

УДК 621.396.96

Ю.В. Журавський

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова НАУ, Житомир

## ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РАДІОПОДАВЛЕННЯ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ КООРДИНАТ ПРИЙМАЧІВ

Запропоновано розв'язання задачі оцінювання ефективності радіоподавлення систем радіозв'язку в умовах невизначеності координат приймачів, яке ґрунтується на використанні щільності їх розподілу та змін зони радіозв'язку при впливі перешкод. Отримані результати мають рівень, який дозволяє використовувати їх практично. Перспективи подальших досліджень у даному напрямку полягають у розробці методів та підходів до оцінювання ефективності РП в умовах ще більшої невизначеності як координат, так й інших параметрів радіоелектронних засобів.

**Ключові слова:** система радіозв'язку, ефективність радіоподавлення, невизначеність координат.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Застосування сил та засобів радіоелектронної боротьби істотно впливає на ефективність ведення сучасних бойових дій, що зумовлено важливістю ролі радіоелектронних засобів в управлінні військами і зброєю. Однією з характерних особливостей воєнних операцій у наш час є їх висока динамічність, що може бути причиною суттєвої невизначеності відносно радіоелектронних засобів, які є об'єктами радіоподавлення (РП). Така невизначеність у багатьох випадках не дозволяє здійснювати оцінювання ефективності РП систем радіозв'язку (СРЗ) відомими методами та підходами, що може призводити до помилок у плануванні радіоподавлення. Таким чином, розробка методів оцінювання ефективності РП в умовах невизначеності є важливим науково-практичним завданням.

**Аналіз літератури.** Оцінювання ефективності РП СРЗ розглядається у багатьох джерелах, наприклад [1 – 3], де воно здійснюється на основі побудови зони подавлення, під якою розуміється геометричне місце точок, у яких потужність перешкоди певним чином перевищує потужність сигналу системи радіозв'язку. Визначення ефективності РП СРЗ здійснюється після побудови зони подавлення шляхом порівняння її з координатами радіоприймачів. Такий підхід дозволяє оцінювати ефективність РП тільки в умовах відомих координат передавача та приймачів СРЗ, які в умовах сучасних бойових дій, як правило, не відомі. Крім того, висока мобільність сучасних радіоелектронних засобів взагалі не дозволяє точно визначати їх координати на тривалий проміжок часу. Таким чином, невирішеною раніше частиною загальної проблеми є оцінювання в умовах невизначеності координат приймачів СРЗ.

**Метою статті** є обґрунтування підходів до оцінювання ефективності РП в умовах невизначеності координат приймачів СРЗ та розв'язання задачі оцінювання ефективності РП у даних умовах.

### Основний матеріал досліджень

Нехай розглядається наземна СРЗ, яка складається з одного передавача та  $n$  приймачів, які здійснюють прийом сигналів на фоні білого (гауссівського) шуму при великому відношенні сигнал/шум. Відомо потужність передавача СРЗ  $P_{\text{пс}}$  та його координати  $(x_c, y_c)$ . Антени передавача і приймачів СРЗ мають кругові діаграми спрямованості. Задано координати  $(x_n, y_n)$  та потужність  $P_{\text{пп}}$  передавача перешкод засобу радіоелектронного подавлення, максимум діаграми спрямованості якого напрямлено на СРЗ. Необхідно оцінити ефективність радіоподавлення СРЗ в умовах невизначеності координат приймачів.

В даних умовах можна вважати, що всі  $n$  приймачів СРЗ розміщені у межах зони радіозв'язку  $\gamma(x, y)$ , яка визначається з умови перевищення потужності сигналу  $P_c$  над їх чутливістю  $P_o$  [4]. Таке припущення можливе завдяки тому, що оцінювати ефективність РП приймачів, які знаходяться поза межами зони радіозв'язку, немає сенсу, оскільки радіозв'язок з ними і так не підтримується. Аналітичний вираз для зони радіозв'язку можна записати таким чином:

$$\gamma(x, y) = \begin{cases} 1, & P_c(x, y) \geq P_o, \\ 0, & P_c(x, y) < P_o. \end{cases} \quad (1)$$

