



Wpływ wybranych parametrów toru obserwacji na zasięg śledzenia PZR NEWA SC

STANISŁAW ŻYGADŁO, DARIUSZ RODZIK, JACEK WARCHULSKI,
MARCIN WARCHULSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki, Instytut Systemów Mechatronicznych,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. W referacie przedstawiono wpływ wybranych parametrów toru obserwacji oraz jego elementów na możliwości śledzenia PZR NEWA SC. Zastosowanie elementów o odpowiednich charakterystykach pozwoli na poprawę parametrów tego toru, a przez to na zwiększenie zasięgu śledzenia PZR. Oprócz tego, modernizacja aparatury toru transmisji komend umożliwi całkowitą eliminację technologii lampowej, szczególnie z aparatury pokładowej rakiety.

Słowa kluczowe: tor sterowania, zasięg rakiet plot

Symbole UKD: 623.418.2

1. Wprowadzenie

Użytkownicy przeciwlotniczych zestawów rakietowych (PRZ) dążą do maksymalnego wykorzystania możliwości bojowych eksploatowanych zestawów poprzez wprowadzanie różnych zmian i ich modernizację (np. zestawy NEWA, OSA, WEGA). Z dostępnych informacji wynika, że jednym z parametrów poprawianych w trakcie modernizacji jest zwiększenie strefy ognia PZR. Cel ten osiągnąć jest w rozmaity sposób. Na przykład w zestawie PECZORA-2M, który został zmodernizowany przez konsorcjum DEFENCE SYSTEMS, zwiększenie zasięgu rakiet 5W27D uzyskano poprzez zastosowanie nowego typu paliwa oraz nowego typu silnika startowego o znacznie większej sile ciągu. W innym wariantcie, opracowanym przez firmę TETRAEDR, zwiększenie zasięgu rakiet osiągnięto poprzez optymalizację istniejących oraz wprowadzenie nowych metod naprowadzania

o nazwie MTT i KDU. Z oczywistych względów dane dotyczące algorytmów i urządzeń realizujących te metody są utajnione, przy czym zaznacza się, że kolejne etapy prac prowadzących do zwiększenia zasięgu rakiet poprzedzone są modernizacją aparatury toru transmisji komend sterowania.

Wiadomo, że nadrzędnym wymaganiem przy wyborze metody jest, aby rakietą została naprowadzona w rejon celu z błędem nie większym od promienia skutecznego działania głowicy bojowej. Aby tego dokonać, niezbędne jest sprecyzowanie ograniczeń i kryteriów umożliwiających porównywanie własności przyjętych sposobów sterowania. Przy ich formułowaniu należy uwzględnić między innymi możliwości manewrowe rakiet, możliwości i jakość pomiaru parametrów ruchu celu i rakiet, własności dynamiczne toru sterowania oraz wpływ zakłóceń na proces sterowania rakietą. Wyznaczona z przesłanek kinematycznych metoda naprowadzania może zapewnić wysoką skuteczność naprowadzania rakiet na cel, ale może być to okupione znacznymi stratami energetycznymi wynikającymi z gwałtownych manewrów rakiet na znacznym odcinku jej lotu. Konsekwencją tych manewrów jest spadek prędkości, a tym samym spadek zdolności manewrowych rakiet oraz ograniczenie zasięgu. Przyjęta metoda naprowadzania w dużym stopniu determinuje strukturę funkcjonalną zestawu rakietowego, a w szczególności układów określania współrzędnych ruchu celu i rakiet oraz aparatury toru sterowania.

2. Wpływ wybranych parametrów toru sterowania na zasięg PZR

Jedną z charakterystyk odbiornika stacji naprowadzania rakiet jest pojęcie czułości granicznej określającej taką moc sygnału użytecznego w antenie odbiorczej, przy której moc sygnału użytecznego jest równa mocy szumów na wyjściu odbiornika. Po przeliczeniu szumów i sygnału z wyjścia odbiornika na jego wejście zależność na czułość graniczną P_{sgr} przyjmuje postać:

$$P_{sgr} = P_{sz} = kTN_{sz}\Delta f, \quad (1)$$

gdzie: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$ — stała Boltzmanna;
 $T = 300^\circ\text{K}$;
 N_{sz} — współczynnik szumów odbiornika;
 Δf — pasmo przenoszenia odbiornika.

