

doi:10.15199/48.2015.03.18

## Metryka radaru dla potrzeb bazy danych samolotowych systemów samoobrony

**Streszczenie.** Artykuł przedstawia krótką charakterystykę samolotowych systemów samoobrony, w których istotną rolę w wykrywaniu i rozpoznawaniu źródeł promieniowania elektromagnetycznego (głównie radarów) w paśmie częstotliwości od 1 do 18 GHz odgrywają odbiorniki ostrzegawcze o opromieniowaniu radarowym (ang. Radar Warning Receiver - RWR). O jakości systemu samoobrony statku powietrznego (SP) w dużym stopniu decyduje zawartość i aktualność bazy danych radarów, która w istotny sposób wpływa na efektywność procesu klasyfikacji i identyfikacji źródeł zagrożeń. Artykuł zawiera podstawowe zależności matematyczne niezbędne do obliczania metryki radaru dla mierzalnych parametrów sygnału dla potrzeb bazy danych urządzeń RWR. Wyniki obliczeń metryki radaru dla dwóch wybranych parametrów sygnału radarowego przedstawiono w odpowiednich tabelach i na wykresie. Przedstawiono również wyniki rozpoznawania źródeł na podstawie danych symulacyjnych dla różnych wzorców klas.

**Abstract.** The article presents the short characteristic of airplanes self-protection systems in which the main task in detection and recognition of electromagnetic sources (radars, emitters) in frequency band from 1 to 18 GHz play the radar warning receivers (RWRs). The quality of self-protection systems depend on mainly from capacity and timely of data emitter base which in the essential way influences on the process of threats classification and identification. The article contains the basic mathematical formulas indispensability to calculate the radar metric for measured signal parameters for RWR data base needs. The calculation results of radar metric for two example parameters are presented in the tables and on the corresponding figure. The results of emitter recognition on the base of simulation data for different metrics are also presented. (The radar signature for data base needs in airplanes self protection systems)

**Słowa kluczowe:** radarowy odbiornik ostrzegawczy, metryka radaru, baza danych emiterów, rozpoznanie i walka elektroniczna.  
**Keywords:** radar warning receiver, radar metrics, emitter data base, reconnaissance and electronic warfare

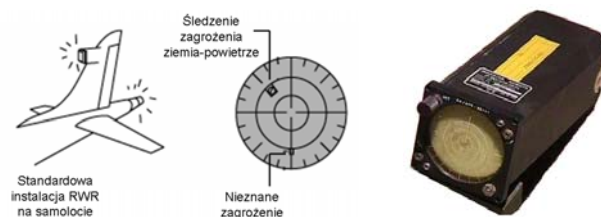
### Wstęp

Walka elektroniczna (ang. *Electronic Warfare - EW*) jest działaniem wykorzystującym energię elektromagnetyczną i energię kierowaną do kontrolowania widma elektromagnetycznego lub do ataku na przeciwnika. Kontrolę widma realizuje się przez ochronę własnych systemów i zwalczanie systemów przeciwnika. Obejmuje następujące obszary działania: wsparcie elektroniczne (*Electronic Support - ES*), atak elektroniczny (*Electronic Attack - EA*) i obronę elektroniczną (*Electronic Protection - EP*) [1].

Wsparcie elektroniczne ukierunkowane jest na poszukiwanie, przechwytywanie, lokalizację i identyfikację źródeł promieniujących energię elektromagnetyczną (w tym również źródeł zakłóceń) w celu ich rozpoznania, oceny zagrożenia i wypracowania danych do przeciwdziałania [4, 6]. Atak elektroniczny ma za zadanie ograniczenie lub sparaliżowanie pracy środków elektronicznych przeciwnika. Realizowany jest poprzez wytwarzanie zakłóceń szumowych i mylących oraz zastosowanie środków ogniowych, jakimi są rakiety samonaprowadzające się na źródło promieniowania. Obrona elektroniczna obejmuje zespół przedsięwzięć zmierzających do zapewnienia właściwej pracy własnych środków elektronicznych w warunkach prowadzenia walki elektronicznej przez przeciwnika.

