

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РАДІОПОДАВЛЕННЯ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ КІЛЬКОСТІ ТА КООРДИНАТ РАДІОПРИЙМАЧІВ

У статті запропоновано розв'язання задачі оцінювання ефективності радіоподавлення систем радіозв'язку в умовах невизначеності кількості та координат радіоприймачів, яке ґрунтується на використанні щільності розподілу радіоприймачів та змін зони радіозв'язку при впливі перешкод.

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 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.

Огляд останніх досліджень та публікацій. Оцінювання ефективності РП розглядається у багатьох джерелах, наприклад [1-3], де воно здійснюється на основі побудови так званої «зони радіоподавлення», під якою розуміється геометричне місце точок, у яких потужність перешкоди певним чином перевищує потужність сигналу системи радіозв'язку (СРЗ). Визначення ефективності РП здійснюється після побудови зони радіоподавлення шляхом порівняння її з координатами радіоприймачів. Такий підхід дозволяє оцінювати ефективність РП тільки в умовах відомих координат радіопередавача та радіоприймачів СРЗ. Але кількість та координати радіоприймачів СРЗ 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. Оцінити кількість радіоприймачів у конкретній СРЗ також проблематично, у тому числі через можливу відсутність їх випромінювання.

Таким чином, не вирішеною раніше частиною загальної проблеми оцінювання ефективності радіоподавлення при невідомих вихідних даних є оцінювання в умовах невизначеності кількості та координат радіоприймачів СРЗ.

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

Виклад основного матеріалу. Нехай розглядається наземна СРЗ, яка складається з одного радіопередавача та n радіоприймачів, які здійснюють прийом сигналів на фоні білого (гауссівського) шуму при великому відношенні сигнал/шум. Відомо потужність

передавача СРЗ – P_{PC} та його координати – (x_C, y_C) . Антени радіопередавача і радіоприймачів СРЗ мають кругові діаграми спрямованості. Задано координати – (x_{II}, y_{II}) та потужність – P_{III} передавача перешкод засобу РП, максимум діаграми спрямованості якого напрямлено на СРЗ. Необхідно оцінити ефективність радіоподавлення СРЗ в умовах невизначеності кількості радіоприймачів n та їх координат (x_i, y_i) , $i = \overline{1..n}$.

В умовах невизначеності кількості радіоприймачів у СРЗ можна вважати, що всі вони розміщені у межах зони радіозв'язку, яка визначається з умови перевищення потужності сигналу P_C над їх чутливістю – P_O [4]. Таке припущення можливе завдяки тому, що оцінювати ефективність РП радіоприймачів, які знаходяться поза межами зони радіозв'язку, немає сенсу, оскільки радіозв'язок з ними і так не підтримується. Аналітичний вираз для зони радіозв'язку – $\gamma(x, y)$ 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 радіопередавача може бути розрахована відомим способом через відстань та загасання сигналу на трасі розповсюдження [4].

Для умов невизначеності кількості та координат радіоприймачів 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 радіоприймачів у зоні радіозв'язку типових СРЗ. Величиною вимірювання $\Psi_n(x, y)$ є тобто середня кількість радіоприймачів на одиницю площі зони радіозв'язку. При визначенні залежності $\Psi_n(x, y)$ необхідно, щоб [5]:

$$\int_{-\infty-\infty}^{\infty \infty} \int \Psi_n(x, y) dx dy = \int_{\gamma(x, y)} \int \Psi_n(x, y) dx dy = n. \quad (2)$$

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

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

де n_{II} , n_{III} – 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_{II} . Аналітичний вираз для даної зони можна записати у вигляді

$$\gamma'(x, y) = \begin{cases} 1, & P_C(x, y) \geq K_{II}^{-1} P_{II}(x, y), \\ 0, & P_C(x, y) < K_{II}^{-1} P_{II}(x, y), \end{cases} \quad (4)$$

де K_{II} – коефіцієнт подавлення [1].

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

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

$$n_{НП} = \int \int_{\gamma'(x,y)} \Psi_n(x, y) dx dy. \quad (5)$$

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

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

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

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

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

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

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

Після скорочення невідомої кількості радіоприймачів n матимемо

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

Аналіз отриманого виразу (9) показує, що оцінювання ефективності РП в умовах невизначеності кількості та координат радіоприймачів СРЗ доцільно здійснювати через щільність їх розподілу та зону радіозв'язку при впливі перешкод. Вираз (9) не містить параметрів, які визначають кількість або координати радіоприймачів, тому може бути використаний для оцінювання ефективності РП при їх невизначеності. Для цього потрібно заздалегідь визначити щільності розподілу радіоприймачів 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

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

де $S_{ЗВ}$ – площа зони радіозв'язку, м².

