

KONCEPCJA POPRAWY EFEKTYWNOŚCI ZAKŁÓCEŃ NA PODSTAWIE SPOSTRZEŻEŃ I TESTÓW WYBRANYCH URZĄDZEŃ WE

**Paweł KANIEWSKI, Robert MATYSZKIEL, Adam WORONOWICZ,
Bogusław GROCHOWINA, Jarosław MILEWSKI**

Zakład Radiokomunikacji i Walki Elektronicznej
Wojskowy Instytut Łączności
05-130 Zegrze, ul. Warszawska 22 A

Streszczenie

Współczesne, zautomatyzowane systemy walki elektronicznej (WE) oferują szereg możliwości, jednym z nich jest efektywne zakłócanie wybranych środków radiowych. Czynniki wpływające na efektywność zakłócania można podzielić na dwie grupy, organizacyjne (efektywne rozmieszczenie elementów zakłócających w terenie), oraz techniczne (wybór efektywnych algorytmów pracy systemu zakłócającego oraz odpowiednich urządzeń).

Ważnym zagadnieniem w planowaniu rozmieszczenia stacji zakłóceń jest uwzględnienie profilu terenu w celu określenia zasięgu zakłóceniewego wyznaczającego maksymalną odległość pomiędzy stacją emitującą sygnał zakłócający a stacją zakłócaną. Radiostacja przeciwnika może zostać efektywnie zakłócona jeśli poziom mocy sygnału pochodzącego od stacji zakłóceń jest co najmniej równy poziomowi sygnału pochodzącego od korespondenta radiostacji zakłócanej. Czynniki techniczne mające wpływ na efektywność zakłócania to wybór odpowiedniego algorytmu zakłócania np. wprowadzenie ciągłej, wielopoziomowej weryfikacji efektywności zakłócania poprzez permanentny nasłuch przez wszystkie elementy systemu WE wyposażone w szerokopasmowe odbiorniki, w tym również przez stacje zakłóceń, automatyczny wybór sposobu zakłócania i rodzaju sygnału zakłócającego uzależnionego od przeprowadzonej analizy technicznej odebranego sygnału.

W artykule przedstawiona zostanie metoda poprawiająca efektywność zakłócania.

1 WPROWADZENIE

Efektywność jest pojęciem interdyscyplinarnym, występującym w wielu dziedzinach działalności ludzkiej. Efektywnie można wykorzystywać np. zasoby finansowe, naturalne, ludzkie lub też potencjalne możliwości systemów i urządzeń. Przeciwnością efektywności jest niepełne wykorzystanie istniejących możliwości, potencjału itp. Efektywność można oceniać na podstawie wskaźników i miar odpowiednich dla zjawiska, którego efektywność jest oceniana. Na podstawie uzyskanych pomiarów można poprawiać efektywność drogą modyfikacji czynników ją warunkujących.

Od systemów WE wymaga się by były w najwyższym stopniu efektywne, gdyż jak wykazały działania wojenne ostatnich lat, walka elektroniczna stała się aktualnie działaniem bojowym o istotnym znaczeniu dla przebiegu pozostałych rodzajów działań.

W niniejszym artykule przedstawiono zagadnienie kształtowania efektywności podsystemu zakłócającego systemu WE. Rozpatrzono mechanizm kontroli emisji radiowych i wyzwania zakłóceń oraz algorytm zakłócania sieci radiowej. Artykuł zakończono wnioskami.

