliwe na pojedyncze czy nawet wielokrotne, krótkotrwałe przeciążenia, będące wynikiem upadku wyrobu czy też wstrząsów powstających w transporcie. Niestety, w tego typu rozwiązaniach zabezpieczeń wykorzystywane są podzespoły elektroniczne, co ogranicza ich przydatność do bardzo wąskiego asortymentu wyrobów. Realizacja zabezpieczenia opartego o opisaną zasadę działania na drodze mechanicznej jest o wiele trudniejsza do realizacji. Rozwiązania takie wymaga między innymi wykorzystania tłumików wiskotycznych o ściśle określonych charakterystykach [6].

Na rysunku 1 przedstawiono schemat przykładowego rozwiązania zabezpieczenia zapalnika przed przypadkowym zadziałaniem za pomocą stapanego, przy pomocy spirali grzewczej ładunku, który przemieszczany jest do pozycji gotowości do zadziałania w wyniku różnicy ciśnień (ciśnienia dynamicznego) powstałej podczas lotu obiektu. Na rysunku przedstawiono szkic zabezpieczenia w stanie nieuzbrojonym w stanie nieuzbrojonym.



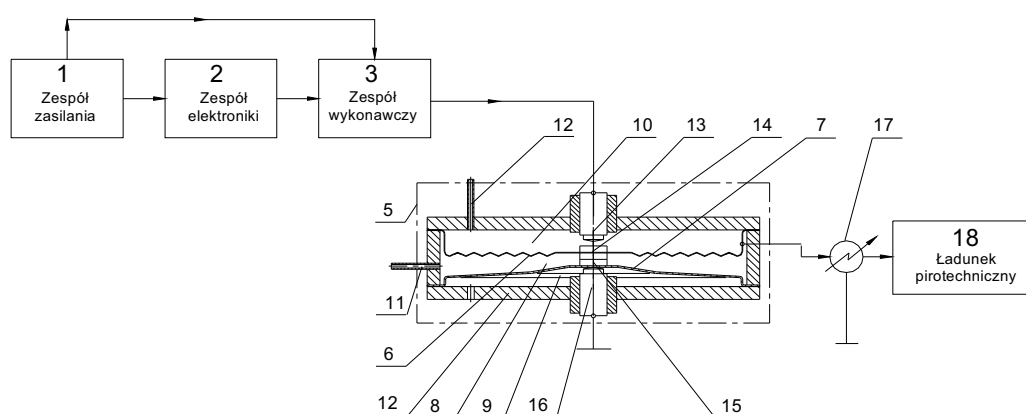
**Rysunek 1. Przykładowe zabezpieczenie zapalnika przed przypadkowym zadziałaniem za pomocą stapanego ładunku [6].**

#### 4. Zapalnik elektroniczny czasowy z układem zabezpieczająco-uzbrajającym z wykorzystaniem elementu pneumosprężystego w postaci puszkki membranowej

Przykład praktycznego zastosowania elementu pneumo-mechanicznego w zespole zabezpieczająco-uzbrajającym zapalnika czasowego przedstawiono schematycznie na rysunku 2. Przedstawia on schemat blokowy zapalnika czasowego z układem zabezpieczająco-uzbrajającym z zastosowaniem zespołu pneumosprężystego (5), w postaci puszkki membranowej lub zespołu puszek membranowych [9].

W przykładzie zastosowania zilustrowanego na rysunku 2 zapalnik czasowy składa się z zespołu zasilania (1) – bateria, bateria kondensatorów itp., zespołu elektronicznego (2) – programowalny czasowy układ scalony (cyfrowy, mikroprocesorowy), zespołu wykonawczego (3) – klucza tranzystorowego, tyrystora itp., zespołu pneumosprężystego (5) zamkniętego w obudowie, w postaci puszkki membranowej lub zespołu puszek membranowych, zapłonika elektrycznego (splonki elektrycznej) (17) i ładunku pirotechnicznego (18). Zespoły (1), (2), (3), (17) i (18) są stosowane w znanych rozwiązaniach zapalników.

Zespół pneumosprężysty (5) w postaci puszkki membranowej zamkniętej w obudowie, utworzony jest przez membranę aktywną (6) i membranę (7) zamykającą przestrzeń puszkki. Do membran (6) i (7) o odpowiednio dobranych profilach przyspawane (przylutowane) są styki elektryczne, przy czym do membran (6) i (7) zestyk rozwierny (styki elektryczne (14) i (15) normalnie zwarte), a do membrany (6) i do wkrętu (13) zestyk zwierny (styki elektryczne (13) i (14) normalnie rozwarte). Właściwy odstęp styków w zestyku zwiernym, oraz wstępny nacisk na styki w zestyku rozwiernym, uzyskano za pomocą wkrętów (13) i (16). W stanie początkowym w puszcze membranowej (8) i w przestrzeniach (9) i (10) obudowy puszkki membranowej panuje ciśnienie statyczne –  $p_o$ . Podczas ruchu obiektu w puszcze membranowej (8) panuje ciśnienie spiętrzenia –  $p_c$  (suma ciśnienia statycznego i ciśnienia dynamicznego), a w przestrzeniach (9) i (10) nadal ciśnienie statyczne. Pod wpływem różnicy ciśnień (całkowitego i statycznego) następuje w wyniku odkształcenia przemieszczenie (ugięcie) membrany (6), a tym samym zwarcie zestyków zwiernych (normalnie rozwartych) i rozwarcie zestyków rozwiernych (normalnie zwartych).