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

$$S_{3B} = \int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} \gamma(x, y) dx dy. \quad (11)$$

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

$$\bar{E} = 1 - \int_{\gamma'(x,y)} \int \frac{1}{S_{3B}} dx dy = 1 - \frac{1}{S_{3B}} \int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} \gamma'(x, y) dx dy = 1 - \frac{S'_{3B}}{S_{3B}}, \quad (12)$$

де S'_{3B} – площа зони радіозв'язку при впливі перешкод на СРЗ, m^2 .

Площа S'_{3B} розраховується аналогічно (11) через подвійний інтеграл від $\gamma'(x, y)$:

$$S'_{3B} = \int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} \gamma'(x, y) dx dy. \quad (13)$$

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

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

Аналіз виразу (14) показує, що як і (9), він не містить параметрів, які визначають кількість або координати радіоприймачів, 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.

На рис. 1 наведено приклад оцінювання ефективності РП згідно з (14) при таких вихідних даних: $x_{\Pi} = 10$ км; $y_{\Pi} = 20$ км; $x_C = 30$ км; $y_C = 20$ км; $P_{\text{III}} = 500$ Вт; $P_{\text{IC}} = 50$ 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.

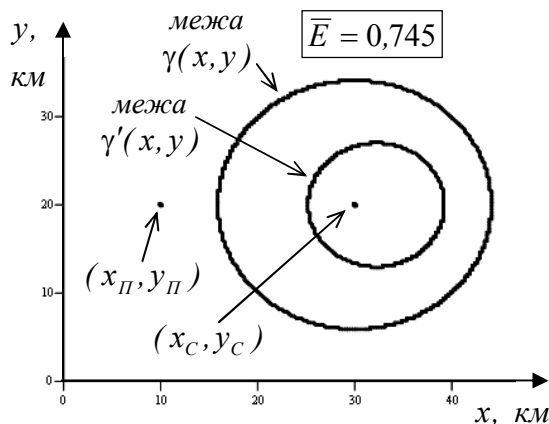


Рис. 1

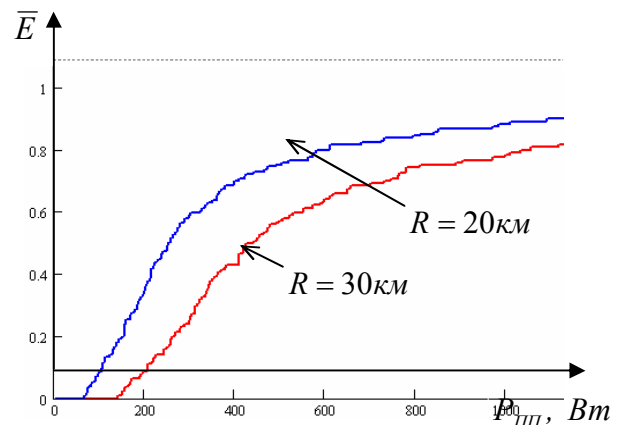


Рис. 2

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 потужності передавача перешкод (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 радіопередавача СРЗ (рис. 1).

Висновки. Таким чином, у результаті проведених досліджень запропоновано розв'язання задачі оцінювання ефективності радіоподавлення систем радіозв'язку в умовах невизначеності кількості та координат радіоприймачів. Для таких умов оцінювати ефективність радіоподавлення доцільно через щільність розподілу радіоприймачів та зміну зони радіозв'язку при впливі перешкод на СРЗ. При рівномірному розподілі радіоприймачів 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, К. И. Фомичев, Л. М. Юдин. – М. : Радиотехника, 2003. – 419 с.
3. Куприянов А. И. Радиоэлектронные системы в информационном конфликте / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров. – М. : Вузовская книга, 2003. – 442 с.
4. Скляр Б. В. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. В. Скляр; пер. с англ. – 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.

Подано 15.07.08

Ю. В. Журавский

ОЦЕНИВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОПОДАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ КОЛИЧЕСТВА И КООРДИНАТ РАДИОПРИЕМНИКОВ

В статье предложено решение задачи оценивания эффективности радиоподавления систем радиосвязи в условиях неопределенности количества и координат радиоприемников, которое основано на использовании плотности распределения радиоприемников и изменений зоны радиосвязи при влиянии помех.

U. V. Zhuravskij

EVALUATION OF RADIOJAMMING EFFICIENCY IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY OF QUANTITY AND CO-ORDINATES OF RADIO RECEIVERS.

In the article propose task solution of evaluation of radiojamming efficiency of radiocommunication systems in the conditions of uncertainty of quantity and co-ordinates of radio receivers, which is based on using of distribute density of radio receivers and changes of radio contact zone under jam influencing.