2 OCENA EFEKTYWNOŚCI ZAKŁÓCANIA

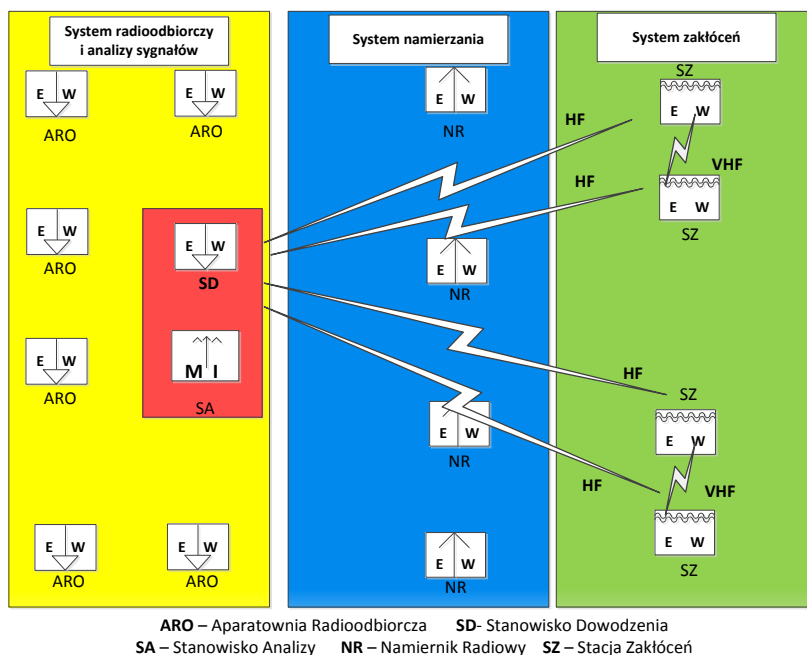
W skład Zautomatyzowanego Systemu Walki Elektronicznej (ZSWE) wchodzi następujące podsystemy: dowodzenia, analizy operacyjnej i technicznej, nasłuchu, namierzania oraz zakłócania (Rysunek 1). Zadaniem systemu WE jest rozpoznanie, przechwytywanie, namierzanie, lokalizacja oraz zakłócanie emisji radiowych. Skoordynowana praca

elementów systemu WE osiągnięta jest na drodze zautomatyzowanej wymiany komend i meldunków z wykorzystaniem odpowiednich relacji łączności.

Funkcjonowanie systemu WE wymaga wymiany informacji w kilku zasadniczych relacjach, które wynikają bezpośrednio z przyjmowanych zasad pracy tych podsystemów. Zazwyczaj po wykryciu źródeł emisji i przekazaniu informacji o tym fakcie do podsystemu dowodzenia, pracę rozpoczyna podsystem analizy operacyjnej i technicznej oraz podsystem namierzania źródeł emisji. Na podstawie informacji zwrotnych o namierzonym źródle emisji i danych z analizy techniczno - operacyjnej wypracowana zostaje decyzja i rozkaz ewentualnego zakłócenia. Decyzja ta zostaje przesłana do elementu wykonawczego, tj. do podsystemu zakłócenia, w skład którego wchodzi stacje zakłócające.

Podstawowym sposobem wykonywania zadań przez podsystem zakłócenia jest praca automatyczna prowadzona w sposób zdalny z podsystemu dowodzenia. Zwiększa się w ten sposób efektywność wykorzystania systemu WE w wyniku ograniczenia czasu przetwarzania komend w stacjach zakłócających (likwidacja czynnika osobowego). Stacje zakłóceń po dokonaniu zakłócenia składają meldunki o ich przebiegu. Meldunki mogą zawierać tylko informację o samym fakcie realizacji zakłócenia lub dodatkowo lokalną ocenę efektywności prowadzonych zakłóceń [1]. Osoba funkcyjna nadzorująca podsystem zakłócenia, na podstawie lokalnej oceny efektywności, może podjąć decyzję o kolejnym zakłócaniu lub wykorzystać w procesie decyzyjnym systemowy, bardziej wiarygodny mechanizm oceny efektywności zakłócenia.

Aby w podsystemie dowodzenia możliwe było dokonywanie oceny efektywności realizowanego zakłócenia, niezbędna jest zdolność do prowadzenia analizy polegającej na kojarzeniu wydanych rozkazów zakłócenia z nowo wykrytymi emisjami radiowymi, celem ustalenia czy aktualnie rozpoznana emisja jest wznowieniem pracy po zakłócaniu. Jest to cecha własna podsystemu dowodzenia i nie powoduje zwiększenia obciążenia zadaniami podsystemu wykrywania i namierzania emisji.



Rysunek 1 Przykładowa architektura systemu WE

Przedstawiony poniżej algorytm umożliwia wypracowanie w sposób dynamiczny decyzji do zakłócania na podstawie zdefiniowanych kryteriów i danych z analizy operacyjno-technicznej. Jego charakterystyczną cechą jest implementacja procesu szacowania efektywności planowanych zakłóceń oraz możliwość uzyskania oceny zakłóceń zrealizowanych.

