

**О.М. Кубрак, к.т.н., доц.**

**П.С. Борисов, ад'юнкт**

*Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова  
Державного університету телекомунікацій*

### **МЕТОДИКА РАДІОПОДАВЛЕННЯ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ З ШУМОПОДІБНИМИ СИГНАЛАМИ**

*Сучасні системи радіозв'язку все частіше використовують шумоподібні сигнали для підвищення перешкодостійкості та прихованості радіомереж. Відомі методи створення радіоперешкод не дозволяють засобам радіоелектронної боротьби ефективно виконувати свої задачі при радіоподавленні таких систем. Це вимагає створення нових підходів до радіоподавлення систем радіозв'язку з шумоподібними сигналами.*

*Наведено результати аналізу існуючої методики радіоподавлення систем радіозв'язку та зроблено висновки щодо способів підвищення її ефективності. Запропоновано методику радіоподавлення систем радіозв'язку з шумоподібними сигналами, яка містить створення структурних перешкод та процедуру плавного регулювання їх потужності. Це дозволяє підвищити ефективність станції перешкод при радіоподавленні вказаних систем радіозв'язку та зменшити енергетичні витрати і радіопомітність засобу радіоелектронної боротьби. Для практичної реалізації даної методики необхідно в станції перешкод передбачити: засіб розвідки, що забезпечить прийом, виявлення та оцінку параметрів шумоподібних сигналів; блок формування структурної перешкоди; блок визначення та регулювання необхідного рівня потужності структурної перешкоди.*

***Ключові слова:** шумоподібний сигнал; станція перешкод; система радіозв'язку; радіоподавлення; структурна перешкода.*

**Постановка проблеми.** Одним з основних завдань при дезорганізації системи управління військами та зброєю противника є подавлення його систем радіозв'язку (СРЗ) [1]. Проте з розвитком цифрових технологій при передачі мови та даних, з метою підвищення перешкодостійкості та прихованості СРЗ, все частіше застосовуються шумоподібні сигнали (ШПС). Одним з способів створення таких сигналів є модуляція несучої частоти псевдовипадковою послідовністю [2, 7–9].

Питання ефективного радіоподавлення (РП) СРЗ з ШПС достатньо активно вивчається в останні роки, проте досі залишається актуальним. Виходячи з можливостей засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), системи радіозв'язку з ШПС можуть бути подавлені шляхом застосування загороджувальної, вузькосмугової або імпульсної перешкод великої потужності [2, 10]. Але такий спосіб не забезпечує мінімізацію радіопомітності засобів РЕБ та може призвести до порушення електромагнітної сумісності. Крім того, однією з умов подавлення радіозв'язку передбачуваного противника є мінімізація необхідної потужності передавача перешкод [3], що забезпечить зниження радіопомітності станції перешкод (СП). Таким чином, застосування зазначених вище видів перешкод для радіоподавлення СРЗ з ШПС не лише не раціональне з точки зору енергетичних витрат, але й призводить до зменшення живучості засобів РЕБ.

Зважаючи на те, що СП є цілями для самонавідної на випромінювання зброї противника, доцільно передбачати такі види перешкод, що забезпечать ідентифікацію СП як радіоелектронного засобу іншого призначення шляхом застосування імітуючих радіоперешкод [3].

Таким чином, сьогодні існує необхідність у створенні нових підходів до РП сучасних засобів радіозв'язку, зокрема тих, що використовують ШПС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У [1] наведено методику радіоподавлення радіозв'язку станцією перешкод. Достатньо глибоко питання підвищення ефективності РП радіозв'язку шляхом оптимального розподілу потужності передавача перешкод розглянуті у [4], проте відсутній аналіз цих питань щодо РП в радіозв'язку створених з використанням шумоподібних сигналів. У [5] наведено метод формування структурних перешкод для радіоподавлення СРЗ з ШПС. Цей метод передбачає формування структурної перешкоди, потужність якої залежить від кількості ШПС в ній або максимальної кількості задаючих багаточленів для даної довжини псевдовипадкової послідовності.

