

УДК 621.396

О.В. Якобінчук

Національна академія оборони України, Київ

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ, РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ

В статті наведена методика оцінки завадозахищеності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління Повітряних Сил.

**Ключові слова:** система зв'язку, радіотехнічного забезпечення, автоматизація управління, завадозахищеність, радіозавада.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Характерною особливістю сучасних операцій є широке використання засобів радіоелектронної боротьби, що значно ускладнює функціонування системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення (РТЗ) та автоматизації управління (АУ) як складової системи управління. Про це свідчать досвід збройних конфліктів, локальних воєн і досвід застосування сучасних засобів зв'язку [1, 2]. Висока інформативність радіомереж дозволяє сучасним засобам радіорозвідки і радіоподавлення противника швидко виявляти факт роботи в них, ідентифікувати та створювати радіозавади досить обмеженим ресурсом. Внаслідок жорсткого закріплення робочих частот за окремими радіомережами та радіонапрямами, маневр частотами і тим більше перерозподіл частотного ресурсу утруднені. Тому розгляд питання завадозахищеності системи зв'язку, РТЗ та АУ є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Проблеми забезпечення високої ефективності системи зв'язку взагалі та питання підвищення її завадостійкості, зокрема, раніше вже розглядалися у різних джерелах [3 – 5], проте особливостям завадозахищеності системи зв'язку, РТЗ та АУ достатньої уваги не приділено. Під завадозахищеністю будемо розуміти здатність системи військового зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління виконувати завдання за призначенням в умовах дії навмисних завад противника. Зауважимо, що радіозавадами називають електромагнітне випромінювання радіодіапазону будь-якого походження, яке перешкоджає функціонуванню радіоелектронних засобів (РЕЗ), що працюють за принципами прийому, підсилення і перетворення енергії радіохвиль [6].

**Формулювання мети статті.** Тому метою статті є розробка методики оцінки завадозахищеності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління для надання обґрунтованих рекомендацій щодо її підвищення.

### Виклад основного матеріалу

Для оцінки завадозахищеності системи зв'язку, РТЗ та АУ в цілому необхідно оцінити завадозахищеність окремо підсистеми зв'язку, підсистеми радіолокаційного забезпечення та підсистеми радіосвітлотехнічного забезпечення. Завадозахищеність підсистеми зв'язку доцільно оцінювати за лініями зв'язку.

Для визначення ступеня завадозахищеності лінії зв'язку необхідно володіти такими вихідними даними для розрахунку:

- дальність передавання оперативної-тактичної інформації  $D_{зв}$ ;
  - вид роботи, вимоги до якості інформації ( $K_{вим}, P_{пом\_доп}, A_{доп}$ );
  - потужність передавача, характеристики антенних пристроїв;
  - наявність та ступінь проявлення демаскувальних ознак;
  - пора року, час доби, стан середовища розповсюдження радіохвиль.
- Вихідними розрахунковими даними стосовно засобів радіоелектронного подавлення (РЕП) противника будуть:

– дальність постановки радіозавад, що передбачається  $D_{пост}$ . Якщо достовірно невідомо розташування постановника, тоді припускається, що він розташований на типовій віддалі від лінії бойового зіткнення (ЛБЗ)  $D_{пост2}$ . Тоді з урахуванням дальності

сті від ЛБЗ РЕЗ  $D_{\text{пост1}}$  визначається  $D_{\text{пост}} = D_{\text{пост1}} + D_{\text{пост2}}$ ;

– потужність передавача радіозавад  $P_{\Sigma\text{пост}}$ , коефіцієнт підсилення антени  $G_{\text{Апост}}$ ;

– кількість постановників радіозавад в комплексі.

Відповідно з методикою, викладеною в [8], здійснюється розрахунок імовірності  $P_{\text{викр}}(t_{\text{викр}0,8} \leq t)$  того, що час викриття  $t_{\text{викр}0,8}$  буде меншим чи рівним  $t$ .

Показником завадозахищеності ліній зв'язку в умовах РЕП прийнято коефіцієнт простою внаслідок РЕП  $K_{\Pi}$  [7]:

$$K_{\Pi} = P_{\text{викр}} P_{\text{ЕН}} P_t, \quad (1)$$

де  $P_{\text{ЕН}}$  – імовірність енергетичного подавлення;  $P_t$  – імовірність простою лінії зв'язку за часом.