Потужність сигналу СРЗ у будь-якій точці  $P_c(x, y)$  при відомих координатах і потужності передавача може бути розрахована відомим способом через відстань та загасання сигналу на трасі розповсюдження [4]. Для умов невизначеності координат приймачів доцільно ввести щільність їх розподілу  $\Psi_n(x, y)$  [5], яка може бути отримана шляхом статистичної обробки експериментальних даних (наприклад, результатів військових навчань) про розміщення приймачів у зоні радіозв'язку типових СРЗ. Величиною вимірювання  $\Psi_n(x, y)$  є середня кількість приймачів на одиницю площі зони радіо-

зв'язку. При визначенні залежності  $\Psi_n(x, y)$  необхідно виконувати такі вимоги [5]:

$$\iint_{\gamma(x, y)} \Psi_n(x, y) dx dy = n. \quad (2)$$

Оскільки затрати на радіоподавлення у даній задачі можна вважати постійними [1], ефективність РП системи радіозв'язку  $E$  доцільно оцінювати безпосередньо за ефектом – часткою подавлених приймачів [1, 2]:

$$E = \frac{n_p}{n} = \frac{n - n_{np}}{n} = 1 - \frac{n_{np}}{n}, \quad (3)$$

де  $n_p$ ,  $n_{np}$  – кількість подавлених та неподавлених радіоприймачів.

Радіоприймач можна вважати неподавленим, якщо він знаходиться у зоні  $\gamma'(x, y)$ , яка залишається від  $\gamma(x, y)$  при впливі перешкод. Зона радіозв'язку при впливі перешкод  $\gamma'(x, y)$  визначається з умови відповідного перевищення потужності сигналу СРЗ над потужністю перешкоди  $P_p$ . Аналітичний вираз для даної зони можна записати у вигляді

$$\gamma'(x, y) = \begin{cases} 1, & P_c(x, y) \geq K_p^{-1} P_p(x, y), \\ 0, & P_c(x, y) < K_p^{-1} P_p(x, y), \end{cases} \quad (4)$$

де  $K_p$  – коефіцієнт подавлення [1].

Потужність перешкоди у будь-якій точці  $P_p(x, y)$  при відомих координатах і потужності передавача перешкод може бути розрахована відомим чином через відстань та загасання перешкоди на трасі розповсюдження [2, 4].

Кількість неподавлених приймачів можна розрахувати через  $\Psi_n(x, y)$  та  $\gamma'(x, y)$  таким чином [5]:

$$n_{np} = \iint_{\gamma'(x, y)} \Psi_n(x, y) dx dy. \quad (5)$$

Враховуючи фізичну сутність залежності  $\Psi_n(x, y)$ , можна зробити висновок про те, що сама її форма несуттєво залежить від кількості приймачів у СРЗ, тоді можна зробити припущення

$$\Psi_n(x, y) = n \Psi_1(x, y), \quad (6)$$

де  $\Psi_1(x, y)$  – щільність розподілу одного радіоприймача у зоні радіозв'язку,  $m^2$ .

Залежність  $\Psi_1(x, y)$  аналогічно (2) повинна задовольняти вимогам

$$\int \int_{\gamma(x, y)} \Psi_1(x, y) dx dy = 1. \quad (7)$$

Підставляючи (5) та (6) у (3), отримаємо

$$E = 1 - \frac{1}{n} \left( \int \int_{\gamma'(x, y)} \Psi_1(x, y) dx dy \right). \quad (8)$$

Після скорочення кількості приймачів  $n$  маємо

$$E = 1 - \int \int_{\gamma'(x, y)} \Psi_1(x, y) dx dy. \quad (9)$$

Аналіз отриманого виразу (9) показує, що оцінювання ефективності РП в умовах невизначеності

координат приймачів СРЗ доцільно здійснювати через щільність їх розподілу та зміни зони радіозв'язку при впливі перешкод. Вираз (9) не містить параметрів, які визначають координати радіоприймачів, тому може бути використаний для оцінювання ефективності РП при їх невизначеності. Для цього потрібно заздалегідь визначити щільності розподілу приймачів для типових СРЗ, які можуть бути об'єктами РП, та розрахувати зону радіозв'язку після впливу перешкод на СРЗ.