**Метою дослідження** є підвищення ефективності радіоподавлення СРЗ з ШПС шляхом удосконалення методики радіоподавлення СРЗ за рахунок використання структурних перешкод та доповнення операцією плавного регулювання їх потужності.

**Викладення основного матеріалу.** Станцією перешкод використовується методика радіоподавлення СРЗ, яка містить наступні основні операції: приймання та виявлення радіосигналів; оцінювання параметрів радіосигналів (середня частота, ширина спектра, вид передачі тощо); пеленгування джерел радіовипромінювань (ДРВ); формування, підсилення та випромінювання перешкоди; контроль роботи радіолінії [1].

Згідно з методикою, викладеною у [4], проведемо оцінку ефективності РП СРЗ. Приймаючи до уваги високу мобільність сучасних засобів СРЗ, а також можливу відсутність випромінювання (робота в режимі «прийом»), неможливо точно визначити їх кількість та координати. В таких умовах можна вважати, що всі ці засоби розміщені у межах зони дії радіопередавача СРЗ. Зона радіозв'язку такого засобу визначається з умови перевищення потужності сигналу  $P_c$  на вході приймача над його чутливістю  $P_0$  [4].

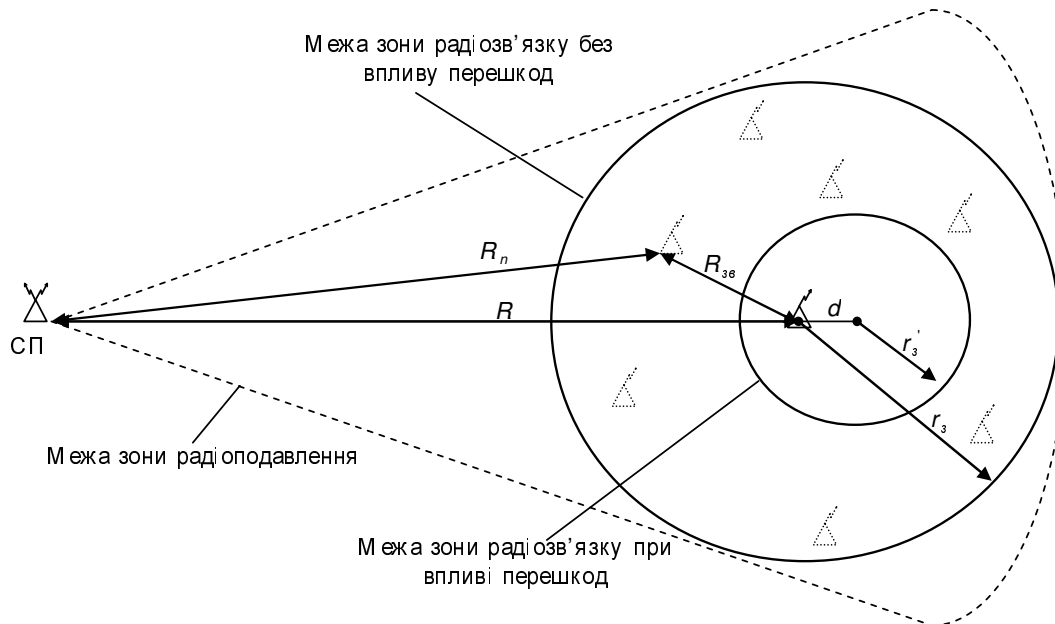


Рис. 1. Зони радіозв'язку та радіоподавлення радіолінії передачі інформації

Розв'язання задачі оцінювання ефективності РП в умовах апріорної невизначеності кількості та координат засобів СРЗ доцільно проводити через щільність їх розподілу та зміну площі зони радіозв'язку при впливі перешкод. При рівномірному розподілі засобів СРЗ оцінка ефективності РП визначається за величиною зменшення площі зони радіозв'язку в умовах впливу перешкод [4]. Вираз для оцінювання ефективності РП  $\bar{E}$  при вказаних умовах має вигляд [4]:

$$\bar{E} = 1 - \frac{S'_{\zeta\hat{a}}}{S_{\zeta\hat{a}}}, \quad (1)$$

де  $S'_{\zeta\hat{a}} = \pi \cdot r'^2_{\zeta}$  – площа зони радіозв'язку при впливі перешкод на СРЗ;