Коефіцієнт простою каналу зв'язку в умовах РЕП це імовірність того, що в довільний момент часу якість зв'язку виявиться нижче допустимої норми внаслідок впливу навмисних радіозавад, тобто канал простоюватиме. Визначення цього показника є необхідним при розрахунку стійкості та пропускної спроможності напрямків зв'язку.

Імовірність енергетичного подавлення визначається як імовірність того, що в результаті впливу навмисних радіозавад відношення сигналу до радіозавади на вході приймача буде менше відношення, що вимагається  $K_{\text{вим}}$ , при якому забезпечується задовільна якість прийому. Імовірність енергетичного подавлення залежить від багатьох чинників: потужність передавачів кореспондента та постановника радіозавад, дальності зв'язку та радіозавад, коефіцієнтів підсилення антен, розповсюдження радіохвиль та інше. В загальному випадку вплив цих чинників уявляється на вході приймача у вигляді співвідношення сигнал/завада.

Розраховується імовірність енергетичного подавлення лінії передавання оперативно-тактичної інформації,

$$P_{\text{ЕН}} = P(z < z_{\text{вим}}) = \int_{-\infty}^{z_{\text{вим}}} W(z) dz = F\left(\frac{z_{\text{вим}} - z}{\sigma_z}\right), \quad (2)$$

де  $F(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} e^{-t^2/2} dt$  – інтеграл імовірності.

Розрахунок цього показника складається з таких етапів:

– розрахунку медіанного значення потужностей сигналу  $P_{c0,5}$  та завади  $P_{зав0,5}$  на вході приймача;

– розрахунку медіанного значення відношення потужностей сигналу та завади  $\bar{z} = 10 \ln \frac{P_{c0,5}}{P_{зав0,5}}$ , а також розрахунок дисперсії цього відношення  $\sigma_z^2$ ,

можна припустити, що  $\sigma_{зв}^2 = \sigma_{зав}^2$ ;

– розрахунку величини відношення потужності сигналу до потужності завади, що вимагається  $K_{\text{вим}} (z_{\text{вим}} = 10 \lg K_{\text{вим}})$  відповідно до вимог каналу передавання  $P_{\text{пом\_доп}}$  за відомими залежностями

$$P_{\text{пом}} = f(z);$$

– розрахунку імовірності енергетичного подавлення лінії передавання за таблицями нормального закону розподілу.

Імовірність простою лінії зв'язку за часом знайдемо з виразу

$$P_t = 1 - \frac{\bar{t}_{\text{РЕП}}^2}{(\bar{t}_{\text{РЕП}} + \bar{t}_{\text{вх}})(\bar{t}_{\text{РЕП}} + \bar{t}_{\text{вжз}})}, \quad (3)$$

де  $\bar{t}_{\text{РЕП}}$  – час реакції комплексу РЕП;  $\bar{t}_{\text{вжз}}$  – час для вживання заходів захисту від РЕП;  $\bar{t}_{\text{вх}}$  – час входження в зв'язок після вживання заходів захисту ліній зв'язку.

Орієнтовні значення  $\bar{t}_{\text{РЕП}}$  наведені в табл. 1.

Таблиця 1  
Значення середнього часу реакції комплексу РЕП

Призначення частот	Ступінь появи признаку та $\bar{t}_{\text{РЕП}}$ (в хв.)			
	Явно виражений індивідуальний	Явно виражений типовий	Слабо виражений типовий	Характерних ознак немає
Відома робоча та запасна частоти	4	5	7	13 – 15
Групове використання частот	4 – 5	7	12 – 14	30 – 45

Завадозахищеність підсистеми зв'язку знайдемо з виразу

$$K_{\Pi\Sigma} = \sum_{i=1}^N \nu_i K_{\Pi i}, \quad (4)$$

де  $\nu_i$  – ваговий коефіцієнт важливості  $i$ -ої лінії зв'язку,  $\sum_{i=1}^N \nu_i = 1$ ;  $N$  – кількість ліній зв'язку.

Розрахунок завадозахищеності в умовах РЕП здійснюється за формулою (4) з урахуванням (1) – (3). На підставі отриманих результатів робиться висновок про ступінь впливу РЕП на завадозахищеність підсистеми зв'язку та заходи, які необхідно вжити для захисту.