### 2. Charakterystyka odbiorników rozpoznawczo-ostrzegawczych

Urządzenia rozpoznawczo-ostrzegawcze RWR są podstawowym elementem systemu walki elektronicznej każdego samolotu bojowego i stanowią dla pilota bezpośrednie źródło informacji o zagrożeniach ze strony przeciwnika, (rys.1). Wymaga się od odbioru sygnałów w paśmie od 1 do 18 GHz (opcjonalnie do 40 GHz), możliwości pracy w środowisku elektromagnetycznym o dużej gęstości sygnałów rzędu  $10^6$  impulsów na sekundę, wysokiej dokładności pomiaru parametrów sygnału radarowego, określenia stopnia zagrożenia oraz możliwości geolokacji, pozwalającej na kojarzenie źródeł sygnału ze znanymi miejscami ich lokalizacji lub platformami, na których są zainstalowane.

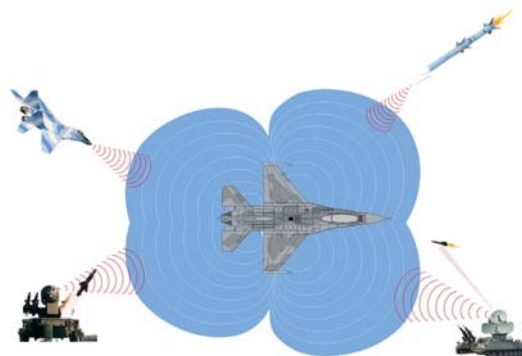


Rys.1. Samolotowy odbiornik rozpoznawczo-ostrzegawczy RWR

Urządzenie to powinno, ze względu na możliwość ataku z dowolnego kierunku, zapewniać strefę obserwacji w azymucie  $360^\circ$  i w elewacji w zakresie:  $\pm(45^\circ \div 60^\circ)$ , (rys.2).

Aby zapewnić załodze samolotu możliwie największą ilość informacji o ewentualnych zagrożeniach urządzenia RWR powinny zapewnić efektywne wykrywanie i rozpoznanie całego zakresu sygnałów emitowanych przez systemy wykrywania i naprowadzania przeciwnika, (rys.3).

Dzięki temu, że urządzenie RWR odbiera sygnały bezpośrednio, stąd też jego zasięg wykrywania może znacznie przekraczać zasięg opromieniowujących je radarów, posiadając podobną lub też mniejszą od nich czułość [2, 3].



Rys.2. Strefa obserwacji pokładowego urządzenia rozpoznawczo-ostrzegawczego

Przyjmuje się, że dla RWR wystarczający jest następujący zasięg wykrycia:

$$(1) \quad D_0 = (1,25 \div 1,5) D_S$$

gdzie  $D_S$  oznacza maksymalny zasięg radaru.

Głównym składnikiem urządzeń RWR, gwarantem skuteczności ich działania, jest aktualna baza danych (BD) źródeł promieniowania elektromagnetycznego (radarów, emiterów) [2, 5]. Wpływa ona istotnie na efektywność procesu klasyfikacji i identyfikacji zagrożeń. Główną informacją uzyskiwaną z BD, z punktu widzenia użytkownika, jest *informacja o zagrożeniu* jakie niesie ze sobą wykryty sygnał.

Najnowsze rozwiązania stosowane w systemach samoobrony, np. ALR-300, ALR-400 i AN/ALQ-211, charakteryzują się wysokim stopniem zintegrowania urządzeń składowych, zapewniają ochronę przed szerokim wachlarzem zagrożeń oraz umożliwiają [2, 3]:

- wykrywanie, sygnalizację dźwiękową i wizualizację na wskaźniku samolotu faktu opromieniowania przez radar;
- rozpoznawanie i identyfikację radarów według stopnia zagrożenia, rys.3;
- w trybie automatycznym sterowanie urządzeniem ALE-47, zapewniającym kontrolowany wyrzut flar i dipoli, które mają za zadanie zmylenie systemów radarowych i uzbrojenia przeciwnika;
- zapisywanie danych nieznanymi emiterów w celu ich późniejszej analizy (do 1000 emiterów – w ciągu rejsu).

W BD tych urządzeń zapisywane są następujące informacje o emiterach (radarach):

- nazwa emitera / systemu uzbrojenia;
- funkcja emitera: kontrola obszaru powietrznego, wstępne poszukiwanie celu, śledzenie celu, naprowadzanie rakiet;
- częstotliwość nośna pracy (RF).
- rodzaj okresu powtarzania impulsów (PRI): ciąg stały, przemienny posiadający od 2 do 8 wartości, fluktuujący ciągły, fala ciągła, fala ciągła modulowana,
- szerokość impulsu;
- rodzaj skanowania anteny: dookólne, sektorowe, rastrowe, stożkowe, śrubowe;
- amplituda sygnału.

