



## Wybrane problemy ochrony radarów przed raketami antyradiolokacyjnymi

Mariusz ŁUSZCZYK\*

*Bumar Elektronika S.A., Warszawa, ul. Poligonowa 30  
\* autor korespondencyjny, e-mail: mariusz.luszczyk@bumar.com*

*Artykuł wpłynął do redakcji 14.06.2012. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 22.03.2014*

**Streszczenie.** Niniejszy artykuł dotyczy problematyki ochrony naziemnych stacji radiolokacyjnych przed zagrożeniami związanymi z raketami naprowadzającymi się na źródło promieniowania elektromagnetycznego. W artykule przedstawiono charakterystyki taktyczno-techniczne wybranych konstrukcji rakiet do zwalczania naziemnych radarów. W oparciu o wybrane założenia sposobów działania rakiet antyradiolokacyjnych sformułowano podstawowe założenia na metody ochrony radarów.

**Słowa kluczowe:** radiolokacja, pułapki elektromagnetyczne, rakiety antyradiolokacyjne

### 1. WSTĘP

Systemy uzbrojenia oparte na urządzeniach radarowych są powszechnie wykorzystywane we wszystkich nowoczesnych armiach świata. Radary, jako elementy systemu sensorycznego, stanowią istotny element obrony przeciwlotniczej oraz rozpoznania dalekiego zasięgu. W dalszym ciągu rozpoznanie radiolokacyjne jest jedynym sposobem, aby w każdych warunkach pogodowych oraz o każdej porze dnia otrzymywać informacje o obiektach znajdujących się w powietrzu w odległościach znacznie przewyższających

możliwości zasięgowe innych systemów (np. systemów optoelektronicznych). Możliwości detekcji dotyczą statków powietrznych załogowych oraz bezzałogowych (obiektów o małej skutecznej powierzchni odbicia).

Ze względu na swoje znaczenie w systemach uzbrojenia radary narażone są na zniszczenie w ramach doktryny prowadzenia działań wojennych opartej na konieczności neutralizacji, zniszczeniu lub czasowym wykluczeniu elementów obrony przeciwlotniczej przeciwnika – SEAD (ang. *Suppression of Enemy Air Defence*). Dlatego też rozwijając własne możliwości w zakresie SEAD, należy rozwijać metody i techniki ochrony i obrony własnej sieci radarowej oraz radarów pracujących w systemach OPL. Przy czym pełna ochrona radaru powinna być realizowana w zakresie promieniowania elektromagnetycznego (w zakresie radiowym), promieniowania widzialnego i podczerwonego oraz aktywnego zwalczania rakiet antyradiolokacyjnych (ARM) z wykorzystaniem środków artyleryjskich i raketowych [3]. Skuteczne uderzenie z użyciem uzbrojenia typu ARM praktycznie eliminuje radar będący celem (rys. 1 i 2).



Rys. 1. ST-68UM mobilny radar średniego zasięgu 3D [8]

Fig. 1. ST-68UM medium range S-band search radar [8]



Rys. 2. Skutki ostrzału stacji radarowej ST-68UM z wykorzystaniem rakiety ARM (działania wojenne w Gruzji w 2008 r.) [8]

Fig. 2. The effect of ARM attack on ST-68UM search radar (Russo-Georgian war, 2008) [8]

Doświadczenia wynikające z analizy przebiegu konfliktów wojennych w Europie, Afryce Północnej i Azji, od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku do chwili obecnej wskazują, iż jednym z podstawowych celów walczących stron w pierwszej fazie konfliktu jest uzyskanie przewagi w powietrzu. Osiąga się to poprzez zniszczenie lub wyłączenia z możliwości użycia sił lotniczych oraz obrony przeciwlotniczej.

W przypadku tego drugiego zniszczenia sieci radiolokacyjnej oraz urządzeń radarowych wykorzystywanych do naprowadzania efektorów praktycznie uniemożliwia działanie systemu obrony przeciwlotniczej krótkiego (10-50 km) i średniego (50-100 km) zasięgu. Opracowanie i wdrożenie skutecznych metod – zarówno taktycznych, jak i technicznych – ochrony radarów własnych jest pilną potrzebą sił zbrojnych.