Rysunek 2. Przykład praktycznego zastosowania elementu pneumosprężystego w zespole zabezpieczająco-uzbrajającym zapalnika czasowego

Przed strzałem zespół pneumosprężysty (5), w postaci puszkii membranowej lub zestawu puszek membranowych za pomocą swoich styków wykonawczych zabezpiecza zapalnik przez:

- odłączenie układu wykonawczego bloku elektroniki (3) zapalnika czasowego od zapłonika elektrycznego (17) i ładunku pirotechnicznego (18) za pomocą zestyków zwiernych – styków elektrycznych (13) i (14) – (ciśnienie statyczne –  $p_o$  jest zarówno w puszcze membranowej (8) jak i w przestrzeniach (9) i (10) obudowy puszkii membranowej).
- zwarcie obwodu zapłonika elektrycznego (17) za pomocą zestyków rozwiernych - styków elektrycznych normalnie zwartych (14) i (15) z masą zapalnika czasowego. W procesie technologicznym montażu zapalnika czasowego należy ustalić wstępne naprężenie styków wykonawczych zespołu pneumosprężystego-puszkii membranowej za pomocą elementów blokady mechanicznej (wkretów 13 i 16).

Po wystrzale lub starciu pocisku raketowego, gdy wyrób oddali się na bezpieczną odległość od wyrzutni, puszkia membranowa zamknięta w obudowie (5) odkształca się w wyniku istnienia ciśnienia dynamicznego, związanego z ruchem obiektu (różnicy ciśnienia całkowitego, będącego sumą ciśnienia statycznego oraz dynamicznego w przestrzeni puszkii membranowej (8) i ciśnienia statycznego w przestrzeniach (9) i (10) obudowy puszkii membranowej), co powoduje przejście jej styków elektrycznych w nowy stan równowagi stabilnej i uzbrojenie zapalnika przez:

- połączenie układu wykonawczego bloku elektroniki (3) zapalnika czasowego z zapłonikiem elektrycznym (17) i pośrednio z ładunkiem pirotechnicznym (18), za pomocą zestyków zwiernych – styków elektrycznych (13) i (14) normalnie rozwartych w pozycji wyjściowej -przed strzałem i zwartych po wystrzale – (ciśnienie całkowite wynikające z prędkości liniowej obiektu względem otaczającego ośrodka –  $p_c$  jest większe od ciśnienia statycznego –  $p_o$ ).
- odłączenie zapłonika elektrycznego (17) lub spłonki elektrycznej łańcucha ogniowego - zapłonnik elektryczny (17), zespół pirotechniczny (18) od masy zapalnika, za pomocą zestyków rozwiernych – styków elektrycznych (14) i (15) normalnie zwartych w pozycji wyjściowej - przed strzałem i rozwartych po wystrzale – (ciśnienie całkowite wynikające z prędkości liniowej obiektu względem otaczającego ośrodka –  $p_c$  jest większe od ciśnienia statycznego –  $p_o$ ).

## Literatura

- [1] PN-T-01030. Kompatybilność elektromagnetyczna – Terminologia
- [2] Hornung S.: Podstawy konstrukcji zapalników. WPW, Warszawa 1961.
- [3] Sadłowski J., Spadło S., Tuśnio J.: Ocena przydatności wybranych typów zabezpieczeń zapalników w wyrobach raketowych. Mat. III Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. Amunicja Precyzyjnego Rażenia oraz Układy Zabezpieczające - Wykonawcze i Zasilające. Ameliówka 2000, s. 151-159.
- [4] PN-IEC 801-2. Kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń do pomiaru i sterowania procesami przemysłowymi. Wymagania dotyczące wyładowań elektrostatycznych
- [5] PN-IEC 801-4. Kompatybilność elektromagnetyczna urządzeń do pomiaru i sterowania procesami przemysłowymi. Wymagania dotyczące serii szybkich elektrycznych zakłóceń impulsowych.
- [6] United States Patent, 5,212,340, 1993 r.

- [7] United States Patent, 5,153,369, 1992 r.
- [8] Wasiliew M.: Teoria projektowania zapalników. Wydawnictwo MON. Warszawa 1955.
- [9] Spadło S., Sadłowski J., Tuśnio J. Fusik M., Kobierski Z., Moskalewicz M. Układ zabezpieczająco-uzbrajający zapalników elektronicznych. Zgłoszenie patentowe nr 347759 9/02

*Praca została wykonana w ramach realizacji projektu rozwojowego nr R 00 011 01 pt. „Zapalnik elektroniczny do pocisków raketowych z pneumo-mechanicznym zabezpieczeniem” finansowanego przez Departament Badań na Rzecz Bezpieczeństwa i Obronności Państwa Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*