Przybliżonej oceny wpływu parametrów elementów toru sterowania oraz celu na możliwości stacji naprowadzania rakiet można dokonać na podstawie równania zasięgu:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_i G_N G_O \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T N_{sz} \Delta f \frac{S}{N}}}, \quad (2)$$

gdzie: P_i — moc sygnału w impulsie, doprowadzanego do anteny nadawczej;
 G_N — zysk anteny nadawczej;
 G_O — zysk anteny odbiorczej;
 λ — długość fali nadajnika;
 σ — powierzchnia skuteczna odbicia celu;
 S/N — stosunek sygnał/szum.

Należy przy tym pamiętać, że rzeczywista odległość wykrycia jest mniejsza od obliczonej według wzoru (1) z dwóch podstawowych przyczyn:

- równanie to nie uwzględnia różnorodnych strat zachodzących w stacji i zakłóceń propagacji fal;
- minimalny sygnał wykrycia jest wielkością stochastyczną uwarunkowaną szumami (przede wszystkim w stopniach wejściowych odbiornika).

Jeżeli we wzorze na zasięg uwzględnimy straty w linii przesyłowej oraz wpływ ziemi i troposfery na propagację fal, to uzyskamy:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_i G_N G_O \lambda^2 \sigma F_t^2 F_r^2}{(4\pi)^3 k T N_{sz} \Delta f \frac{S}{N} L}}, \quad (3)$$

gdzie: $L > 1$ — współczynnik strat określony jako stosunek mocy nadajnika do mocy doprowadzonej do anteny (P_i jest mocą nadajnika, a nie mocą doprowadzoną do anteny);
 F_t — współczynnik określający wpływ ziemi i troposfery na trasie antena nadawcza-cel;
 F_r — współczynnik określający wpływ ziemi i troposfery na trasie cel-antena odbiorcza.

Wobec faktu, że charakterystyki przestrzenne anten nadawczej UW10 i odbiorczej UW11 mają kształt symetrycznego cygara, co można uwzględnić w równaniu zasięgu, wykorzystując zależność:

$$G = \frac{4\pi}{\Theta^2}, \quad (4)$$

oraz faktu, że stacja pracuje impulsowo, równanie zasięgu przyjmie następującą postać:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_i \lambda^2 \sigma F_i^2 F_r^2 n}{4\pi \Theta_N^2 \Theta_O^2 k T N_{sz} \Delta f L \left(\frac{S}{N}\right)_1}}, \quad (5)$$

gdzie: $\left(\frac{S}{N}\right)_1$ — stosunek sygnał/szum dla $n = 1$;

— w trybie pracy WYKRYWANIE:

$\Theta = \Theta_N = \Theta_O$ — szerokość charakterystyki antenowej UW10;

— w trybie pracy ŚLEDZENIE:

Θ_N — szerokość charakterystyki antenowej UW10;

Θ_O — szerokość charakterystyki antenowej UW11.

Anteny stacji naprowadzania rakiet (SNR) przeszukują przestrzeń z okresem skanowania T_S i w zależności od trybu pracy stacji cel opromieniowywany jest z różną prędkością kątową $\Omega_S = 2\pi/T_S$. W ogólnym przypadku liczba impulsów w paczce dla okresu powtarzania T wynosi:

$$n = \frac{\Theta}{\Omega_S T} = \frac{\Theta}{2\pi T} T_S, \quad (6)$$

a równanie zasięgu przyjmuje postać:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_i \lambda^2 \sigma F_i^2 F_r^2 n T_S \Theta}{4\pi \Theta_N^2 \Theta_O^2 k T N_{sz} \Delta f L \left(\frac{S}{N}\right)_1}}. \quad (7)$$