## 2. CHARAKTERYSTYKA ŹRÓDŁA ZAGROŻEŃ DLA STACJI RADAROWYCH

Przeгляд i porównanie cech technicznych rakiet ARM pozwala wyodrębnić pewne istotne właściwości z punktu widzenia analizy zagrożenia:

- możliwość wprowadzenia do głowicy naprowadzającej rakiety danych atakowanego źródła emisji (radaru). Podstawowym źródłem danych o źródle emisji jest odbiornik sygnału mikrofalowego klasy ESM [3],
- możliwość lotu rakiety w przypadku wyłączenia emisji radaru na podstawie zapamiętanego kierunku z ostatniego pomiaru ze wspomaganie przez systemy nawigacyjne INS/GPS [2],
- możliwość ataku z góry w nowej generacji rakiet ARM (manewr wzniesienia w ostatniej fazie lotu) w celu zwiększenia prędkości rakiety i zwiększenia potencjalnych szkód,
- możliwość wspomaganie naprowadzania w ostatniej fazie lotu przez aktywny radar w paśmie milimetrycznym, poszukujący dużej powierzchni odbijającej fale EM oraz przez sensor podczerwieni [2].

Ponadto rakiety ARM charakteryzują się:

- dużym zasięgiem (40-200 km) przy odpaleniu rakiety na dużych pułapach (12-15 km). Zasięg ulega znacznej redukcji (do około 20-50 km) przy odpaleniu rakiety na małych pułapach (rzędu kilkuset metrów),
- dużą prędkością (1-3 Ma) przy dolicie na dużych wysokościach i znacznie mniejszymi (poniżej 1 Ma) na niskich pułapach,
- strefą martwą rzędu kilku kilometrów od źródła emisji sygnału, określającą minimalną odległość podejmowania decyzji o ataku.

W tabeli 1 zaprezentowano zestawienie wybranych właściwości przykładowych rakiet ARM, naprowadzających się na radarowe źródła emisji sygnału EM. Jedynie kilka krajów pracuje nad rozwojem tego typu rakiet, m.in. Stany Zjednoczone, Rosja i Wielka Brytania.

Tabela 1. Właściwości rakiet typu ARM naprowadzających się na radarowe źródła emisji sygnału elektromagnetycznego produkowane przez Rosję i USA [2]

Table 1. Anti-radiation missiles specification produced by Russia and USA [2]

Parametr	Kh-25MP	Kh-58E	AGM-88E (AARGM)
producent/kraj	Rosja Tactical Missiles Corporation.	Rosja State Engineering Design Bureau „Raduga”	Raytheon / USA
nosiciel	MiG-23/27, Su-17/22, Su-24, Su-25	Su-24M, Mig-25BM, Su-22M4, Su-25TK, Su-30MK	FA-18C/D Hornet, FA-18E/F Super Hornet EA-18G F-35 Lighting II, EA-6B Prowler, F-16C/D Fighting Falcon Tornado IDS
pułap odpalania / zasięg	50 m – 3-25 km 5000 m – 7,5-33 km 10000 m – 15-40 km	b.d. / 46 km – 200 km	b.d. / 48 km
prędkość	1080-1620 km/h	575-2876 km/h	2280 km/h
rodzaje pracy	śledzenie monoimpulsowe, atak z góry	śledzenie monoimpulsowe, atak z góry	pasywny (na źródło promieniowania) / aktywny (własny radar milimetrowy)
dedykowane obiekty ataku	Nike Herkules SAM, Improved Hawk SAM	Nike-Hercules SAM Patriot SAM	radary systemów OPL
promień rażenia / głowica bojowa	głowica burząca / 86 kg	głowica burząca / 149 kg	głowica kumulacyjna odłamkowa / 68 kg
masa pocisku	315 kg	650 kg	360 kg
długość z głowicą	4,25 m (1VP) 4,35 m (2VP)	4,8 m	4,14 m
średnica	0,27 m	0,38 m	0,25 m
rozpiętość	0,75 m	1,17 m	1,016 m



Rys. 3. Rakietka antyradiolokacyjna Kh-58E (Rosja) [6]

Fig. 3. Anti-radiation missile Kh-58E (Russia) [6]



Rys. 4. Rakietka antyradiolokacyjna AGM-88E (USA) [7]

Fig. 4 Anti-radiation missile AGM-88E (USA) [7]

### 3. OCHRONA RADARÓW PRZED RAKIETAMI ARM

Sposoby stosowane w celu ochrony radarów przed raketami ARM można podzielić na trzy grupy:

- wykrywanie i śledzenie rakiety ARM przez radar, w celu wypracowania sygnału alarmu i włączenia rodzaju pracy radaru zwiększającego stopień utrudnienia utrzymania śledzenia przez raketowy odbiornik naprowadzania,
- utrudnianie wykrycia sygnału radarowego przez odbiornik rozpoznania nosiciela rakiety, a także zakłócanie procesu podejmowania decyzji o odpaleniu rakiety i w późniejszej fazie utrudnienie przechwytywania i śledzenia sygnału radaru przez odbiornik naprowadzania rakiety, oparte na stosowaniu sygnałów trudno wykrywalnych i zmiennego przeszukiwania przestrzeni (metody stosowane w radarach klasy LPI),
- zakłócanie pracy raketowego odbiornika naprowadzania przez stosowanie imitatorów sygnału radarowego.