Etap 1 – Opracowanie wymaganych danych wejściowych:

1. W celu obliczenia możliwości prowadzenia zakłóceń niezbędne jest posiadanie informacji o własnych stacjach zakłócających. Istotna jest lokalizacja wszystkich stacji oraz ich parametry techniczne określające zdolność do prowadzenia emisji radiowych. Poza parametrami charakteryzującymi wzбудnik, odpowiadający za generację wymaganych sygnałów w.cz., istotne są parametry wzmacniacza mocy oraz charakterystyki wykorzystywanych systemów antenowych.

W kroku tym rezultatem są wymienione wyżej dane opisujące własne stacje zakłócające.

2. Na początku niezbędne jest uzyskanie i wprowadzenie do systemu WE danych pochodzących z oceny operacyjnej. Ocena taka realizowana jest w podsystemie dowodzenia przez wyspecjalizowane komórki organizacyjne..

W kroku tym uzyskuje się informacje taktyczne o przeciwniku. Identyfikowane są stanowiska dowodzenia, węzły łączności i inne obiekty mające znaczenie dla systemu WE.

3. Rezultatem działania podsystemu namierzania wchodzącego w skład systemu WE są dane związane z lokalizacją wykrytych elementów nadawczych przeciwnika.

W kroku tym uzyskuje się informacje o lokalizacji obiektów przewidzianych do zakłócenia oraz pozostałych radiostacji przeciwnika.

4. Analiza charakteru pracy poszczególnych środków radiowych (głównie czas i okres nadawania) pozwalają wyodrębnić sieci radiowe przeciwnika oraz wskazać radiostacje główne.

W kroku tym identyfikuje się radiostację główną oraz określa strukturę sieci radiowej przeciwnika.

5. W kolejnym kroku dokonywana jest analiza techniczna zidentyfikowanych nadajników. W rezultacie znany jest rodzaj wykorzystywanej modulacji, tryb pracy oraz charakterystyka nadajników (moc z jaką emitują sygnał).

W kroku tym system WE uzyskuje precyzyjne informacje na temat parametrów nadajników zakłócanych radiostacji.

6. Założeniem, które przyjmuje się na wstępie jest współmiejscowa lokalizacja wykrytego nadajnika i odbiornika (pojedynczy środek nadawczo-odbiorczy).

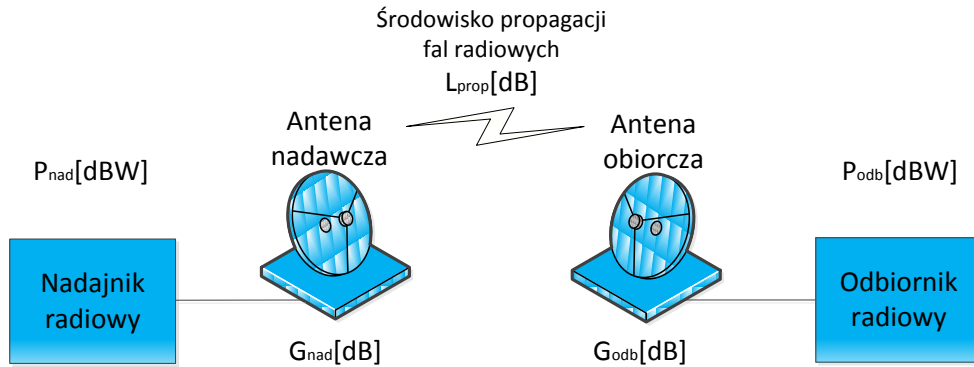
Etap 2 – Obliczanie bilansu energetycznego:

1. W kolejnym kroku dla każdej rozpoznanej relacji radiowej wyznaczany jest bilans energetyczny łącza radiowego, dokonywany w oparciu o analizę: strony nadawczej, tłumienia w kanale radiowym i strony odbiorczej.

