

Андрій Олександрович Зінченко (доктор технічних наук, доцент)¹
Роман Іванович Грозовський¹
Ірина Анатоліївна Зінченко²

¹ Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

² Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ СКРИТНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

Сучасні радіотехнічні системи характеризуються використанням якості носіїв інформації радіохвилі зі складною внутрішньою структурою. Такі радіохвилі характеризуються збільшеною шириною спектру передавання та програмного псевдовипадкового перелаштування робочої частоти. Поряд з цим, сигнали зі збільшеною шириною спектру передавання по своїм характеристикам споріднені з сигналами білого шуму, що знижує їхню електромагнітну доступність системам радіоелектронної розвідки.

Отже, в статті представлена удосконалена методика оцінювання скритності функціонування радіотехнічних засобів системи військового зв'язку, яка побудована на засобах радіозв'язку, які в якості інформаційного повідомлення використовують складну структуру сигналу передавання.

Основним критерієм при оцінюванні скритності функціонування радіотехнічних засобів обрано показник енергетичної скритності сигналів передавання, а саме, показник електромагнітної доступності.

Врахування показника електромагнітної доступності джерел радіовипромінювання зі складними сигналами дозволяє більш реалістично оцінити скритність функціонування радіотехнічних засобів системи військового зв'язку, що у свою чергу визначає фактори для вироблення обґрунтованих рішень, щодо вибору режимів роботи засобів радіозв'язку з метою скритності функціонування елементів системи військового зв'язку.

Ключові слова: радіотехнічні засоби; система військового зв'язку; широкомугові сигнали; сигнали з програмним перелаштуванням робочої частоти.

Вступ

Постановка проблеми. У відповідності з тенденціями розвитку систем та комплексів військового зв'язку, основу польової компоненти системи військового зв'язку складають засоби, які використовують в якості носіїв інформації радіохвилі. Проведений авторами аналіз систем військового зв'язку угруповань військ за досвідом війн та воєнних конфліктів сучасності показав, що у системі зв'язку угруповання може бути організовано від 450 до 500 радіомереж і радіонапрямків у короткохвильовому і ультракороткохвильовому діапазонах.

Зважаючи на постійно зростаючі технічні можливості засобів радіоелектронної розвідки провідних країн світу щодо викриття джерел радіовипромінювання і структури системи зв'язку угруповань військ питання скритності систем зв'язку набувають особливо важливого значення.

Основу існуючої системи радіозв'язку ЗС України складають сучасні радіостанції корпорацій HARRIS, ASELISAN, ELBIT. Всі вони побудовані за технологією SDR (Software-defined Radio) та працюють сигналами із складною базою. Тобто радіостанції використовують програмне забезпечення для здійснення модуляції та демодуляції сигналів, а зміна режимів роботи та проведення модернізації спроможностей систем

радіозв'язку зводиться до зміни та удосконалення програмного забезпечення. Перевагами наведеної технології є: створення мереж передачі даних з високою швидкістю; можливість реалізації режиму роботи з програмно перебуваною робочою частотою; створення захищених безпроводових IP (Internet Protocol) мереж; адаптивне управління потужністю випромінювання систем радіозв'язку.

Одночасно із переходом системи зв'язку ЗС України на сучасні цифрові радіостанції постала проблема оцінювання їх скритності.

Аналіз остатніх досліджень і публікацій.

Оцінювання скритності функціонування радіотехнічних систем є складовою частиною оцінювання розвідищеності системи зв'язку. Для оцінювання розвідищеності об'єктів військової інфраструктури існують різні методики [1-7], які враховують енергетичні і часові показники, при цьому енергетичні показники характеризуються співвідношенням потужностей сигналів та перешкод на вході приймального пристрою засобів радіоелектронної розвідки, а часові відображають динаміку зміни стану джерел радіовипромінювання. Загальним недоліком існуючих методик є відсутність врахування показника електромагнітної доступності радіотехнічних засобів із широкомуговими сигналами та частотно-часового контакту

радіосигналів з програмним перелаштуванням робочої частоти.