W SNR przyjęto czas trwania impulsu sondującego $t_i = 0,7 \mu\text{s}$, co podyktowane zostało zastosowaniem w zestawie cyfrowej obróbki sygnału na pośredniej częstotliwości. Przy ustalonej mocy w impulsie moc średnia P_{sr} zależy od czasu trwania impulsu sondującego t_i oraz okresu powtarzania T :

$$P_{sr} = \frac{P_i t_i}{T}. \quad (8)$$

Liczba impulsów w „paczce” odebranych przez antenę zależy od okresu powtarzania i parametrów układu antenowego i wynosi:

$$N = \frac{t_{op}}{T}, \quad (9)$$

gdzie: t_{op} — czas opromieniowania celu przy ruchu wiązki podczas skanowania w czasie kątowej bramki selekcyjnej;

$$t_{op} = \frac{T_{sr} \Theta_{0,5}}{\Theta_{sk}}. \quad (10)$$

Liczba impulsów w pozostałym czasie trwania sektora skanowania:

$$N_s = \frac{T_s - 2T_b}{T_{sj}}, \quad (11)$$

gdzie: t_{sj} — czas opromieniowania przestrzeni przy ruchu wiązki podczas skanowania poza kątową bramką selekcyjną.

Do wyznaczenia mocy średniej i ilości impulsów w paczce niezbędna jest więc znajomość okresów powtarzania oraz parametrów anten uczestniczących w realizacji poszczególnych trybów pracy stacji. Parametry te są następujące:

- a) tryb pracy WYKRYWANIE:
 - częstotliwość skanowania anteny UW10 — $F_s = 25$ Hz;
 - szerokość wiązki antenowej na połowie mocy $\Theta_{0,5} = 1,5^\circ$;
 - sektor skanowania $\Theta_{sk} = 10^\circ$;
 - stosunek czasu ruchu roboczego wiązki T_r do okresu skanowania T_s wynosi 26/30, stąd $T_{sr} = 34,7$ ms.
- b) tryb pracy ŚLEDZENIE:
 - częstotliwość skanowania anteny UW11 — $F_s = 16$ Hz ($T_s = 62,5$ ms);
 - szerokość wiązki na połowie mocy $\Theta_{0,5} = 1^\circ$;
 - sektor skanowania $\Theta_{sk} = 15^\circ$;
 - czas trwania kątowej bramki selekcyjnej $T_b = 5$ ms.

W celu porównania parametrów toru sterowania stacji naprowadzania rakiet przeprowadzono obliczenia P_s i P_{sgr} w funkcji odległości do celu R , dla $P_i = 200$ kW i $P_i = 150$ kW oraz różnych powierzchni skutecznych odbicia $\sigma = 1$ m², $\sigma = 5$ m² i $\sigma = 10$ m² dla różnych trybów pracy SNR. Moc szumów P_{sz} i czułość graniczną P_{sgr} obliczono dla kanału głównego oraz kanału przeciwanikowego dla różnych współczynników szumów N_{sz} i różnych pasm przenoszenia odbiornika $\Delta f = 7,2$ MHz, $\Delta f = 5$ MHz oraz $\Delta f = 3$ MHz. Uzyskane wyniki obliczeń zamieszczono w tabeli 1, natomiast w tabeli 2 zamieszczono wyniki obliczeń dynamiki zmian mocy sygnału na wejściu odbiornika w odpowiednim trybie pracy stacji. Dynamikę określono jako stosunek mocy odebranego sygnału do mocy szumów, gdy cel znajduje się na odległości $R = 0,5$ km i $R = 1$ km.