$S_{\zeta\hat{a}} = \pi \cdot r^2_{\zeta}$  – площа зони радіозв'язку без впливу перешкод;

$r_{\zeta}$  – радіус зони радіозв'язку без впливу перешкод (визначається як максимальна дальність зв'язку СРЗ);

$r'_{\zeta} = R \frac{\alpha}{\alpha^2 - 1}$  – радіус зони радіозв'язку при впливі перешкод;

$R$  – відстань між СП та радіопередавачем засобу СРЗ;

$\alpha = \frac{P_{nn} G_{nn}}{P_{nc} G_{nc} K_n}$  – коефіцієнт, який характеризує ступінь впливу перешкоди;

$G_{nc}$  – коефіцієнт підсилення передавальної антени засобу СРЗ;

$G_{nn}$  – коефіцієнт підсилення передавальної антени СП;

$P_{nc}, P_{nn}$  – потужності передавача засобу СРЗ та передавача СП;

$K_n$  – коефіцієнт подавлення.

Графічно зони радіозв'язку та радіоподавлення представлені на рисунку 1, де  $d$  – зміщення центру зони радіозв'язку при впливі радіоперешкод [3].

На рисунку 2 наведено залежність ефективності РП  $\bar{E}$  від потужності передавача СП  $P_{np}$  при різній відстані  $R$  між ним та передавачем СРЗ згідно з (1) при потужності радіопередавача СРЗ  $P_{pc} = 50$  Вт,  $G_{np} = 3$ ,  $G_{pc} = 1$ ,  $K_n = 2$ .

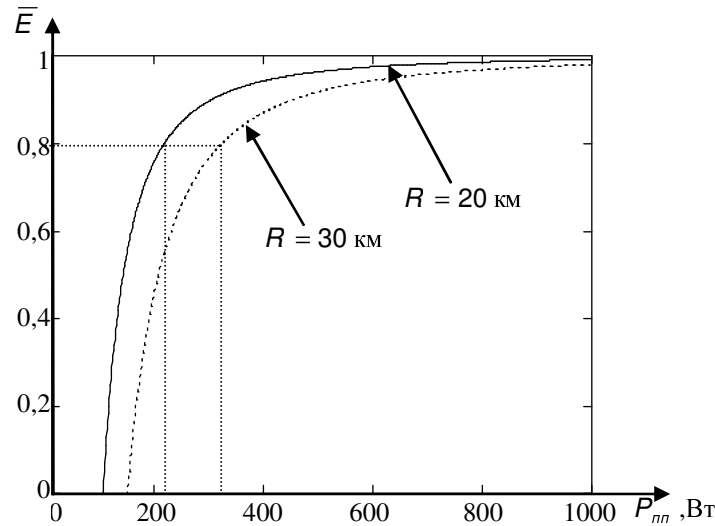


Рис. 2. Залежність ефективності РП СРЗ від потужності передавача перешкод

Аналіз графіків на рисунку 2 показує, що існує певний рівень потужності передавача СП, до якого ефективність РП дорівнює нулю, оскільки зона радіозв'язку не зменшується. Це пояснюється тим, що в даних умовах ще не досягнуто мінімального значення коефіцієнта подавлення. При досягненні деякого значення потужності передавача СП її підвищення несуттєво збільшує ефективність РП. Тому збільшення потужності передавача СП при досягненні певного значення недоцільно.

Пропонується удосконалити існуючу методику [1] щодо подавлення СРЗ з ШПС шляхом застосування структурних перешкод та введення процедури плавного регулювання потужності випромінювання.