Dane o radarach są przedstawiane operatorowi przy pomocy symboli alfanumerycznych na monitorze o wysokiej jaskrawości. Pozycja symboli na monitorze wskazuje poziom zagrożenia i zamiar na wykryty sygnał, jak również identyfikację radaru, (rys. 3), [3].



Rys.3. Zobrazowanie informacji rozpoznawczej na monitorze RWR

Struktura metryki radarów w BD urządzeń samoobrony SP jest ściśle dopasowana do metod i dokładności pomiarowych. Rekord danych o radarze (emiterze) zawiera:

- numer identyfikacyjny emitera;
- typ emitera/klasyfikacja;
- stopień zagrożenia (relatywny priorytet);
- rodzaj pracy: poszukiwanie, zbieranie, śledzenie, blokowanie, oświetlanie/ostrzelanie;

- kąt przybycia sygnału;
- częstotliwość emitera (minimalna, maksymalna, średnia);
- szerokość impulsu (minimalna, maksymalna, średnia);
- okres powtarzania impulsów (minimalna, maksymalna, średnia);
- rodzaj okresu powtarzania impulsów;
- amplituda;
- okres obrotów anteny;
- geolokalizacja/lokalizacja;
- błąd elipsy lokalizacji emitera (oś większa i mniejsza);
- dane emitera skorelowane z systemem uzbrojenia.

Urządzenia RWR dzięki dużemu postępowi w dziedzinie elektroniki przeszły przez szereg modyfikacji i osiągają obecnie poziom, który dotąd był uzyskiwany jedynie w systemach rozpoznania elektronicznego ELINT. W rozwiązaniach szczególnie krajów zachodnioeuropejskich wszystkie wykryte emisje podlegają rejestracji, które mogą być szczegółowo analizowane po zakończeniu lotu SP.

Tabela 1. Porównanie parametrów kilku systemów samoobrony instalowanych statkach powietrznych

Nazwa RWR	Częstotliwość	Dokładność namiarów	Rodzaje sygnału	Anteny
AN/ALR-300	0,5 - 18 GHz	$\leq 12^\circ$	Ciągłe, impulsowe	Jednobiegunowa (monopolowa)/spiralna
EW9-99	2 - 40 GHz 0,5 - 2 GHz		Ciągłe, impulsowe impulsowo-dopplerowskie	spiralna
AN/ALQ-211	0,5 - 20 GHz	$\leq 8^\circ$ dla 2-20 GHz; $\leq 15^\circ$ dla 0,5-2 GHz	Ciągłe, impulsowe, impulsowo-dopplerowskie	4 anteny odbiorcze, antena pletwowa z przedwzmacniaczem

Ze zrozumiałych względów dane taktyczno-techniczne urządzeń samoobrony instalowanych na różnych platformach samolotowych są bardzo skąpe. Podstawowe informacje dla kilku z nich przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Podstawowe parametry wybranych radiolokacyjnych urządzeń ostrzegawczo - rozpoznawczych

Typ urządzenia	Sektor obserwacji azymut / elewacja [°]	Zakres częstotliwości [GHz]	Dokładność pomiaru azymutu [°]	Liczba wzorców radarów w bazie danych	
SPO-15LM	360°	-	4,4 - 10,3	$\pm 10$	6
AN/ALR-69	360°	-	2 - 40	$\pm 5$	-
RWS-50	360°	$\pm 45^\circ$	0,1 - 40	$\pm 7$	>1000
Griffin	360°	$\pm 35^\circ$	2 - 18	$\pm 8$	-
AR-961	360°	-	2 - 18	$\pm 7$ lub $\pm 3,5$	-

### Metoda rozpoznawania radarów

Ogólnie rozpoznawanie źródeł zagrożeń (emiterów, radarów) polega na przyporządkowaniu odebranego w RWR sygnału odpowiedniej klasie  $\alpha_j$ , ( $j$  - numer klasy) reprezentującej dany emiter w BD. W praktyce nie jest możliwe posiadanie wystarczającej informacji pozwalającej na opis klas w pełni zgodny z rzeczywistością. Możliwe jest tylko określenie bardziej lub mniej dokładnych odpowiedników tych klas, zwanych **metrykami**, **sygnaturami** lub **wzorcami klas** [5, 6]. Z powodu występowania błędów pomiarowych, zakłóceń losowych w kanale propagacji oraz niestabilności samych parametrów, uzyskiwane wielkości pomiarowe mają charakter losowy.