На практиці в багатьох випадках, у тому числі при невідомому вигляді щільності розподілу  $\Psi_1(x, y)$ , її можна вважати рівномірною, тоді з урахуванням цього припущення та вимоги (7) отримаємо

$$\Psi_1(x, y) = \begin{cases} S_{зв}^{-1}, & (x, y) \in \gamma(x, y), \\ 0, & (x, y) \notin \gamma(x, y), \end{cases} \quad (10)$$

де  $S_{зв}$  – площа зони радіозв'язку,  $m^2$ .

З урахуванням (1) площа  $S_{зв}$  розраховується таким чином [5]:

$$S_{зв} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \gamma(x, y) dx dy. \quad (11)$$

Підставляючи (10) та (11) у (3), отримаємо вираз для оцінювання ефективності РП при рівномірному розподілі приймачів  $\bar{E}$ :

$$\bar{E} = 1 - \int \int_{\gamma'(x, y)} \frac{1}{S_{зв}} dx dy = 1 - \frac{S'_{зв}}{S_{зв}}, \quad (12)$$

де  $S'_{зв}$  – площа зони радіозв'язку при впливі перешкод на СРЗ,  $m^2$ .

Площа  $S'_{зв}$  розраховується аналогічно (11) через подвійний інтеграл від  $\gamma'(x, y)$ :

$$S'_{зв} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \gamma'(x, y) dx dy. \quad (13)$$

Підставляючи (11) та (13) у (12), отримаємо остаточний вираз для оцінювання ефективності РП при рівномірному розподілі приймачів СРЗ у зоні радіозв'язку:

$$\bar{E} = 1 - \frac{\int \int_{-\infty}^{\infty} \gamma'(x, y) dx dy}{\int \int_{-\infty}^{\infty} \gamma(x, y) dx dy}. \quad (14)$$

Аналіз виразу (14) показує, що як і (9), він не містить параметрів, які визначають координати приймачів, тому може бути використаний для оцінювання ефективності РП при їх невизначеності. За даних умов та припущень оцінювання відбувається за величиною зменшення площі зони радіозв'язку при впливі перешкод на СРЗ. Вираз (14) є частковим випадком виразу (9) для рівномірного розподілу приймачів (10).

На рис. 1 наведено приклад оцінювання ефективності РП згідно (14) при таких вихідних даних:  $x_p = 10$  км;  $y_p = 20$  км;  $x_c = 30$  км;  $y_c = 20$  км;  $P_{np} = 500$  Вт;  $P_{pc} = 50$  Вт;  $P_o = 10^{-8}$  Вт. На рис. 2 показано залежність ефективності  $\bar{E}$  від потужності передавача перешкод при різній відстані  $R$  між ним та передавачем СРЗ.

## Висновки

Таким чином, у результаті проведених досліджень запропоновано розв'язок задачі оцінювання ефективності радіоподавлення систем радіозв'язку в умовах невизначеності координат приймачів. Для таких умов оцінювати ефективність радіоподавлення доцільно через щільність розподілу приймачів та зміни зони радіозв'язку при впливі перешкод на СРЗ. При рівномірному розподілі приймачів оцінка ефективності визначається за величиною зменшення площі зони радіозв'язку при впливі перешкод на СРЗ. Отримані результати мають рівень, який дозволяє використовувати їх практично.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямку полягають у розробці методів та підходів до оцінювання ефективності РП в умовах ще більшої невизначеності як координат, так й інших параметрів радіоелектронних засобів.

## Список літератури

1. Радзиевский В.Г. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / В.Г. Радзиевский. – М.: Радиотехника, 2006. – 424 с.
2. Перунов Ю.М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Ю.М. Перунов. – М.: Радиотехника, 2003. – 419 с.
3. Куприянов А.И. Радиоэлектронные системы в информационном конфликте / А.И. Куприянов. – М.: Вузовская книга, 2003. – 442 с.
4. Скляр Б.В. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. / Б.В. Скляр. – М.: Издательский дом Вильямс, 2003. – 1104 с.
5. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1968. – 716 с.