Так, для зниження коефіцієнту простою  $K_{\Pi}$  слід використовувати РЕЗ з великою потужністю передавачів та гостроспрямованими діаграмами спрямованості антенних систем, використовувати ретранслятори для зменшення дальності зв'язку.

Завадозахищеність підсистеми радіолокаційного забезпечення визначимо з захищеності імпульсних радіолокаційних станцій (РЛС) від впливу активних радіозавад. Вона оцінюється коефіцієнтом подавлення, який визначається з виразу [9]

$$K_{\Pi}^{\text{РЛС}} = \left( \frac{P_{\text{пост}}}{P_c} \right)_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{пост}} G_{\text{пост}} 4\pi D_{\text{виявл}}^4}{P_c G_c D_{\text{пост}}^2 \sigma_{\text{ц}}} \times F^2(\beta_{\text{пост}}, \varepsilon_{\text{пост}}) \frac{\Delta f_{\text{пр}}}{\Delta F_{\text{пост}}} \gamma_{\text{пост}} 10^{0,1\alpha(2D_{\text{виявл}} - D_{\text{пост}})} \quad (5)$$

де  $P_{\text{пост}}$  – потужність передавача радіозавад;  $G_{\text{пост}}$  – максимальний коефіцієнт спрямованої дії антени постановника радіозавад;  $D_{\text{пост}}, \beta_{\text{пост}}, \varepsilon_{\text{пост}}$  – координати постановника радіозавад;  $\Delta F_{\text{пост}}$  – ефективна ширина спектру сигналу радіозавад;  $\gamma_{\text{пост}}$  – коефіцієнт, що враховує відмінність поляризацій антен постановника радіозавад та РЛС;  $P_c$  – потужність радіолокаційної станції;  $G_c$  – максимальний коефіцієнт спрямованої дії антени радіолокаційної станції;  $D_{\text{виявл}}$  – дальність виявлення;  $\Delta f_{\text{пр}}$  – ширина смуги пропускання приймача радіолокаційної станції;  $F(\beta, \varepsilon)$  – функція, що описує нормовану діаграму спрямованості РЛС;  $\sigma_{\text{ц}}$  – ефективна площа розсіювання цілі;  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує затування в атмосфері, (дБ/км).

Аналіз виразу (5) показує, що для підвищення завадозахищеності підсистеми радіолокаційного забезпечення необхідно оптимально розміщувати РЕЗ на місцевості та в угрупованнях, розподіляти робочі та запасні частоти. Крім того, необхідно організувати збір інформації від різних джерел.

Щоб оцінити підсистему радіосвітлотехнічного забезпечення оцінимо завадозахищеність радіотехнічних систем ближньої навігації [10]. Імовірність того, що хоча б один хибний імпульс збіжиться за часом з імпульсом потоку сигналів і подавить його може бути визначена із виразу:

$$P_{\Pi} = \gamma \left( 1 - e^{-\lambda_0 \tau_0} \right), \quad (6)$$

де  $\gamma$  – імовірність інтерференційного подавлення імпульсу прийнятого сигналу при його збігу в часі з імпульсом завади;  $\lambda_0$  – інтенсивність хибного потоку сигналів;  $\tau_0$  – тривалість імпульсів корисного сигналу.

З урахуванням  $n$ -значності сигналу запиту імовірність виключення сигналу відповіді в результаті подавлення окремих імпульсів запиту може бути визначена як

$$P_1 = 1 - (1 - P_{\Pi})^n. \quad (7)$$

Імовірність того, що хоча б один хибний сигнал запиту потрапить у випереджувальний інтервал і подавить сигнал запиту радіомаяка складає:

$$P_2 = 1 - e^{-\lambda_{\text{л}} t_1}, \quad (8)$$

де  $\lambda_{\text{л}}$  – середнє число хибних сигналів запиту;  $t_1$  – тривалість часового строга формування сигналу.

Середнє число хибних  $n$ -імпульсних кодів можна визначити як

$$\lambda_{\text{л}} = n \tau_0^n \lambda_0^{n-1} \left( 1 - \tau_c / \tau_0 \right), \quad (9)$$

де  $\tau_c$  – задана величина селекції імпульсів за тривалістю.