Мета статті. Удосконалити методику оцінювання скритності функціонування радіотехнічних засобів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Скритність функціонування радіотехнічних засобів неможливо оцінити без оцінки ефективності функціонування системи РЕР. Для оцінювання скритності функціонування системи військового зв'язку використовуємо її зворотну функцію, а саме – оцінювання ймовірності виявлення об'єктів розвідки:

$$P_{\text{скр}} = 1 - P_{\text{вияв}} \quad (1)$$

Система РЕР структурно складається з таких основних підсистем як виявлення (пошуку), визначення місцезнаходження та аналізу. Таким чином, ймовірність обслуговування радіовипромінювань системою РЕР характеризується послідовністю обслуговування радіоліній цими підсистемами ($p_{\text{обс}}$) [1,3].

В якості апаратури пошуку в системах (комплексах) РЕР використовується апаратура послідовного частотного аналізу. При такому способі частотного аналізу під ймовірністю виявлення приймаємо виконання трьох сумісних подій, а саме: ймовірність частотно-часового контакту ($p_{\text{ччк}}$); ймовірність енергетичного контакту ($p_{\text{ек}}$) та ймовірність електромагнітної доступності ($p_{\text{емд}}$) радіовипромінювань з приймачем розвідки. В такому випадку показник виявлення об'єктів РЕР ($p_{\text{вияв}}$) можна записати як

$$P_{\text{вияв}} = p_{\text{ччк}} p_{\text{ек}} p_{\text{емд}} \quad (2)$$

де $p_{\text{ччк}}$ – ймовірність частотно-часового контакту;

$p_{\text{ек}}$ – ймовірність енергетичного контакту;

$p_{\text{емд}}$ – ймовірність електромагнітної доступності.

Сучасні системи та комплекси зв'язку характеризуються складною внутрішньою структурою сигналів, які впливають як на енергетичну так і на частотно-часову скритність радіовипромінювання [2]. При цьому, енергетична скритність складних (хаотичних) сигналів характеризується їхньою електромагнітною доступністю.

Таким чином, методика оцінювання скритності функціонування радіотехнічних засобів враховує особливості енергетичної скритності складних сигналів за рахунок зменшення їхньої електромагнітної доступності.

Блок схема удосконаленої методики зображена на рисунку 1.

В блоці 1 методики проводиться постановка задачі, яка полягає у визначенні структури та технічних можливостей системи РЕР та умов функціонування радіотехнічних засобів.

В блоці 2 визначаються та вводяться вихідні дані, які будуть використовуватись в подальших розділах, а саме: час перегляду діапазону частот з

технічною швидкістю пошуку (T), кількість постів пошуку системи РЕР задіяних для виявлення функціонування джерел радіовипромінювання (n), діапазон частот ведення розвідки (Δf_p), середня тривалість радіовипромінювання в діапазоні частот ведення розвідки ($\bar{t}_{\text{вип}}$), швидкість передачі інформаційного повідомлення ($V_{\text{ін}}$), кількість джерел радіовипромінювання системи зв'язку ($N_{\text{дрв}}$), потужність передавача ($P_{\text{прд}}$), потужність природних та штучно створених перешкод (шумів) середовища розповсюдження радіохвиль ($P_{\text{ш}}$), можливості радіотехнічних засобів щодо формування широкосмугового сигналу (B).

Додатково можуть враховуватись пора року, погодні умови, час доби, які впливають на розповсюдження радіохвиль у вільному просторі.

В блоці 3 методики проводиться розрахунок ймовірності частотно-часового контакту радіосигналу з приймачем розвідки.