Надійшла до редколегії 10.02.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Манойлов, Житомирський державний технологічний університет, Житомир.

### ОЦЕНИВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОПОДАВЛЕНИЯ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ КООРДИНАТ ПРИЁМНИКОВ

Ю.В. Журавский

Предложено решение задачи оценивания эффективности радиоподавления систем радиосвязи в условиях неопределённости координат приёмников, которое основывается на использовании плотности их распределения и изменения зоны радиосвязи при воздействии помех. Полученные результаты имеют уровень, который позволяет использовать их практически. Перспективы последующих исследований в данном направлении заключаются в разработке методов и подходов к оцениванию эффективности радиопомех в условиях еще большей неопределённости как координат, так и других параметров радиоэлектронных средств.

**Ключевые слова:** система радиосвязи, эффективность радиоподавления, неопределённость координат.

### EVALUATION OF RADIOJAMMING EFFICIENCY RADIOCOMMUNICATION SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY OF RECEIVERS CO-ORDINATES

U.V. Zhuravskij

Propose task solution of evaluation of radiojamming efficiency of radiocommunication systems in the conditions of uncertainty of receivers co-ordinates of radio, which is based on using of distribute density of receivers and changes of radio contact zone under jam influencing. The got results have a level which allows to use them practically. The prospects of subsequent researches in this direction consist in development of methods and approaches to the evaluation of efficiency of radio interferences in the conditions of yet greater vagueness of both co-ordinates and other parameters of facilities of radios electronic.

**Keywords:** radiocommunication system, radiojamming efficiency, uncertainty of co-ordinates.

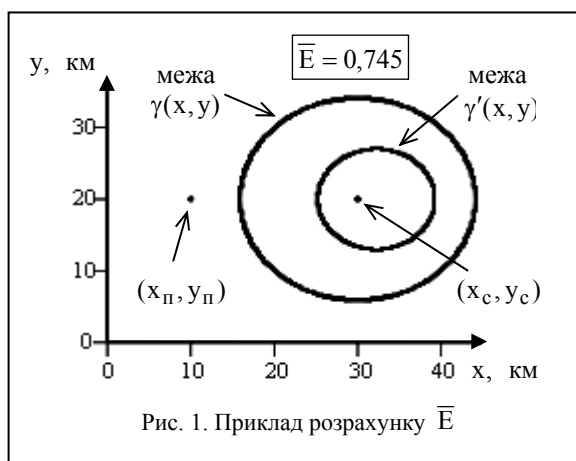


Рис. 1. Приклад розрахунку  $\bar{E}$

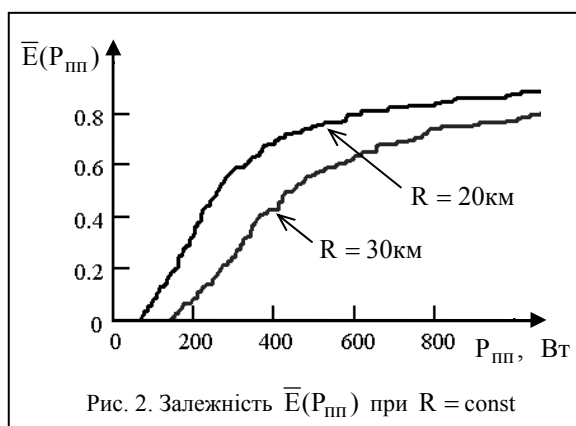


Рис. 2. Залежність  $\bar{E}(P_{\text{пп}})$  при  $R = \text{const}$

Аналіз отриманих результатів (рис. 1, 2) показує, що існує певний пороговий рівень потужності передавача перешкод, до якого ефективність РП дорівнює нулю, оскільки зона радіозв'язку ще не зменшується. При досягненні деякого значення  $P_{\text{пп}}$  (на рис. 2 близько 600 Вт), подальше її підвищення несуттєво збільшує ефективність РП, що зумовлено необхідністю дуже великих енергетичних витрат для порушення радіозв'язку безпосередньо біля передавача СРЗ.