W scenariuszu ataku na źródło promieniowania EM za pomocą rakiety typu ARM można wydzielić dwa etapy:

- etap pierwszy, w którym następuje wykrycie emisji radaru przez odbiornik rozpoznania ESM na samolocie nosicielu rakiety oraz odpalenie rakiety,
- etap drugi, w którym następuje naprowadzanie na źródło radarowej emisji.

Typowa sekwencja działań w etapie pierwszym zawiera w sobie przede wszystkim wykrycie impulsów emitowanych przez wiązkę główną anteny radaru za pomocą odbiornika klasy ESM zainstalowanego na pokładzie samolotu przenoszącego raketę.

Na podstawie analizy przechwyconego sygnału wykrytego radaru następuje estymacja parametrów czasowych i częstotliwościowych, takich jak: czas trwania impulsu, okres powtarzania impulsów w paczce, częstotliwość nośna sygnału, rodzaj modulacji wewnątrzimpulsowej itp. Kolejnym procesem realizowanym w urządzeniach ESM jest estymacja kierunku. W rzeczywistych warunkach działań bojowych, gdzie środowisko charakteryzuje się znacznym nasyceniem źródeł promieniowania EM, odbiornik ESM odbierze sygnały z wielu różnych źródeł (np. radary kierowania ogniem, radary wstępnego wykrywania, radary lotniskowe, radary obserwacji przestrzeni powietrznej itp.) dlatego też analiza obejmuje proces rozplatania sygnałów w celu przyporządkowania ich do konkretnego źródła (tzw. deinterleaving) i grupowania w sekwencje pochodzące od jednego źródła na podstawie danych o kierunku (azymucie) i danych czasowo-częstotliwościowych przechwyconych sygnałów. Przetworzone sygnały i pozyskana informacja są podstawą do identyfikacji źródeł EM i wyboru konkretnego radaru, jako obiektu ataku. Wstępna lokalizacja oraz metryka sygnału radarowego promieniowanego przez obiekt ataku ładowane są do pamięci rakiety ARM. Etap kończy się decyzją o odpaleniu rakiety.

Na tym etapie najlepszym sposobem ochrony własnego radaru jest przeciwdziałanie mające na celu uniknięcie wykrycia przez odbiornik rozpoznania ESM nosiciela rakiety. Można to osiągnąć poprzez właściwe zastosowanie wielu rozwiązań o charakterze technicznym, przede wszystkim w dziedzinie trudno wykrywalnych i trudnych do identyfikacji sygnałów radarowych LPI (ang. *Low Probability of Interception*). Praca radaru w trybie LPI charakteryzuje się małą mocą impulsową (w radarach z nadajnikiem półprzewodnikowym) oraz stosowaniem sygnałów złożonych o dużej bazie (dużym współczynnikiem kompresji).

Czynnikiem sprzyjającym w ochronie radaru jest ciągła zmiana parametrów czasowych i częstotliwościowych sygnału emitowanego przez radar oraz oświetlania przestrzeni wąską wiązką nadawczą w sposób pseudolosowy.

Możliwości ochrony radaru, w przypadku wystrzelenia rakiety ARM, uzależnione są od występowania dedykowanego kanału obróbki sygnału, wypracowującego sygnał alarmu ataku raketą ARM i w razie konieczności automatycznego włączenia specjalnego rodzaju pracy radaru z pseudolosowym przeszukiwaniem przestrzeni i zmianą parametrów czasowych oraz częstotliwościowych. Możliwe są do zastosowania taktyczne metody obrony poprzez zastosowanie przerywanej emisji sygnału radaru (tzw. „migocące pole”) lub wykorzystanie imitatorów sygnału radaru dla odprowadzenia rakiety od kierunku do radaru przez wytworzenie pozornego punktu emisji sygnału radaru.