W wyniku przeprowadzonych pomiarów uzyskuje się wektor pomiarowy  $\mathbf{x}$  o  $N$  składowych, reprezentujących poszczególne parametry sygnału radarowego, gdzie:  $\mathbf{x}_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN}]^T$  -  $i$ -ty wektor pomiarowy,  $x_{ik}$  - wartość  $k$ -tej składowej  $i$ -tego wektora pomiarowego, ( $i = 1, 2, \dots, M$ ,  $k = 1, 2, \dots, N$ ),  $M$  - liczba wektorów pomiarowych,  $N$  - liczba parametrów sygnału.

W wyniku wielokrotnych pomiarów sygnałów radarowych od tego samego źródła emisji otrzymamy zbiór wektorów pomiarowych, na którego podstawie można utworzyć w prosty sposób wzorzec  $j$ -tej klasy  $W_j$ , który składa się z wartości średnich oraz odchyłeń standardowych:

$$(2) \quad W_j = \left\langle \left( \bar{x}_{j1}, \sigma_{j1} \right), \dots, \left( \bar{x}_{jN}, \sigma_{jN} \right) \right\rangle, \quad j = \overline{1, L}$$

$$\text{gdzie: } \bar{x}_{jk} = \frac{1}{n^{(j)}} \sum_{i=1}^{n^{(j)}} x_{ik}^{(j)} \quad - \text{wartość średnia } k\text{-tego}$$

parametru  $j$ -tej klasy,  $\sigma_{jk}$  - odchylenie standardowe  $k$ -tego  $j$ -tej klasy,  $x_{ik}^{(j)}$  - wartość  $k$ -tego parametru  $j$ -tej klasy w  $i$ -tym pomiarze dla  $j$ -tej klasy,  $n^{(j)}$  - liczba pomiarów parametrów sygnału dla  $j$ -tej klasy,  $L$  - liczba klas.

Metoda ta polega na określeniu stałych rozmiarów wzorców klas emiterów, zadawanych tzw. bramkami decyzyjnymi [5]. W przypadku posiadania wystarczającej liczby pomiarów, szerokość bramki decyzyjnej dla każdego parametru sygnału radarowego ustalana jest zwykle jako **podwójna** lub **potrójna wartość odchylenia standardowego**, natomiast środek bramki jest wyznaczany przez wartość przeciętną dla tego zbioru.

$$(3) \quad W_j = \left\langle \left( \bar{x}_{j1}, \pm r\sigma_{j1} \right), \dots, \left( \bar{x}_{jN}, \pm r\sigma_{jN} \right) \right\rangle, \quad j = \overline{1, L}$$

gdzie  $r$  przyjmuje wartość 2, 2,5 lub 3.

Takie - w zasadzie deterministyczne - podejście do problemu tworzenia wzorców klas (metryki radarów) nie pozwala na regulację szerokości bramki decyzyjnej, z czym ściśle związane jest prawdopodobieństwo poprawnej klasyfikacji.

Stosując podejście statystyczne granice bramki decyzyjnej (wzorca parametru radaru) wyznacza się metodą estymacji przedziałowej dla poziomu istotności  $\alpha$ . Najczęściej za  $\alpha$  przyjmuje się wartości: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1. Zakłada się tutaj, że nieznaną parametr  $X$  ma rozkład normalny  $N(m, \sigma)$ , gdzie odchylenie standardowe  $\sigma$  jest znane lub jest obliczane na podstawie próby pomiarowej o liczności  $n$  [5].

Przedział ufności dla wartości oczekiwanej, w tym przypadku dla wartości średniej  $k$ -tego parametru sygnału, obliczamy z następującej zależności

$$(4) \quad \left\langle \bar{x}_k - \frac{x_\alpha \sigma_k}{\sqrt{n}}; \bar{x}_k + \frac{x_\alpha \sigma_k}{\sqrt{n}} \right\rangle$$

gdzie wartość  $x_\alpha$  odczytujemy z tablic rozkładu normalnego  $N(0, 1)$  dla zadanego poziomu istotności  $\alpha$ .