Moc sygnału odbieranego na wejściu odbiornika zależy od mocy sygnału nadawanego, zysku anten nadawczej i odbiorczej oraz poziomu tłumienia fali radiowej w środowisku propagacyjnym.

$$P_{\text{odb}}[\text{dBW}] = P_{\text{nad}}[\text{dBW}] + G_{\text{nad}}[\text{dB}] - L_{\text{prop}}[\text{dB}] + G_{\text{odb}}[\text{dB}]$$

- $P_{\text{odb}}[\text{dBW}]$ - moc sygnału odbieranego na wyjściu anteny odbiorczej, wyrażona przykładowo względem jednego wata;
- $P_{\text{nad}}[\text{dBW}]$ - moc sygnału nadawanego na wejściu anteny nadawczej, wyrażona również względem jednego wata;
- $G_{\text{nad}}[\text{dB}]$ - zysk anteny nadawczej;
- $G_{\text{odb}}[\text{dB}]$ - zysk anteny odbiorczej;
- $L_{\text{prop}}[\text{dB}]$ - tłumieni fali radiowej w środowisku propagacyjnym.

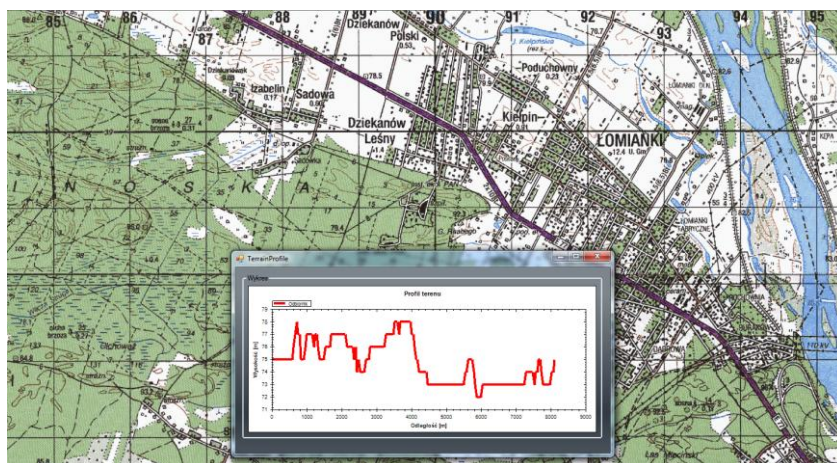


Rysunek 2 Układ blokowy łącza radiowego

Jak wynika ze wzoru znaczący wpływ na poziom mocy sygnału odbieranego przez odbiornika ma środowisko propagacji fal radiowych. Ziemskie podłoże propagacyjne jest bardzo urozmaicone pod względem właściwości elektromagnetycznych. Parametr L_{prop} uzależniony jest od wielu czynników, między innymi:

- czynniki klimatyczne (opady deszczu, mgła, chmury);
- refrakcja;
- dyfrakcja;
- ukształtowanie terenu;

Analiza terenu możliwa jest dzięki zastosowaniu numerycznego modelowania terenu *DTED*. Jest to ujednolicona tablica wartości elewacji terenu, która zapewnia dane ilościowe dla systemów oraz aplikacji, które wykorzystują ukształtowanie oraz nachylenie terenu. Przykładowy przekrój terenu uzyskany na podstawie danych pozyskanych z *DTED* przedstawia Rysunek 3.



Rysunek 3 Profil terenu

W kroku tym uzyskiwane są bilanse energetyczne łączy radiowych pomiędzy radiostacjami przewidzianymi do zakłócenia.

2. Po dokonaniu obliczeń bilansu energetycznego wskazanych relacji radiowych, należy wyznaczyć bilans energetyczny między poszczególnymi radiostacjami przeciwnika, a własnymi stacjami zakłóceń.

Etap 3 – Obliczanie stosunków mocy sygnałów

1. Na etapie tym dla każdej stacji zakłócającej w miejscu poszczególnych radiostacji przeciwnika wyznaczany jest stosunek mocy sygnału pochodzącego od stacji zakłócającej do mocy sygnału wykrytego (mocy pochodzącej od radiostacji przeciwnika).
2. W kolejnym kroku wyznacza się analogiczne stosunki mocy sygnałów pochodzących od grupy stacji zakłócających do sygnału wykrytego .
Do realizacji zakłóceń należy wykorzystać tę stację (lub ich grupę), dla której obliczony stosunek mocy ma wartość największą. Jeżeli wykorzystanie wszystkich stacji zakłóceń nie pozwala spełnić wymaganego warunku, osoba kierująca podsystemem zakłóceń powinna liczyć się z brakiem możliwości zakłócenia radiostacji przeciwnika w aktualnej sytuacji taktycznej.