Для виявлення сигналів в комплексах РЕР застосовується метод послідовного частотного аналізу, який можна представити моделлю співпадання імпульсних потоків по часу налаштування приймача розвідки з частотою радіовипромінювання. Враховуючи те, що тривалість імпульсного потоку розподіляється по експонентному закону, ймовірність частотно-часового контакту розраховується у відповідності до виразу:

$$p_{\text{ччк}} = \frac{\tau - \Delta t}{T} + \frac{\bar{t}_{\text{вип}}}{T} \exp\left(-\frac{\Delta t}{\bar{t}_{\text{вип}}}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{T - \tau + \Delta t}{T}\right)\right) \quad (3)$$

де τ – час опитування однієї частоти з технічною швидкістю;

$\bar{t}_{\text{вип}}$ – середня тривалість радіовипромінювання в діапазоні частот ведення розвідки;

Δt – допустимий час перекриття імпульсних потоків;

T – час перегляду діапазону частот розвідки, з технічною швидкістю аналізу

Враховавши значення часових параметрів для встановлення перехідних процесів в резонансних системах ймовірність частотно-часового контакту будемо розраховувати згідно виразу [3]:

$$p_{\text{ччк}} = \frac{\bar{t}_{\text{вип}}}{2T} \quad (4)$$

Потенційне значення ймовірності часового контакту при одиночному перегляді діапазону частот ($p_{\text{ччк}(1)}$) ведення розвідки [1,4], можна визначити з виразу:

$$p_{\text{ччк}(1)} = \begin{cases} \frac{\bar{t}_{\text{вип}}}{2T}, & \text{при } \bar{t}_{\text{вип}} < 2T \\ 1, & \text{при } \bar{t}_{\text{вип}} \geq 2T \end{cases} \quad (5)$$