Для ефективного функціонування цифрових систем передачі мовних повідомлень допустима ймовірність помилки  $P_{пом}^M$  при прийомі двійкового символу складає  $10^{-2}$ , для цифрових систем передачі даних  $P_{пом}^{\delta} - 10^{-6}$  [6]. Тому критеріями радіоподавлення відповідних цифрових СРЗ є:

$$\begin{aligned} P_{пом}^M &\geq 10^{-2}, \\ P_{пом}^{\delta} &\geq 10^{-6}. \end{aligned}$$

Як відомо [5], для радіоподавлення СРЗ з ШПС можуть використовуватися структурні перешкоди вигляду:

$$S_n(t) = \sum_{i=1}^K A_i \cdot b_i(t - \tau_i) \cdot a_i(t - \tau_i) \cdot \cos(2\pi ft + \phi_i), \quad (2)$$

де  $K$  – кількість ШПС, що складають структурну перешкоду;

$\tau_i$  і  $\phi_i$  – випадковий час затримки та фаза  $i$ -го ШПС;

$A_i$  – амплітуда  $i$ -го ШПС;

$f$  – несуча частота ШПС;

$a_i$  – псевдовипадкова послідовність  $i$ -го ШПС;

$b_i$  – випадкова інформаційна послідовність  $i$ -го ШПС;

За таких умов для забезпечення необхідного критерію подавлення достатньо досягти відношення перешкода/сигнал на вході приймального пристрою СРЗ з ШПС порядку одиниць децибел [5]. Враховуючи те, що в СРЗ за рахунок ШПС можна передавати інформацію при достатньо низьких значеннях відношення сигнал/шум, тому потужність структурної перешкоди може бути порівняно малою, що збільшує прихованість за рахунок зменшення ймовірності правильного виявлення та ідентифікації засобу РЕБ.

Таким чином, у методиці радіоподавлення СРЗ з ШПС пропонується:  
при формуванні перешкоди використовувати структурну перешкоду (2);  
ввести процедуру плавної зміни потужності перешкоди для досягнення достатніх критеріїв радіоподавлення.

Засоби розвідки, що входять до складу комплексу РЕБ, здійснюють оцінку параметрів виявленого сигналу СРЗ з ШПС:

$$\{\hat{P}_c, \hat{f}, \hat{L}, \hat{\tau}_{imp}, \hat{\tau}_b, \hat{x}, \hat{y}\}, \quad (3)$$

де  $\hat{P}_c$  – оцінка потужності прийнятого сигналу;

$\hat{f}$  – оцінка несучої частоти сигналу;

$\hat{L}$  – оцінка коефіцієнта розширення спектра сигналу;

$\hat{\tau}_{imp}$  – оцінка тривалості імпульсу псевдовипадкової послідовності;

$\hat{\tau}_b$  – оцінка тривалості біту даних;

$\hat{x}, \hat{y}$  – оцінка координат ДРВ.

Зрівняння радіозв'язку [3] визначається потужність випромінювання радіостанції СРЗ  $P_{pc}$ :

$$P_{pc} = \frac{\hat{P}_c 4\pi R^2}{G_{ptr} G_{pc} \lambda^2}, \quad (4)$$

де  $G_{ptr}$  – коефіцієнт підсилення приймальної антени засобу РЕБ в напрямку радіопередавача СРЗ з ШПС;

$\lambda$  – довжина хвилі сигналу ( $\lambda = \frac{c}{f}$ ,  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с).

Розраховане значення  $P_{pc}$  дозволяє оцінити рівень сигналу СРЗ в межах зони радіозв'язку [3]:

$$P_c'' = \frac{P_{pc} G_{pr} G_{pc} \lambda^2}{4\pi R_{ze}^2}, \quad (5)$$

де  $R_{ze}$  – відстань між радіопередавачем та радіоприймачем СРЗ з ШПС;

$G_{pr}$  – коефіцієнт підсилення приймальної антени засобу СРЗ з ШПС;

Значення потужності структурної перешкоди  $P_n$  на вході приймача СРЗ, необхідної для забезпечення встановленого критерію подавлення ( $P_{пом} \geq P_{пом}^m$ ,  $P_{пом} \geq P_{пом}^d$ ) знаходиться з виразу для визначення ймовірності помилки [2]:

$$P_{пом} = \frac{\chi \cdot \beta}{\sqrt{4\pi \frac{E_c}{N_0}}} \exp\left[\frac{E_c}{N_0} \left(\frac{1}{\chi^2} - \frac{2}{\chi}\right)\right], \quad (6)$$

де  $\chi = 1 + \frac{4K}{L} \frac{E_n}{N_0}$ ;  $\beta = \left[ I_0 \left( \frac{4}{\chi} \sqrt{\frac{E_c E_n}{N_0 N_0 L}} \right) \right]^K$ ;

$I_0$  – модифікована функція Бесселя нульового порядку;

$E_n$  – енергія перешкоди на вході приймача ( $E_n = P_n \cdot \tau_b$ );

$E_c$  – енергія сигналу СРЗ на вході приймача ( $E_c = P_c'' \cdot \tau_b$ );

$N_0$  – спектральна щільність потужності шуму приймача.