Etap 4 – Obliczanie efektywności zakłócenia

Na etapie tym dokonuje się oszacowania możliwości efektywnego zakłócenia poszczególnych środków radiowych przeciwnika.

Znając wyniki analiz i obliczeń wykonanych we wcześniejszych etapach oraz wykorzystując model propagacji fal radiowych (w celu weryfikacji poziomu sygnału docierającego do radiostacji przeciwnika), można w sposób precyzyjny ocenić, czy i którą stację zakłóceń należy wykorzystać do obezwładnienia środka radiowego przeciwnika.

Obezwładnienie sieci radiowej można uznać za skuteczne, jeżeli mechanizm szacowania efektywności zakłóceń wskaże, że ponad 50% korespondentów jest obezwładnionych. Wartość ta może być mniejsza, jeżeli wśród radiostacji obezwładnionych znajdować się będzie radiostacja główna.

Obezwładnienie poszczególnych środków radiowych przeciwnika będzie można uznać za skuteczne, jeżeli analiza techniczna (prowadzona na bieżąco w systemie WE) wskaże na łączność jednokierunkową lub brak łączności.

Etap 5 – generacja rozkazu do zakłócania

Na podstawie rezultatów uzyskanych w poprzednich etapach, w Wozie Dowodzenia Walką Elektroniczną generowany jest rozkaz uruchomienia zakłóceń. Rozkaz może obejmować dowolną z posiadanych stacji lub ich grupę.

Rezultatem jest generacja odpowiednich zakłóceń przez wyselekcjonowane stacje zakłóceń.

3 FUNKCJONOWANIE MECHANIZMU OCENY EFEKTYWNOŚCI ZAKŁÓCANIA

W celu optymalizacji wykorzystania podsystemu zakłócającego, w Zautomatyzowanym Systemie Walki Elektronicznej (ZSWE) należy dokonywać analizy efektywności pracy stacji zakłócających. Analiza powinna obejmować ocenę możliwości skutecznego zakłócania oraz ocenę rezultatów prowadzonych zakłóceń i byłaby wykonywana w Wozie Dowodzenia

Walką Elektroniczną w ramach procesu decyzyjnego pozwalającego na wypracowanie rozkazu do zakłócania oraz w poszczególnych Stacjach Zakłócających.

Systemowa ocena efektywności zakłócania

Wstępna ocena efektywności zakłócania realizowana np. na stanowisku kierowania systemem zakłóceń w wozie dowodzenia ZSWE, pozwoli na oszacowanie możliwości efektywnego zakłócenia poszczególnych środków radiowych przeciwnika i w sposób precyzyjny wskaże, które z własnych stacji zakłóceń należy wykorzystać do obezwładnienia środka radiowego przeciwnika. Do jej przeprowadzenia niezbędne jest opracowanie danych wejściowych dostarczanych z pozostałych elementów zautomatyzowanego systemu WE (lokalizacja i parametry techniczne stacji zakłócających, dane z oceny operacyjnej, lokalizacja elementów nadawczych przeciwnika, ich analiza techniczna oraz organizacja sieci radiowych, bilanse energetyczne rozpoznanych relacji radiowych, stosunki mocy sygnału pochodzącego od poszczególnych własnych stacji zakłócających do mocy wykrytego sygnału przeciwnika).

Przedstawiony mechanizm szacowania efektywności zakłóceń należy traktować jako narzędzie wspomagające pracę osoby odpowiedzialnej za kierowanie podsystemem zakłóceń. W rezultacie, w zależności od przyjętego algorytmu, jeżeli mechanizm wskaże zbyt małą liczbę korespondentów obezwładnionych, można odstąpić od wydania rozkazu do zakłócania.

W przypadku decyzji o zakłócaniu, w rozkazie należy wskazać stację lub ich grupę wyznaczoną przez omówiony mechanizm szacowania efektywności.

Wyniki działania mechanizmu wstępnej oceny efektywności zakłócania powinny być także podstawą do wydania ewentualnych rozkazów o zmianie lokalizacji własnych elementów zakłócających w celu bardziej efektywnego przeciwdziałania.