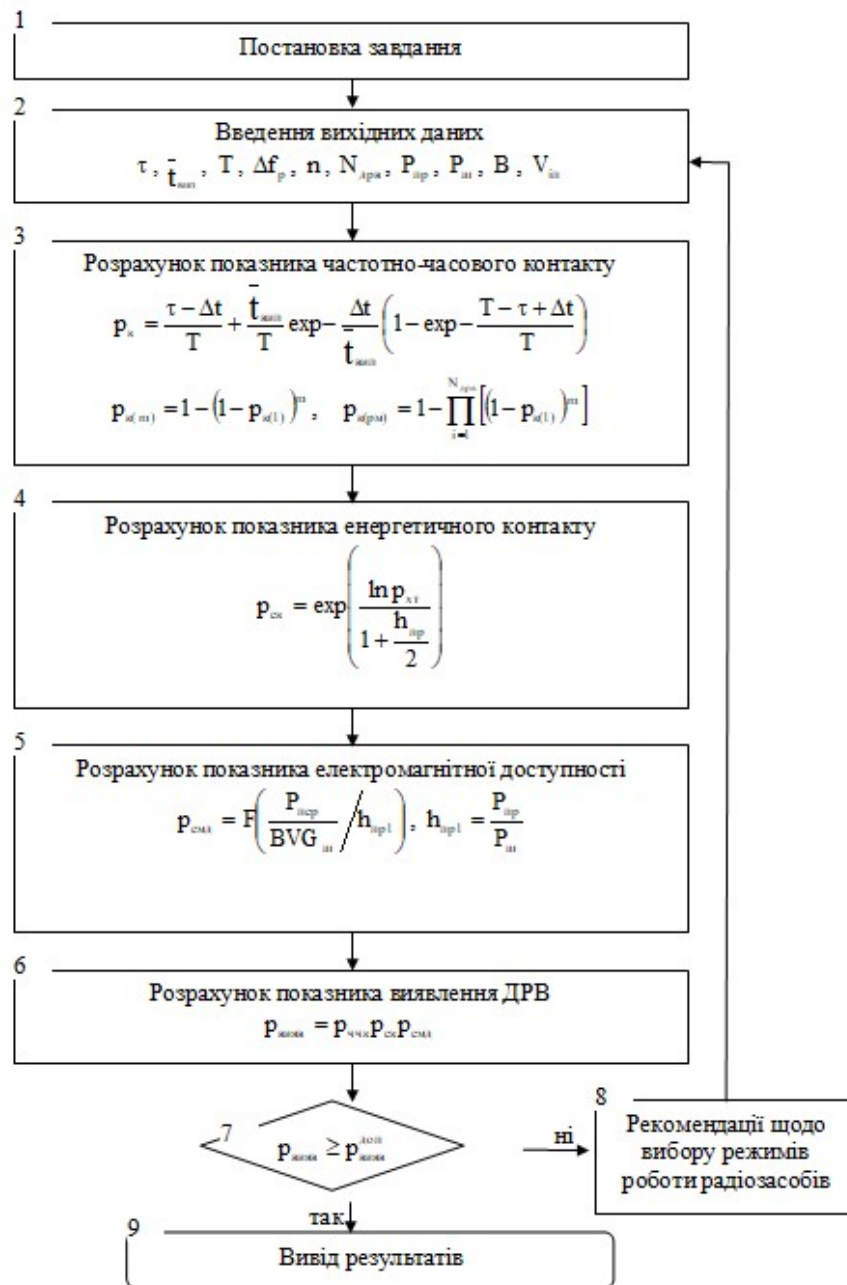


Рис. 1. Блок-схема удосконаленої методики виявлення об'єктів РРТР

Для автоматизованих систем РЕР час ведення розвідки більше часу разового перегляду діапазону частот. Це обумовлено тим, що в загальному випадку підсистема виявлення веде пошук в багатоканальному режимі, відповідно, діапазон частот розподіляється між певною кількістю постів (приймачів) пошуку. В цьому випадку діапазон частот для одного посту розвідки можна визначити з виразу:

$$\Delta f_{p(1)} = \frac{\Delta f_p}{n} \quad (6)$$

де $\Delta f_{p(1)}$ – діапазон частот ведення розвідки одним постом;

Δf_p – діапазон частот ведення розвідки радіоелектронною розвідкою;
 n – кількість постів пошуку.

При незалежності процесів перегляду діапазону частот розвідки ймовірність частотно-часового контакту [1, 3] за певну кількість переглядів можна визначити по формулі:

$$p_{ччк}(m) = 1 - (1 - p_{к(1)})^m \quad (7)$$

де m – кількість переглядів діапазону частот.

Вираз (7) характеризує ймовірність частотно-часового контакту з любым джерелом розвідки в межах діапазону частот ведення розвідки. Для повноти виявлення радіомережі необхідно враховувати ймовірність частотно-часового контакту з усіма джерелами радіовипромінювання цієї мережі. З урахуванням формули (4) ймовірність частотно-часового контакту джерел радіовипромінювання радіомережі (радіолінії) ($p_{ччк}^{рл}$) визначаємо у відповідності до виразу:

$$p_{\text{ччк}}^{\text{рл}} = 1 - \prod_{i=1}^{N_{\text{дрв}}^{\text{рл}}} \left[(1 - p_{\text{к}(1)})^m \right] \quad (8)$$

де $N_{\text{дрв}}^{\text{рл}}$ – кількість джерел радіовипромінювання в даній радіолінії.

В блоці 4 проводиться розрахунок показника енергетичного контакту сигналу з приймачем розвідки. Показник енергетичного виявлення враховує можливості приймача розвідки, а саме, перевищення рівня сигналу над рівнем перешкоди на задану величину. Так як виявлення радіовипромінювань здійснюється на фоні різноманітних перешкод, ймовірність достовірного енергетичного контакту з рахуванням виразу (8) розраховуємо:

$$p_{\text{ек}} = \exp \left(\frac{\ln p_{\text{хт}}}{1 + \frac{h_{\text{пр}}^2}{2}} \right) \quad (9)$$

де $p_{\text{хт}}$ – ймовірність хибної тривоги (прийняття перешкоди за сигнал);

$h_{\text{пр}}^2$ – перевищення потужності сигналу над потужністю шумів на вході приймача розвідки.