W podobny sposób dokonuje się estymacji wariancji  $\sigma_k^2$ . Wykorzystuje się tutaj następującą statystykę

$$(5) \quad S_k^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)^2$$

która ma rozkład chi-kwadrat o  $(n-1)$  stopniach swobody.

W celu wyznaczenia przedziału ufności parametru  $\sigma_k^2$  przyjmuje się założenie, że

$$(6) \quad P \left\{ \frac{nS_k^2}{\sigma_k^2} \leq C_1 \right\} = P \left\{ \frac{nS_k^2}{\sigma_k^2} > C_2 \right\} = \alpha/2$$

które pozwala wyznaczyć wartości  $C_1, C_2$  z tablic chi-kwadrat ( $\chi^2$ ) dla  $n-1$  stopni swobody.

Stąd przedział ufności parametru  $\sigma_k^2$  ma postać

$$(7) \quad \left\langle nS_k^2 / C_2, nS_k^2 / C_1 \right\rangle$$

Dla parametrów ciągłych wzorzec  $W_j$  dla  $j$ -tej klasy można utworzyć z przedziałów ufności poszczególnych parametrów sygnału. Tak utworzony wzorzec jest prostopadłościem (hiperprostopadłościem) w  $N$ -wymiarowej przestrzeni pomiarowej. Jego objętość zależy od przyjętego do obliczeń poziomu istotności  $\alpha$ .

Ostatecznie wzorce klas w przestrzeni  $N$ -wymiarowej dla poszczególnych parametrów  $k$ , gdzie  $k=1, 2, \dots, N$ , wyznacza się z następującej zależności:

$$(8) \quad \left\langle \bar{x}_k - \frac{u_\alpha \sigma_k}{\sqrt{n}} - \sqrt{\frac{nS_k^2}{C_i}}; \bar{x}_k + \frac{u_\alpha \sigma_k}{\sqrt{n}} + \sqrt{\frac{nS_k^2}{C_i}} \right\rangle, \quad i = 1, 2$$

Podstawą zakwalifikowania wektora pomiarowego  $\mathbf{x}_i$  do danej klasy  $\omega_j$  ze zbioru  $L$  klas jest zawieranie się wszystkich składowych tego wektora w przedziałach wartości parametrów ustalonych dla danej klasy, co można zapisać w postaci:

$$(9) \quad \mathbf{x}_i \in \omega_j \Leftrightarrow \bigwedge_k x_k^{(j) \min} \leq x_{ik} \leq x_k^{(j) \max}$$

gdzie:  $x_k^{(j) \min}$  - dolna granica przedziału wartości  $k$ -tego parametru  $j$ -tej klasy,  $x_k^{(j) \max}$  - górna granica przedziału wartości  $k$ -tego parametru  $j$ -tej klasy.

Do najczęściej stosowanych metod w rozpoznawaniu obrazów zalicza się metody oparte na miarach odległościowych wyników pomiarów od wzorców klas. Często również rolę sygnałów wzorcowych reprezentujących poszczególne klasy spełniają tzw. sygnały uśrednione, którymi są wartości średnie poszczególnych parametrów danego radaru

$$(10) \quad W_j \Leftrightarrow \bar{\mathbf{x}}_j = (\bar{x}_{j1}, \bar{x}_{j2}, \dots, \bar{x}_{jN})^T, \quad j = 1, 2, \dots, L$$

Odległość euklidesową pomiędzy dowolnym wektorem pomiarowym (sygnałem)  $\mathbf{x}_i$  a wzorcem  $j$ -tej klasy  $\bar{\mathbf{x}}_j$  określa się następującą zależnością

$$(11) \quad d_1(\mathbf{x}_i, \bar{\mathbf{x}}_j) = \|\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}_j\| = \sqrt{(\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}_j)^T (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}_j)}$$

Klasyfikator minimalno-odległościowy zalicza sygnał  $\mathbf{x}_i$  do  $l$ -tej klasy wtedy i tylko wtedy, gdy

$$(12) \quad d_1(\mathbf{x}_i, \bar{\mathbf{x}}_j) = \min_{j=1, 2, \dots, L} d(\mathbf{x}_i, \bar{\mathbf{x}}_j)$$

Jeśli powyższy warunek jest spełniony dla kilku klas, to klasyfikator zalicza sygnał do dowolnej (lub wszystkich) z tych klas.