TABELA 1

Czułość P_s , $P_{sz} = kT\Delta f/N_{sz}$ [dB/mW] = $10 \log(10^{-3}/P_{sz})$			
$N_{sz} = 17$			
Δf [MHz]	7,2	5	3
$P_{sz} = P_{sgr}$ [mW]	$5,06 \cdot 10^{-10}$	$3,5 \cdot 10^{-10}$	$2,1 \cdot 10^{-10}$
P_{gr} [dB/mW]	93	94,5	96,8
$N_{sz} = 67$			
Δf [MHz]	7,2	5	3
$P_{sz} = P_{sgr}$ [mW]	$19,9 \cdot 10^{-10}$	$13,87 \cdot 10^{-10}$	$5,06 \cdot 10^{-10}$
P_{gr} [dB/mW]	87	88,5	90,8

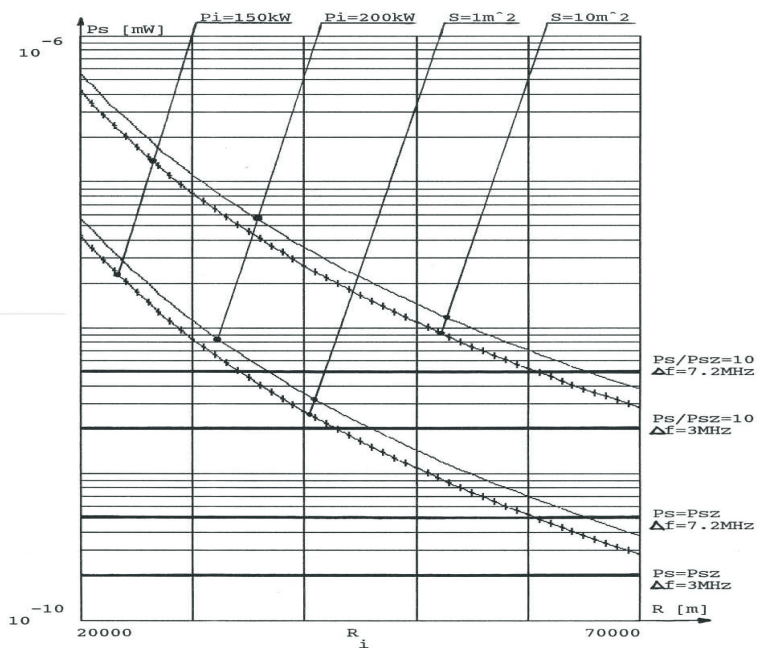
TABELA 2

$P_i = 150 \text{ kW}; \Delta f = 3 \text{ MHz}$			
Tryb pracy stacji	POSZUKIWANIE $G_N = G_o;$ $N_{sz} = 17$	ŚLEDZENIE — kanał gł. $G_N = 10000; G_o = 3600;$ $N_{sz} = 17$	ŚLEDZENIE — kanał P/Z $G_N = G_o;$ $N_{sz} = 67$
	$\sigma = 1 \text{ m}^2$	$\sigma = 1 \text{ m}^2$	$\sigma = 1 \text{ m}^2$
$K_d/0,5 \text{ km}$	$5,1 \cdot 10^8$	$2,1 \cdot 10^8$	$1,86 \cdot 10^8$
$K_d/1 \text{ km}$	$3,27 \cdot 10^7$	$1,34 \cdot 10^7$	$1,16 \cdot 10^7$