Даний вираз дає достовірну оцінку енергетичного виявлення радіосигналів приймачем розвідки, за умови перевищення рівня сигналу над рівнем шуму на вході приймача розвідки.

Показники частотно-часового контакту ($p_{\text{ччк}}$) та енергетичного контакту ($p_{\text{ек}}$) характеризують можливості приймача розвідки щодо виявлення радіосигналів. Враховуючи можливості сучасних засобів радіозв'язку, які використовують радіосигнали зі збільшеною шириною спектру (ширококутні сигнали) та сигнали з програмним перелаштуванням робочої частоти, необхідно додатково вводити показник електромагнітної доступності джерел радіовипромінювання, який враховує енергетичні характеристики радіосигналів на виході передавача та порогове значення співвідношення сигнал/шум на вході приймача розвідки.

Ймовірність електромагнітної доступності радіосигналів залежить від відношення потужності сигналу передавання до потужності шумів:

$$P_{\text{емд}} = F \left(\frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{ш}}} \right) \quad (10)$$

Цей вираз дає можливість достовірно оцінити електромагнітну доступність джерел радіовипромінювання за умови роботи радіотехнічних систем вузькополосними сигналами ($h_{\text{пр}}^2 \geq 1$), при якому час передачі інформаційного повідомлення більший за час перегляду діапазону частот приймачем розвідки ($t_i > t_p$).

В блоці 5 проводиться розрахунок електромагнітної доступності ширококутних

сигналів з приймачем розвідки.

Для ширококутних сигналів діапазон частот рівний ширині спектру шумів і позначається як база сигналу [9]:

$$B = \Delta f_{\text{шпс}} = \Delta f_{\text{ш}} \quad (11)$$

де B – база сигналу;

$\Delta f_{\text{шпс}}$ – ширина спектру ширококутного сигналу;

$\Delta f_{\text{ш}}$ – ширина спектру шуму.

Для ширококутних сигналів та сигналів з програмним перелаштуванням робочої частоти [6] співвідношення сигнал/шум буде набагато менше одиниці ($h_{\text{пр}}^2 \ll 1$).

Таким чином, врахувавши особливості формування ширококутних сигналів та сигналів з програмним перелаштуванням робочої частоти отримаємо вираз:

$$P_{\text{емд}} = F \left(\frac{P_{\text{пер}}}{B V_{\text{ш}} G_{\text{ш}}} / h_{\text{пр}}^2 \right) \quad (12)$$

де $P_{\text{пер}}$ – потужність передавача;

$V_{\text{ш}}$ – швидкість передачі інформаційного повідомлення;

$G_{\text{ш}}$ – спектральна щільність потужності шуму.

Порогове значення співвідношення сигнал/шум на вході приймача розвідки залежить від багатьох факторів, як зовнішнього середовища розповсюдження радіохвиль, характеристик джерела радіовипромінювання, так і можливостей приймача розвідки. Рівень потужності сигналу на вході приймача розвідки розраховується у відповідності до першого рівняння передачі, яке в загальному випадку має вигляд

$$P_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{пер}} \eta_{\text{Фпер}} G_{\text{Апер}} Q_{\text{пер}}(\Theta, \varphi) G_{\text{Апр}} \eta_{\text{Фпр}} \xi_{\text{п}} \xi_{\text{с}}}{W_{\text{св}} W_{\text{т}}} \quad (13)$$

де $P_{\text{пр}}$ – потужність сигналу на вході приймача розвідки;

$P_{\text{пер}}$ – потужність сигналу на виході передавача;

$G_{\text{Апер}}, \eta_{\text{Фпер}}$ – коефіцієнт підсилення антени передавача та КПД фідера на передачі;