Należy podkreślić, że wstępna ocena efektywności zakłócania powinna być istotnym elementem funkcjonowania podsystemu zakłócania ZSWE, od którego zależy nie tylko powodzenie prowadzonego przeciwdziałania, ale również bezpieczeństwo stacji zakłócających. Na podstawie szacowanych wyników, określone zostają nie tylko optymalne parametry sygnału zakłócającego, niezbędnego do skutecznego zakłócenia przeciwnika, ale także niezbędna liczba stacji, które należy uaktywnić.

Omawiany mechanizm powinien funkcjonować w sposób ciągły, obrazując na bieżąco na ekranie komputera możliwości i skuteczność zakłócania pojedynczych radiostacji lub sieci radiowych przeciwnika. Po zakończeniu każdego cyklu zakłócania przeciwnika, pozostałe podsystemy wchodzące w skład systemu WE powinny dostarczyć do wozu dowodzenia WE nowych informacji i wyników analiz dotyczących zachowania obezwładnianych środków radiowych. Dzięki temu na stanowisku kierowania systemem zakłóceń możliwe będzie dokonanie korekty wygenerowanego rozkazu lub realizacja nowego zadania.

Implementacja przedstawionego mechanizmu w algorytmie pracy elementów systemu WE może w sposób istotny wpłynąć na efektywność wykorzystania systemu przy zachowaniu pełnej automatyzacji jego funkcjonowania.

Obiektowa ocena efektywności zakłócania

W celu optymalnego wykorzystania podsystemu zakłócającego ZSWE, analiza efektywności działania stacji zakłócających powinna być również dokonywana w poszczególnych stacjach zakłóceń.

Oprogramowanie stacji powinno posiadać możliwość zbierania statystyk prowadzonych zakłóceń (momenty włączenia nadajnika, czas trwania elementarnego cyklu pracy t_z , liczba uruchomień zakłócania itd.). Informacje te są pochodną efektywności prowadzonych zakłóceń i powinny w sposób automatyczny być przekazywane do podsystemu dowodzenia ZSWE wpływając na optymalizację zadań stawianych poszczególnym stacjom zakłócającym.

Zebrane dane mogą także zostać wykorzystane w samej stacji zakłócającej, służąc do wypracowania i wdrożenia natychmiastowej decyzji o kontynuowaniu przeciwdziałania. Wskazane jest bowiem, aby algorytmy wbudowane w oprogramowanie stacji zakłócających ZSWE, zdolne były w ściśle określonych przypadkach do samodzielnego uruchamiania zakłóceń. Możliwość wyłączenia takiej opcji powinna być dostępna dla uprawnionej osoby na stanowisku dowodzenia ZSWE. Te dodatkowe mechanizmy powinny funkcjonować niezależnie od standardowych algorytmów pracy SZ, równoległe z nimi, a priorytet powinno posiadać sterowanie stacją z podsystemu dowodzenia.

4 PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Implementacja opisanych funkcji w oprogramowaniu stacji zakłócających oraz oprogramowaniu stanowiska kierowania zakłóceniami w podsystemie dowodzenia przyczynić się może do zwiększenia efektywności wykorzystania stacji zakłócających oraz do poprawy skuteczności działania zautomatyzowanych systemów walki elektronicznej. Algorytmy, na podstawie których oprogramowanie podejmowałoby decyzje o uruchomieniu zakłóceń, powinny zostać opracowane z najwyższą starannością z uwzględnieniem zachowania bezpieczeństwa załóg stacji oraz samych aparatowni.

5 LITERATURA

- [1] B. GROCHOWINA, P. KANIEWSKI, J. MILEWSKI, A. SALA, *Podsystem zakłóceń zautomatyzowanego systemu walki elektronicznej - doświadczenia i zalecenia*. w: KNTWE'10: Systemy rozpoznania i walki elektronicznej: VIII Konferencja Naukowo Techniczna. Pisz, 23-25.11.2010. Warszawa: WAT, 2010, CD. (MK-306);
- [2] R. A. POISEL, *Introduction to Communication Electronic Warfare Systems* (second edition), Artech House 2008;
- [3] R. A. POISEL, *Modern Communications Jamming: Principles and Techniques* (second edition), Artech House 2011.