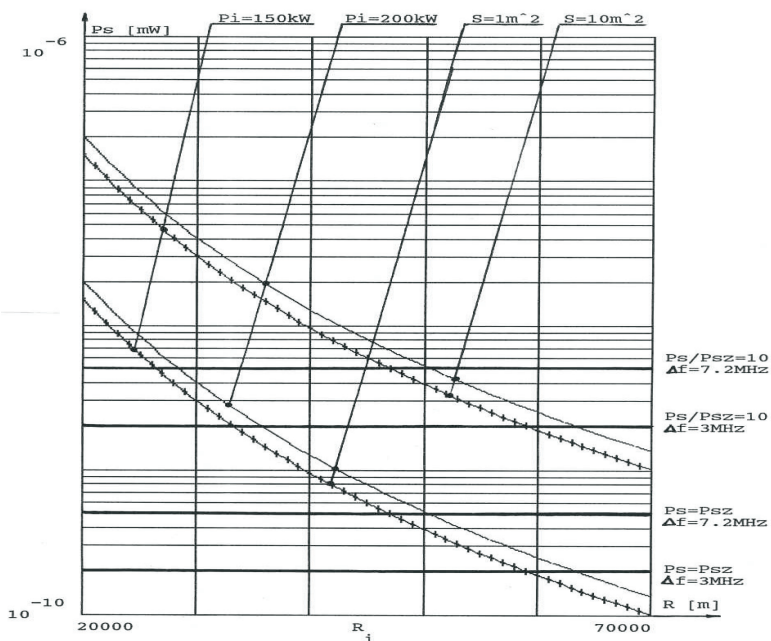
Dla trybów pracy WYKRYWANIE, ŚLEDZENIE — kanał główny oraz ŚLEDZENIE — kanał przeciwzakłócający sporządzono wykresy $P_s = f(R)$. Na wykresach naniesiono poziomy sygnał odpowiadający stosunkowi $P_s/P_{sz} = P_{sgr}/P_{sz} = 1$ oraz stosunkowi $P_s/P_{sz} = 10$.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że dla mocy nadajnika $P_i = 150 \text{ kW}$, czasu trwania impulsu sondującego $t_i = 0,7 \mu\text{s}$ oraz pasma przeniesienia odbiornika $\Delta f = 3 \text{ MHz}$, oszacowana odległość wykrycia celów o powierzchni skutecznej $\sigma = 1 \text{ m}^2$ oraz $\sigma = 10 \text{ m}^2$, dla stosunku sygnału do szumu równego 10, jest porównywalna z danymi podawanymi w instrukcjach pracy bojowej i ZTT zestawów S-125M i S-125SC.

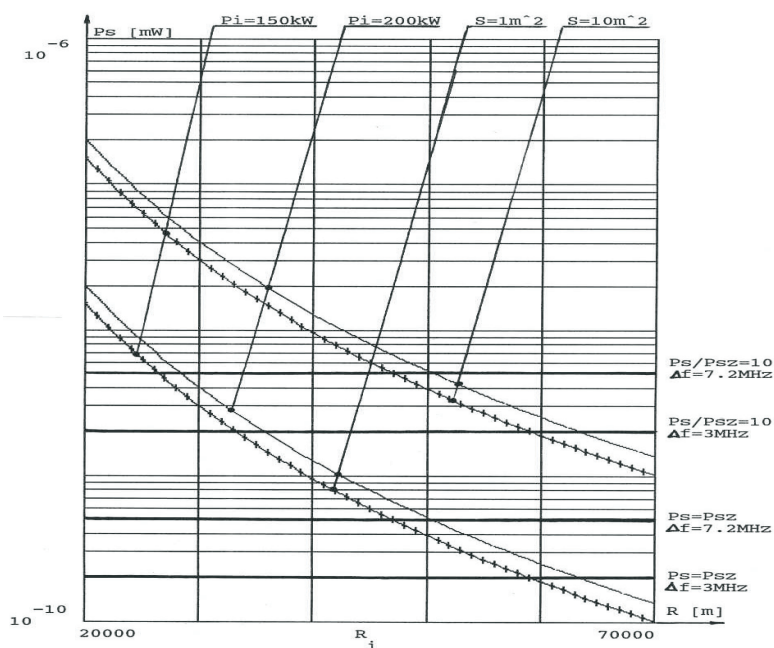
W celu zapewnienia niezbędnych parametrów toru sterowania, które zależą między innymi od szerokości pasma $\Delta f = 3 \text{ MHz}$ opracowano wzmacniacz pośredniej częstotliwości (rys. 4), który przeznaczony jest do wzmocnienia i selekcji