## Wyniki obliczeń

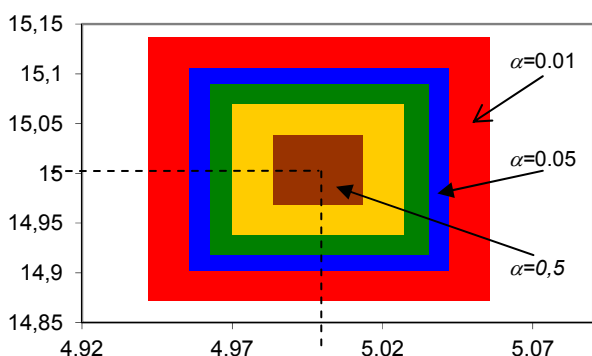
Na podstawie 100 pomiarów dwóch parametrów sygnałów radarowego czasu trwania impulsów  $x_1$  i okresu powtarzania impulsów  $x_2$  otrzymano następujące wartości średnie i odchylenia standardowe:

$$\bar{x}_1 = 5 \mu s, \quad \sigma_1 = 0,2 \mu s; \quad \bar{x}_2 = 15 ms, \quad \sigma_2 = 0,3 ms.$$

Dla obydwu parametrów i kilku wybranych wartości poziomów istotności  $\alpha$  przedziały ufności (wzorce klas) zostały przedstawione w tabeli 3 i na rysunku 4.

Tabela 3. Przedziały ufności wartości średnich dla różnych poziomów istotności  $\alpha$

$\alpha$	$U_\alpha$	$x_1$	$x_2$
0,01	2,576	$\langle 4,948; 5,051 \rangle$	$\langle 14,923; 15,077 \rangle$
0,05	1,96	$\langle 4,961; 5,039 \rangle$	$\langle 14,941; 15,059 \rangle$
0,1	1,645	$\langle 4,967; 5,033 \rangle$	$\langle 14,951; 15,049 \rangle$
0,2	1,281	$\langle 4,974; 5,026 \rangle$	$\langle 14,962; 15,038 \rangle$
0,5	0,674	$\langle 4,986; 5,013 \rangle$	$\langle 14,980; 15,020 \rangle$



Rys.4. Przedziały ufności wartości średnich dla różnych wartości  $\alpha$

Przedział ufności parametru  $\sigma_k$  przy obliczonych wartościach wielkości  $C_1$  i  $C_2$  wyznacza się z zależności (8). W tabeli 4 znajdują się obliczone przedziały ufności odchyłeń standardowych dla różnych wartości  $\alpha$ .

Tabela 4. Przedziały ufności dla odchyłeń standardowych dla różnych wartości  $\alpha$

$\alpha$	$C_1$	$C_2$	$x_1$	$x_2$
0,01	66,51	138,98	$\langle 0,245; 0,170 \rangle$	$\langle 0,368; 0,254 \rangle$
0,05	73,36	128,42	$\langle 0,234; 0,177 \rangle$	$\langle 0,350; 0,265 \rangle$
0,1	77,05	123,20	$\langle 0,228; 0,180 \rangle$	$\langle 0,342; 0,270 \rangle$
0,2	81,45	117,41	$\langle 0,222; 0,185 \rangle$	$\langle 0,332; 0,277 \rangle$
0,5	89,18	108,09	$\langle 0,212; 0,192 \rangle$	$\langle 0,318; 0,289 \rangle$

Tabela 5. Przedziałowe wzorce klas dla różnych wartości  $\alpha$

$\alpha$	$C_1, x_1$	$C_2, x_1$	$C_1, x_2$	$C_2, x_2$
0,01	$\langle 4,70324; 5,29675 \rangle$	$\langle 4,77883; 5,22117 \rangle$	$\langle 14,5548; 15,4451 \rangle$	$\langle 14,6682; 15,3317 \rangle$
0,05	$\langle 4,72729; 5,27270 \rangle$	$\langle 4,78431; 5,21568 \rangle$	$\langle 14,5909; 15,4090 \rangle$	$\langle 14,6764; 15,3235 \rangle$
0,1	$\langle 4,73925; 5,26074 \rangle$	$\langle 4,78692; 5,21307 \rangle$	$\langle 14,6088; 15,3911 \rangle$	$\langle 14,6803; 15,3196 \rangle$
0,2	$\langle 4,75277; 5,24722 \rangle$	$\langle 4,78980; 5,21019 \rangle$	$\langle 14,6291; 15,3708 \rangle$	$\langle 14,6847; 15,3153 \rangle$
0,5	$\langle 4,77473; 5,22526 \rangle$	$\langle 4,79415; 5,20585 \rangle$	$\langle 14,6621; 15,3379 \rangle$	$\langle 14,6912; 15,3087 \rangle$

Z wyznaczonych w ten sposób przedziałów ufności dla wartości średnich i odchyłeń standardowych można wyznaczyć dwa rodzaje wzorców klas. Wzorce te są zbudowane z przedziałów ufności dla wartości średniej i z

dolnej ( $C_1$ ) lub z górnej ( $C_2$ ) granicy przedziałów ufności dla odchyłeń standardowych (tab. 5).