$G_{\text{Апр}}, \eta_{\text{Фпр}}$ – коефіцієнт підсилення антени приймача та КПД фідера на прийомі;

$Q_{\text{пер}}(\Theta, \varphi)$ – нормована характеристика направленості антени передавача;

$\xi_{\text{п}}, \xi_{\text{с}}$ – коефіцієнти узгодження приймальної антени по поляризації та приймального фідера з входом приймача по опорі;

$W_{\text{св}}$ – згасання радіохвиль в вільному просторі;

$W_{\text{т}}$ – додаткове згасання радіохвиль, яке враховує конкретний механізм розповсюдження радіохвиль.

Таким чином, враховуючи вираз (13) здійснюємо розрахунок співвідношення сигнал/шум переданого ширококутного сигналу на вході приймача розвідки

$$h_{\text{пр}}^2 = \frac{P_{\text{пр}}}{\Delta f_{\text{шпс}}} \quad (14)$$

В блоці 6 здійснюється розрахунок ймовірності виявлення радіотехнічних систем ($P_{\text{вияв}}$) приймачем розвідки.

Розрахунок ймовірності виявлення функціонування радіотехнічних засобів проводимо згідно виразу (2), який відображає послідовність пошуку сигналів по частоті за умови їхньої електромагнітної доступності.

В блоці 7 методики проводиться оцінка

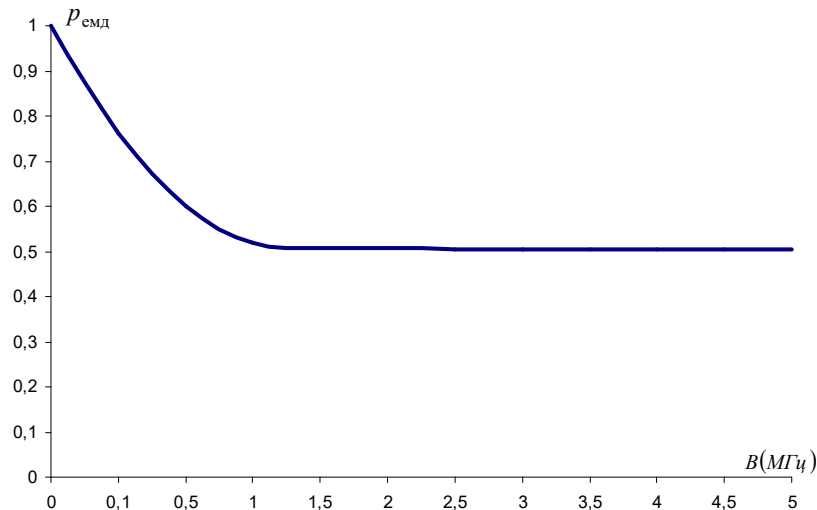


Рис. 2. Графік залежностей ймовірності електромагнітної доступності від бази широкопasmового сигналу.

Як видно з графіку, необхідний рівень електромагнітної доступності радіотехнічних засобів буде досягнутий при збільшенні спектру широкопasmового сигналу більше 1 МГц, що в свою чергу суттєво впливає на скритності функціонування засобів радіозв'язку.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Врахування показника електромагнітної доступності джерел радіовипромінювання зі складними сигналами дозволяє більш реалістично оцінити скритність функціонування радіотехнічних засобів системи військового зв'язку, що у свою чергу визначає фактори для

допустимого значення ймовірності виявлення сигналів ($P_{\text{вияв}}^{\text{доп}}$) з розрахунковим ($P_{\text{вияв}}$).

В блоці 8 розробляються рекомендації щодо умов функціонування засобів радіозв'язку та вибору режимів їхньої роботи.

На рис. 2 показано графік залежностей ймовірності електромагнітної доступності радіотехнічних засобів при роботі широкопasmовими сигналами.