Імовірність подавлення сигналу “Відповідь індикації” радіомаяка через вплив хибних сигналів “Запит індикації” може бути визначена з виразу

$$P_3 = \left( 1 - e^{-\lambda_0 \tau_0} \right)^{n-1}. \quad (10)$$

Імовірність подавлення сигналу “Відповідь індикації” через випереджальну дію сигналу, що імітується може бути визначено як

$$P_4 = 1 - e^{-\lambda_1 t_1}. \quad (11)$$

Отже, імовірність випромінювання сигналу “Відповідь індикації” на сигнал “Запит індикації” радіомаяка буде складати

$$P_0 = \prod_{i=1}^n (1 - P_i). \quad (12)$$

## Висновки

Таким чином, викладена методика достатньо повно дозволяє оцінити завадозахищеність системи зв'язку, РТЗ та АУ та надати пропозиції з її захисту від навмисних радіозавад. Для підвищення завадозахищеності системи зв'язку, РТЗ та АУ слід використовувати РЕЗ з великою потужністю передавачів та гостроспрямованими діаграмами спрямованості антенних систем, використовувати ретранслятори, оптимально розміщувати РЕЗ на місцевості та в угрупованнях, розподіляти робочі та запасні частоти.

В подальшому доцільно досліджувати вплив завадозахищеності на стійкість системи зв'язку, РТЗ та АУ.

## Список літератури

1. *Радиоэлектронная борьба. Силовое поражение радиоэлектронных систем / В.Д. Добыкин, А.И. Куприянов, В.Г. Пономарев, Л.Н. Шустов; под ред. А.И. Куприянова. – М.: Вузовская книга, 2007. – 487 с.*
2. *Современное состояние и перспективы развития авиационных средств радиоэлектронной борьбы / О.В. Видулов, В.Д. Добыкин, В.В. Дрогалін, В.Д. Казаков, В.И. Меркулов, В.С. Чернов, Ю.М. Шабатура // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. – М., 1998. – № 12. – С. 3-16.*
3. *Карпов С.А. Пути повышения разведзащищенности средств и системы радиосвязи тактического звена управления / С.А. Карпов, О.О. Сушков. – К.: НЦ управління і зв'язку при КВІУЗ, 1993. – 140 с.*
4. *Генко І.О. Завадозахищеність бортових засобів радіозв'язку із псевдовипадковим перестроюванням робочої частоти / І.О. Генко // Зб. наук. пр. НЦ ПС ЗС України. – К., 2004. – № 7. – С. 57-62.*

5. Ерохин В.Ф. Методика оценки вероятности функционирования линии связи в условиях огневого и радиоэлектронного подавления: учебное пособие / В.Ф. Ерохин, В.П. Зверев, О.О.Сушков. – К.: КВГУЗ, 1993. – 120 с.

6. Військовий стандарт 02.104.001-2006 Боротьба радіоелектронна. Терміни та визначення.

7. Военные системы радиосвязи. Ч. II. / В.В. Игнатов, Ю.П. Килимник, И.Н. Никольский, В.Ф. Прохоров и др.; под ред. В.В. Игнатова. – Л.: ВАС, 1989. – 176 с.

8. Якобінчук О.В. Методика оцінки розвідзахищеності системи зв'язку / О.В. Якобінчук // Труды академії. – К.: НАОУ, 2009. – № 1 (88). – С. 284-293.

9. Вакин С. А. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки / С.А. Вакин, Л.Н. Шустов. – М.: Советское радио, 1968. – 448 с.

10. Теоретичні основи побудови завадозахищених систем інформаційного моніторингу повітряного простору / В.В. Ткачов, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков та ін. – К.: МО України; Х.: ХВУ, 2004. – 272 с.

Надійшла до редколегії 4.03.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.Н. Котельников, Національна академія оборони України, Київ.

#### **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ, РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ**

А.В. Якобінчук

В статье приведена методика оценки помехозащищенности системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления Воздушных Сил.

**Ключевые слова:** система связи, радиотехническое обеспечение, автоматизация управления, помехозащищенность, радиопомеха.

#### **METHOD OF ESTIMATION OF ANTIJAMMINGNESS SYSTEM OF COMMUNICATION, RADAR MAINTENANCE AND AUTOMATIC CONTROL**

O.V. Iakobinchuk

Method of estimation of antijammingness system of communication, radar maintenance and automatic control of the Air Force is conducted in the article.

**Keywords:** communication network, radio engineering providing, automation of management, antijammingness, radio interference.