Процедура визначення потужності структурної перешкоди  $P_n$  за (6) має ітераційний характер.

Потужність випромінювання передавача перешкод розраховується з так [3]:

$$P_{pn} = \frac{P_n 4\pi R_n^2}{G_{pn} G_{pr} \lambda^2} \quad (7)$$

де  $R_n$  – відстань між засобом РЕБ та засобом СРЗ з ШПС;

Таким чином, пропонується методика радіоподавлення СРЗ з ШПС, яка містить наступні операції:

1. Приймання та виявлення ШПС.
2. Оцінювання параметрів ШПС  $\{\hat{P}_c, \hat{f}, \hat{L}, \hat{\tau}_{imp}, \hat{\tau}_b\}$ .
3. Вимірювання координат радіостанцій СРЗ, що працюють в режимі «передача»  $\{\hat{x}, \hat{y}, \hat{R}\}$ .
4. Формування структурної перешкоди згідно з (2).

5. Визначення необхідного рівня потужності перешкоди для забезпечення заданого критерію подавлення  $P_{пом}^M$  або  $P_{пом}^{\delta}$  згідно з (4)–(7).

6. Підсилення та випромінювання перешкоди.

7. Контроль роботи радіолінії.

Для практичної реалізації даної методики необхідно в СП передбачити: засіб розвідки, що забезпечить прийом, виявлення та оцінку параметрів ШПС; блок формування структурної перешкоди; блок визначення та регулювання необхідного рівня потужності структурної перешкоди.

**Висновки.** В статті запропоновано методику радіоподавлення СРЗ з ШПС шляхом застосування структурних перешкод. Застосування даної методики дозволить здійснювати оптимізацію радіоподавлення СРЗ з ШПС за критерієм мінімуму потужності передавача перешкод ( $P_{пп} \rightarrow \min$ ) за рахунок процедури визначення необхідного рівня потужності структурної перешкоди, це в свою чергу зменшує вимоги до енергетичних витрат та збільшує прихованість засобу РЕБ.

#### Список використаної літератури:

1. *Змиевский В.В.* Теория радиоэлектронного подавления. Техника РЕП и ее эксплуатация. Ч. 1. Теория радиоэлектронного подавления / *В.В. Змиевский, С.Л. Емельянов.* — Х. : ВИРТА ПВО, 1991. — 239 с.
2. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью / *В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев и др.* ; под ред. *В.И. Борисова.* — М. : Радио и связь, 2003. — 640 с.
3. *Куприянов А.И.* Теоретические основы радиоэлектронной борьбы : учеб. пособие / *А.И. Куприянов, А.В. Сахаров.* — М. : Вузовская книга, 2007. — 356 с.
4. *Журавський Ю.В.* Оцінювання ефективності радіоподавлення в умовах невизначеності кількості та координат радіоприймачів / *Ю.В. Журавський* // Зб. наук. праць Житомирського військового ін-ту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету. – Житомир, 2008. – Вип. 1. – С. 196–200.
5. *Борисов П.С.* Метод формирования структурных помех для подавления систем радиосвязи с шумоподобными сигналами / *П.С. Борисов, А.Н. Кубрак* // Известия Гомельского гос. ун-та им. Ф.Скорины ; Естественные науки. – Гомель, 2014. – Вип. 6 (87). – С. 182–186.
6. *Окунев Ю.Б.* Цифровая передача информации фазомодулированными сигналами / *Ю.Б. Окунев.* — М. : Радио и связь, 1991. — 296 с.
7. *Варакин Л.Е.* Системы связи с шумоподобными сигналами / *Л.Е. Варакин.* — М. : Радио и связь, 1985. — 384 с.
8. *Прокис Дж.* Цифровая связь / пер. с англ. *Дж.Прокис* ; под ред. *Д.Д. Кловского.* — М. : Радио и связь, 2000. — 800 с.
9. *Torrieri D.J.* Principles of spread-spectrum communication systems / *D.J. Torrieri.* — Springer Science, 2005. — 444 p.
10. *Poisel R.A.* Modern communications jamming principles and techniques / *R.A. Poisel.*— MA : Artech House, 2011. — 870 p.