вироблення обґрунтованих рішень, щодо вибору режимів роботи засобів радіозв'язку з метою скритності функціонування елементів системи військового зв'язку.

Представлена удосконалена методика є частковою методикою оцінювання розвідзахищеності функціонування системи військового зв'язку. Подальші дослідження спрямовані на удосконалення часткової методики визначення місцезнаходження радіотехнічних засобів та методики оцінювання розвідзахищеності функціонування системи військового зв'язку в цілому.

Література

1. Вартанесян В.А. Радиоэлектронная разведка. - М.: Воениздат, 1991. - 254 с. 2. Грозовський Р.І. Розвідзахищеність радіотехнічних систем зі складними сигналами / Р. І. Грозовський // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. - 2016. - №3 (27). - с. 26-30. 3. Эффективность и электронная защита военных систем связи. А.Н. Авсюкевич, В.Ф. Комарович, М.В. Симонов. - ВАС, 1980. - 220 с. 4. Радиоэлектронные системы в информационном конфликте. - М.: Вузовская книга, 2003. - 528с. 5. Макаренко С.И., Иванов М.С., Попов С.А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Монография. - СПб.: Свое издательство, 2013. - 166 с. 6. Борисов В. И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты / [В. И.

Борисов, В. М. Зинчук, А. Е. Лимарев и др.] - М.: Радио и связь, 2000. - 384 с. 7. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / под ред. Г. И. Тузова. - М.: Радио и связь, 1985. - 264 с. 8. Кирсанов Э.А., Сирота А.А. Обработка информации в пространственно-распределенных системах радиомониторинга: статистический и нейросетевой подходы. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 344 с. 9. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширение спектра: Перевод с английского / Под редакцией В.И.Журавлева. - М.: Радио и связь, 2000. - 520 с. 10. A. Khomutenko, A. Mishchenko, A. Ripenko, O. Frum, Z. Liulchak, R. Hrozovskiyi. Tools of the Neuro-Fuzzy Model of Information Risk Management in National Security. International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. Volume-8, Issue-6. 4526-4530 p. <https://www.ijeat.org/wp-content/uploads/papers/v8i6/F8842088619.pdf>

УСОВЕРШЕНСТВОВАНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКА СКРЫТНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Андрей Александрович Зинченко (доктор технических наук, доцент)¹
 Роман Иванович Грозовский¹
 Ирина Анатольевна Зинченко²

¹ *Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*
² *Военный институт телекоммуникаций и информатизации имени Героев Крут, Киев, Украина*

Современные радиотехнические системы характеризуются использованием в качестве носителей информации радиоволны со сложной внутренней структурой. Такие радиоволны характеризуются увеличенной шириной спектра передачи и программного псевдослучайного перестройки рабочей частоты. Наряду с этим, сигналы с увеличенной шириной спектра передачи по своим характеристикам родственные сигналами белого шума, снижает их электромагнитную доступность систем радиоэлектронной разведки.

Итак, в статье представлена усовершенствованная методика оценки скрытности функционирования радиотехнических средств системы военной связи, построенной на средствах радиосвязи, которые в качестве информационного сообщения используют сложную структуру сигнала передачи.

Основным критерием при оценке скрытности функционирования радиотехнических средств избран показатель энергетической скрытности сигналов передачи, а именно, показатель электромагнитной доступности.

Учет показателя электромагнитной доступности источников радиоизлучения со сложными сигналами позволяет более реалистично оценить скрытность функционирования радиотехнических средств системы военной связи, в свою очередь определяет факторы для выработки обоснованных решений относительно выбора режимов работы средств радиосвязи с целью скрытности функционирования элементов системы военной связи.

Ключевые слова: радиотехнические средства; система военной связи; широкополосные сигналы; сигналы с программной перестройкой рабочей частоты.