Poniżej w tabeli 6 przedstawiono wyniki badań jakości algorytmu rozpoznania sygnałów radarowych pochodzących z dziesięciu klas o pięciu parametrach.

Wzorce klas zbudowane zostały w oparciu o następujące wektory pomiarowe:

- liczba klas  $L=10$ ,
  - liczba parametrów  $N=5$ ,
  - odchylenie standardowe parametrów w klasach  $\sigma=0,2$ ,
  - liczba realizacji dla każdej z klas  $n=100$ .
- Zbudowane zostały 3 rodzaje wzorców klas:
- wzorec statystyczny,
  - wzorec przedziałowy estymowany I, (wzór (8) dla  $C_1$ );
  - wzorec przedziałowy estymowany II, (wzór (8) dla  $C_2$ ).

Oceny jakości algorytmu rozpoznawania sygnałów dla różnych rodzajów wzorców klas przeprowadzono dla próbek o różnych wartościach odchylenia standardowego. Dla każdego przypadku wygenerowanych zostało po tysiąc elementów próby dla każdej z klas.

Tabela 6. Wyniki klasyfikacji dla różnych rodzajów wzorca klas

Rodzaj wzorca		$\sigma=0,2$	$\sigma=0,3$	$\sigma=0,4$
Statystyczny		0.986	0.791	0.50
Przedziałowy estymowany I	$\alpha=0,01$	1	0.958	0.783
	$\alpha=0,05$	0.9997	0.933	0.721
Przedziałowy estymowany II	$\alpha=0,01$	0.978	0.727	0.427
	$\alpha=0,05$	0.996	0.742	0.441

Z otrzymanych wyników obliczeń widać, że znacznie wyższe prawdopodobieństwo poprawnej klasyfikacji uzyskuje się dla wzorców klas utworzonych z przedziałów ufności w porównaniu z wzorcami klas utworzonymi na podstawie wartości średniej i 3-krotnej wielokrotności odchyłeń standardowych.

## Podsumowanie

Systemy samoobrony na statkach powietrznych ciągle się rozwijają, idąc w stronę w pełni zintegrowanych i zautomatyzowanych systemów rozpoznania i walki elektronicznej. Odpowiednio dostosowana i wiarygodna baza danych o źródłach zagrożeń zapewnia większe bezpieczeństwo załodze statków powietrznych. Podstawowym problemem, pojawiającym się w trakcie tworzenia bazy danych jest podjęcie decyzji związanej z doбором informacji, którą będziemy w niej przechowywać oraz jej skojarzenie z określonymi radarami i/lub z ich platformami.

## LITERATURA

- [1] Adamy D.L., *EW 102 A Second Course in Electronic Warfare*, Artech House, Boston, London, 2004.
- [2] *AIDEWS - Advanced Integrated Defensive Electronic Warfare Suite*. Materiały firmowe ITT Industries.
- [3] *AN/ALQ-211 Suite of Integrated RF Countermeasures (SIRFC)*. Materiały firmowe ITT Industries.
- [4] Dudczyk J., Kawalec A., *Identification of emitter sources in the aspect of their fractal features*, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences* 61 (3), 623-628, 2012.
- [5] Matuszewski J., *Metryka radaru w bazie danych systemu rozpoznania elektronicznego*, *Biuletyn WAT*, vol. LXI, 61 (2012), nr 2, 137-152, ISSN 0366-4988.
- [6] Matuszewski J., *The Specific Radar Signature in Electronic Recognition System*. *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr 7, Warszawa, str. 236-239, ISSN 0033-2097.

**Autor:** dr inż. Jan Matuszewski, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Radioelektroniki, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [jmatuszewski@wat.edu.pl](mailto:jmatuszewski@wat.edu.pl)