Rys. 1. Wykres $P_s = f(R)$ dla trybu pracy WYKRYWANIE



Rys. 2. Wykres $P_s = f(R)$ dla trybu pracy ŚLEDZENIE — kanał główny

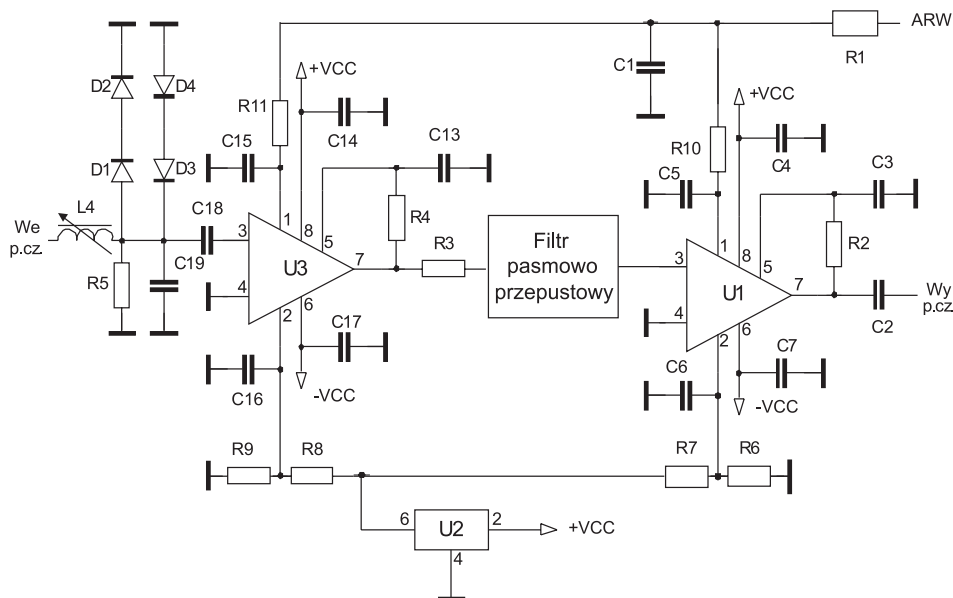


Rys. 3. Wykres $P_s = f(R)$ dla trybu pracy ŚLEDZENIE — kanał przeciwnanikowy

częstotliwościowej sygnału celu. W stacji naprowadzania rakiet znajdują się dwa identyczne wzmacniacze w kanale głównym i w kanale przeciwnanikowym. Wzmacniacz charakteryzuje się następującymi podstawowymi parametrami:

- częstotliwość pośrednia $f_p = 30$ MHz;
- pasmo przenoszenia na poziomie $2\Delta f = (3 \pm 0,5)$ MHz;
- wzmacnienie wzmacniacza regulowane napięciem ARW w granicach $(0 \div 80)$ dB;
- nominalna amplituda napięcia wyjściowego 1 V.

Układ wejściowy składa się z przeciwnzakłóceniewego filtra dolnoprzepustowego, złożonego z cewki L4, kondensatora C19 oraz rezystora R5. Częstotliwość graniczna filtra wynosi około 50 MHz. W celu zabezpieczenia wejścia układu scalonego U3 przed niebezpiecznym skokiem napięcia, pojawiającym się przy włączeniu i wyłączeniu zasilania wzmacniacza lampowego z którego dochodzi sygnał do wzmacniacza p.cz., zastosowano dwustronny ogranicznik napięcia D1÷D4 o progu ograniczania $\pm 1,4$ V. Wzmacniacz wykonany jest na dwóch układach typu AD603, których wzmacnienie regulowane jest w zakresie $(-1 \div +42)$ dB. Regulacja wzmacnienia realizuje się przez zmianę napięcia ARW doprowadzonego, przez filtr dolnoprzepustowy R11, C15, do nóżki 1 układu scalonego U3. Do nóżki 2 układu doprowadzono przez dzielnik R8, R9 napięcie odniesienia ze źródła na-



Rys. 4. Schemat ideowy wzmacniacza p.cz.