IMPROVED METHOD OF ASSESSING THE SECRET OF FUNCTIONING OF RADIO TECHNICAL EQUIPMENT

Andrii Zinchenko (Doctor of Technical Sciences, Associate Professor)¹
 Roman Hrozovskyi¹
 Iryna Zinchenko¹

¹ *National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiyi, Kyiv, Ukraine*
² *Military Institute of Telecommunications and Informatics named after Kruty Heroes, Kyiv, Ukraine*

Modern radio engineering systems are characterized by the use of radio waves with a complex internal structure as information carriers. Such radio waves are characterized by an increased transmission spectrum width and programmed pseudo-random tuning of the operating frequency. Along with this, signals with an increased transmission spectrum width are related in their characteristics to white noise signals, which reduces their electromagnetic availability of electronic intelligence systems.

So, the article presents an improved methodology for assessing the secrecy of the functioning of radio technical means of a military communications system, built on radio communications, which use a complex structure of a transmission signal as an information message. The main criterion for assessing the secrecy of the functioning of radio technical means was chosen the indicator of the energy secrecy of transmission signals, namely, the indicator of electromagnetic availability. Taking into account the indicator of the electromagnetic availability of radio emission sources with complex signals makes it possible to more realistically assess the secrecy of the functioning of radio equipment of the military communications system, in turn, determines the factors for making informed decisions regarding the choice of operating modes of radio communications in order to conceal the functioning of the elements of the military communications system.

Keywords: radio equipment; military communication system; broadband signals; signals with software adjustment of the operating frequency.

References

1. Vartanesyan B.A. Radioelektronnaya razvedka. - M.: Voenizdat, 1991. - 254 s.
2. Grozovskiy R.I. RozvidzahischenIst radlotehnlchnih sistem zI skladnimi signalami / R. I. Grozovskiy // Suchasni Informatsiyni tehnologiyi u sferi bezpeki ta oboroni. - 2016. - #3 (27). - s. 26-30.
3. Effektivnost i elektronnaya zaschita voennyih sistem svyazi. A.N. Avsyukevich, V.F. Komarovich, M.V. Simonov. - VAS, 1980. - 220 s.
4. Radioelektronnyie sistemy v informatsionnom konflikte. - M.: Vuzovskaya kniga, 2003. - 528s.
5. Makarenko S.I., Ivanov M.S., Popov S.A. Pomehozaschischenost sistem svyazi s psevdosluchaynoy perestroykoy rabochey chastoty. Monografiya. - SPb.: Svoe izdatelstvo, 2013. - 166 s.
6. Borisov V. I. Pomehozaschischenost sistem radiosvyazi s rasshireniem spektra signalov metodom psevdosluchaynoy perestroyki rabochey chastoty / [V. I. Borisov, V. M. Zinchuk, A. E. Limarev i dr.] - M.: Radio i svyaz, 2000. - 384 s.
7. Pomehozaschischenost radiosistem so slozhnyimi signalami / pod red. G. I. Tuzova. - M.: Radio i svyaz, 1985. - 264 s.
8. Kirsanov E.A., Sirota A.A. Obrabotka informatsii v prostranstvenno-raspredeleennyih sistemah radiomonitoringa: statisticheskiy i neyrosetevoy podhodyi. - M.: FIZMATLIT, 2012. - 344 s.
9. Feer K. Besprovodnaya tsifrovaya svyaz. Metodyi modulyatsii i rasshirenie spektra: Peregod s angliyskogo / Pod redaktsiyey V.I.Zhuravleva. - M.: Radio i svyaz, 2000. - 520 s.
10. A. Khomutenko, A. Mishchenko, A. Ripenko, O. Frum, Z. Liulchak, R. Hrozovskyi. Tools of the Neuro-Fuzzy Model of Information Risk Management in National Security. International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. Volume-8, Issue-6. 4526-4530 p. <https://www.ijcat.org/wp-content/uploads/papers/v8i6/F8842088619.pdf>