Skuteczną metodą przeciwdziałania jest aktywne zakłócanie GPS oraz odbiornika naprowadzania w paśmie pracy radaru, ale poza jego pasmem roboczym (częstotliwości, na których realizowane jest aktualne sondowanie), co ma na celu nasycenie odbiornika monoimpulsowego i przerwanie procesu śledzenia kierunku do źródła emisji. W przypadku utraty odbioru sygnału radaru rakietę ARM kontynuuje lot wg zadanej lokalizacji lub ostatniego wypracowanego kierunku przez odbiornik naprowadzania, korzystając z nawigacji GPS/INS [1, 2].

Jednym ze sposobów przeciwdziałania rakietom samonaprowadzającym się na źródła emisji radarowej jest rozmieszczenie imitatorów sygnałów radiolokacyjnych (od jednego do kilku), dzięki którym rakietę nakierowuje się na punkt, leżący w odległości od radaru, przewyższającej promień obszaru rażenia rakiety [1]. Stąd niezwykle istotne jest dobranie odległości między radarem a imitatorem. Można uzyskać efekt ochrony radaru (uderzenie rakiety w punkt środkowy między radarem a imitatorem) pod warunkiem, że w głowicy rakiety sygnały imitatora i radaru będą zbliżone (co wymaga jednakowych mocy nadajnika i imitatora), ponadto imitator i radar stosują sygnały o tej samej częstotliwości nośnej i warunkach impulsowania oraz że imitator i radar znajdują się w odpowiedniej odległości. Ponieważ w praktyce, ze względu na dużą zmienność poziomu listków bocznych anteny radaru, trudne jest spełnienie warunku równych mocy emitowanych przez radar i imitator, zaleca się stosowanie wielu imitatorów. W praktyce może być stosowanych od 3 do 12 imitatorów rozłożonych w promieniu kilkuset metrów wokół radaru. Odległość imitatora od radaru nie może być większa od kątowej rozdzielności monoimpulsowego odbiornika naprowadzania. Od dołu odległość ta jest ograniczona zasięgiem rażenia rakiety [4].

#### **4. PODSUMOWANIE**

Analiza rozwiązań w dziedzinie rakiet ARM wskazuje, że w dalszym ciągu planowany jest ich rozwój i możliwość stosowania do niszczenia naziemnych radarów. Dlatego też należy opracować skuteczne metody ochrony własnych stacji radarowych, zwłaszcza radarów stacjonarnych, radarów o ograniczonej

mobilności oraz radarów pracujących z dużymi poziomami emitowanej mocy (radary średniego i dalekiego zasięgu z nadajnikami na lampach).

Obroną przed wykryciem i rozpoznaniem radarów przez samolotowe odbiorniki rozpoznania ESM może być tylko zastosowanie sygnałów trudno wykrywalnych (LPI) lub specjalne rodzaje pracy z ciągłą zmiennością parametrów sygnałów sondujących i pseudolosowym przeszukiwaniem przestrzeni. Rozwój pułapek elektromagnetycznych jest jednym z możliwych kierunków w szeroko pojętej ochronie własnych stacji radarowych.

## LITERATURA

- [1] Xica S., Yufeng Z., *Decoy Techniques with Two-point Source in Countermeasures Against Anti-Radiation Missiles*, Foreign Technology Division, AF System Commands USA, Ad-A233 154, January 1991.
- [2] Pace P.E., *Detecting and Classifying Low Probability of Intercept Radar*, Artech House, 2009.
- [3] Adamy J., *EW 101 A First Course in Electronic Warfare*, Artech House, 2001.
- [4] McLendon R., Turner R.C., Broadband sensors for lethal defense suppression, *Microwave Journal*, Sept. 1983, pp. 85-103, 1983.
- [5] Burton D.K., *Radar System Analysis and Modeling*, Artech House, 2005.
- [6] [http://eng.ktrv.ru/production\\_eng](http://eng.ktrv.ru/production_eng) (10.06.2012).
- [7] [www.raytheon.com/capabilities/products](http://www.raytheon.com/capabilities/products) (10.06.2012).
- [8] [www.ausairpower.net](http://www.ausairpower.net) (10.06.2012).

## Chosen Issues of Military Radar Protection Against Antiradiation Missiles

Mariusz ŁUSZCZYK

**Abstract.** The paper deals with the concept of suppression of enemy air defence with antiradiation missiles (ARM). ARM performance metrics and parameters are presented and compared. Some Anti-ARM techniques are discussed, i.e. low probability of intercept signal, radar antenna parameters, radar position flexibility, active jamming system for ARM navigation system. Active radar decoy concept is presented as one of Anti-ARM techniques.

**Keywords:** radar system, radar decoy, antiradiation missiles