pięcia odniesienia, zbudowanego na układzie scalonym U2 typu AD680. Napięcie wyjściowe źródła wynosi $+2,5\text{ V}$ i jest niezależne od wartości prądu pobieranego przez wejścia 2 układów scalonych U1 i U3. Rezystor R4 i kondensator C13 stanowią elementy obwodu kompensacji częstotliwościowej i służą do zapewnienia odpowiedniej charakterystyki częstotliwościowej wzmacniacza i uzyskania stabilnej jego pracy. Regulację wzmocnienia drugiego stopnia realizuje się przez zmianę napięcia doprowadzonego przez filtr R10, C5 do nóżki 1 układu scalonego U1. Napięcie ARW doprowadzone jest do wzmacniacza przez filtr R1, C1. Charakterystykę częstotliwościową wzmacniacza, czyli częstotliwość środkową 30 MHz i pasmo przenoszenia $(3\pm 0,5)\text{ MHz}$, zapewnia filtr pasmowo-przepustowy. Wzmacniacz zasilany jest napięciami $+5\text{ V}$ i -5 V , które przy nóżkach wzmacniaczy operacyjnych są blokowane kondensatorami C14, C17 — przy układzie U3 oraz kondensatorami C4, C7 — przy układzie U1.

3. Podsumowanie

Zwiększenie zasięgu rakiet poprzez zmianę metod naprowadzania pociąga za sobą konieczność wprowadzenia zmian programowych oraz aparaturowych w torze transmisji komend PZR NEWA. Umożliwi to bezbłędne przesłanie na pokład rakiety komend sterowania, a przez to na implementację nowych metod

naprowadzania. Oprócz tego modernizacja aparatury toru transmisji komend daje szansę na całkowitą eliminację technologii lampowej, szczególnie z aparatury pokładowej rakiety. Pozwoli to na usprawnienie aparatury wielu rakiet 5W27D, które ze względu na wiek i czas pracy osiągnęły kres możliwości eksploatacyjnych, a brak części zamiennych wyeliminował je z dalszej eksploatacji.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2008 jako projekt badawczy Nr 0012/T02/2006/30.

Artykuł wpłynął do redakcji 28.03.2007 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w kwietniu 2007 r.

LITERATURA

- [1] M. PODCIECHOWSKI, D. RODZIK, K. SIENICKI, S. ŻYGADŁO, *Kierunki rozwoju PZR NEWA SC dla Sił Powietrznych RP*, VI Międzynarodowa Konferencja Uzbrojeniowa „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia”, Wąplewo, 2006.
- [2] M. PODCIECHOWSKI, D. RODZIK, K. SIENICKI, S. ŻYGADŁO, *Modernizacja toru odbiorczego SNR-125SC pod kątem zwiększenia zasięgu PZR NEWA S.C.*, VI Międzynarodowa Konferencja Uzbrojeniowa „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia”, Wąplewo, 2006.
- [3] M. PODCIECHOWSKI, K. SIENICKI, S. ŻYGADŁO, D. RODZIK, *Kierunki rozwoju aparatury pokładowej rakiety 5W27U PZR NEWA*, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „CRASS 2005”, Kraków, 2005.
- [4] M. PODCIECHOWSKI, D. RODZIK, K. SIENICKI, S. ŻYGADŁO, *Stan aktualny i perspektywy modernizacji przeciwlotniczego zestawu raketowego NEWA S.C.*, Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Perspektywy i rozwój systemów ratownictwa, bezpieczeństwa i obronności w XXI wieku”, Gdynia, 2005.

S. ŻYGADŁO, D. RODZIK, J. WARCHULSKI, M. WARCHULSKI

Selected parameters of an observation channel affecting the NEWA SC anti-aircraft system's tracking range

Abstract. Influence of parameters of an observation channel and its elements on the possibility of NEWA SC anti-aircraft system tracking is presented. To improve the command channel's parameters and to increase anti-aircraft system tracking range, proper characteristic elements have been applied. Moreover, due to modernization of a commands transmission channel, elimination of absolute lamp technology, especially from missile board equipment, will be possible.

Keywords: control channel, range of anti-aircraft missile

Universal Decimal Classification: 623.418.2