КУБРАК Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, начальник факультету радіоелектронної розвідки та радіоелектронної боротьби Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Державного університету телекомунікацій.

Наукові інтереси:

– цифрова обробка та формування радіосигналів;

– моделювання радіотехнічних засобів.

Тел.: (067)324–81–73.

E-mail: kubrik74@mail.ru.

БОРИСОВ Петро Спиридонович – ад'юнкт науково-організаційного відділення Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Державного університету телекомунікацій.

Наукові інтереси:

– цифрова обробка радіосигналів;

– формування радіоперешкод.

Тел.: (067)225–24–14.

E-mail: oksrad21@gmail.com.

Стаття надійшла до редакції 10.12.2014

**Кубрак О.М., Борисов П.С.** Методика радіоподавлення систем радіозв'язку з шумоподібними сигналами

**Кубрак А.Н., Борисов П.С.** Методика радіоподавлення систем радіосвязи с шумоподібними сигналами

**Kubrak A.N., Borysov P.S.** The jamming technique of wireless systems with noise-like signals

УДК 621.396

**Методика радіоподавлення систем радіосвязи с шумоподібними сигналами / А.Н. Кубрак, П.С. Борисов**

Современные системы радиосвязи все чаще используют шумоподобные сигналы для повышения помехоустойчивости и скрытности радиосетей. Известные методы создания радиопомех не позволяют средствам радиоэлектронной борьбы эффективно выполнять свои задачи при радиоподавлении таких систем. Это требует создания новых подходов для радиоподавления систем радиосвязи с шумоподобными сигналами.

В работе приведены результаты анализа существующей методики радиоподавления систем радиосвязи и сделаны выводы касательно способов повышения её эффективности. Предложена методика радиоподавления систем радиосвязи с шумоподобными сигналами, которая включает создание структурных помех и процедуру плавной регулировки их мощности. Это позволяет повысить эффективность станции помех при радиоподавлении указанных систем радиосвязи и уменьшить энергетические затраты, а также радиозаметность средства радиоэлектронной борьбы. Для практической реализации данной методики необходимо предусмотреть в станции помех: средство разведки, обеспечивающее прием, обнаружение и оценку параметров шумоподобных сигналов; блок формирования структурной помехи; блок расчета и регулировки необходимого уровня мощности структурной помехи.

**Ключевые слова:** шумоподобный сигнал; станция помех; система радиосвязи; радиоподавление; структурная помеха.

УДК 621.396

**The jamming technique of wireless systems with noise-like signals / A.N. Kubrak, P.S. Borysov**

The modern wireless systems even more often use noise-like signals for increase of interference immunity and reserve of radio networks. Known methods of creation of barriers do not provide to carry out effectively the tasks at jamming such systems by of jamming systems. It demands creation of new approaches for radio suppression of wireless systems with noise-like signals.

In operation results of the analysis of an existing technique of the jamming of wireless systems are resulted and outputs concerning methods of increase of its efficiency are drawn. The jamming technique of wireless systems with noise-like signals, which includes creation of structural barriers and procedure of the smooth regulation of their power, is offered. It allows to raise efficiency of jamming station at radio suppression of the specified wireless systems and to reduce energetic expenses, and also a radio visibility of jamming station. For practical implementation of the given technique it is necessary to provide in jamming station: the means of intelligence providing reception, detection and an estimation of noise-like signals parameters; the unit of formation of a structural barrier; the unit of calculation and regulation of necessary power level of a structural b.

**Keywords:** noise-like signal; jamming station; wireless system; jamming; structure barrier.