

ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ ПОДАВЛЕННЯ ЗАСОБІВ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

В роботі розглядається задача оцінювання ймовірності подавлення засобів радіозв'язку в залежності від електромагнітної обстановки в багатопроменевому каналі зв'язку. Показано, що ефективність радіоелектронного подавлення можна значно знизити за рахунок вибору місць розміщення радіозасобів (зміни топології мережі радіозв'язку).

Кувшинов А.В., Ольшанський В.В., Макарчук В.І. Оценка вероятности подавления средств радиосвязи. В статье рассматривается задача оценивания вероятности подавления средств радиосвязи в зависимости от электромагнитной обстановки в многолучевом канале связи. Показано, что эффективность радиоэлектронного подавления можно значительно снизить за счет выбора мест размещения радио средств (изменения топологии сети радиосвязи).

A. Kuvshinov, V. Olshanskiy, V. Makarchuk Estimation of probability of suppression of facilities of radio contact. In the article the task of evaluation of probability of suppression of facilities of radio contact is examined depending on an electromagnetic situation in a multibeam communication channel. It is shown that efficiency of radio electronic suppression can be considerably brought down due to the choice of places of placing of radio of facilities (changes of topology of network of radio contact).

Ключові слова: радіоелектронне подавлення, багатопроменевість, відношення завада-сигнал.

Вступ

Сучасні військові системи і засоби радіозв'язку діють в умовах активної радіоелектронної боротьби [1 – 5]. Постійне вдосконалення засобів радіорозвідки та радіозавад, впровадження автоматизованих комплексів радіоелектронного подавлення (РЕП) призвело за останні роки до істотного підвищення можливостей по радіоподавленню засобів радіозв'язку. Враховуючі це, стає досить складним завдання забезпечення стійкого радіозв'язку в умовах РЕП.

Аналіз останніх публікацій.

Аналіз останніх робіт свідчить, що важливим етапом у розвитку методів оцінки ефективності РЕП засобів радіозв'язку є перехід від детерміністичних методів оцінки [1, 3, 5, 6] до статистичних методів [7 – 9], які дозволяють враховувати припустимий ризик (імовірність неподавлення). Це обумовлено тим, що детерміністичні моделі не можуть застосовуватися у випадках, коли на відношення сигнал-завада впливають випадкові фактори, обумовлені: зміною характеристик засобів радіозв'язку і параметрів середовища поширення радіосигналів; залежністю закону розподілу відношення потужностей завадової і сигнальної складових від законів розподілу потужностей кожної з них з урахуванням топології системи радіозв'язку і системи радіоелектронного подавлення.

Метою роботи є проведення оцінки ймовірності подавлення засобів радіозв'язку в залежності від відношення сигнал-завада в багатопроменевому каналі зв'язку з навмисними завадами. В багатопроменевому каналі зв'язку сигнал поширюється декількома шляхами і на антену приймача впливають кілька променів переданого сигналу. У цьому випадку прийнятий сигнал представляє суму декількох складових:

$$A(t) = \sum_{i=1}^{N_c} a_{ci} \cos(\omega_0 t + \psi_i), \quad (1)$$

де N_c – кількість перевідбитих сигналів на вході приймача, a_{ci} і ψ_i – випадкові амплітуди та початкові фази прийнятих сигналів. Через незалежність процесів перевідбиття вважатимемо, що a_{ci} і ψ_i описуються одновимірними щільностями розподілу ймовірностей $p(a_{ci})$ і $p(\psi_i)$. Щільності розподілу початкових фаз ψ_i є рівномірними в інтервалі від 0 до 2π .

При передачі повідомлень по багатопробієвим каналам зв'язку результуючий сигнал на вході приймача являє собою суму окремих коливань, час приходу, частота, фаза та амплітуда яких є випадковими величинами.

Ці фактори й обумовлюють в основному величину і випадковий характер зміни потужності $\left(P_c = \frac{1}{2} a_c^2\right)$ сумарного сигналу на вході приймача. Такий же механізм створення багатопробієвості поширення променів завод має місце на трасі їх поширення від станції завод до приймача. Середнє значення потужності результуючого сигналу (заводи)

$$\langle P_{c(3)} \rangle = \sum_{i=1}^{N_{c(3)}} \langle P_{c(3)i} \rangle,$$

де $\langle \bullet \rangle$ – знак усереднення, $\langle P_{c(3)i} \rangle = \frac{1}{2} \int_0^\infty a_{c(3)i}^2 p(a_{c(3)i}) da_{c(3)i}$ – середня потужність i -го променя,

N_3 – кількість перевідбивачів на трасі поширення завод. Враховувати імовірнісні властивості сигналів (завод) в умовах багатопробієвості поширення радіохвиль дозволяє гамма-розподіл [10].

Щільність розподілу потужності результуючого сигналу (1) на вході приймача при $N_{c(3)} > 2$ одержати в аналітичному виді досить важко, тому, як правило, використовують її апроксимації, наприклад, гамма-розподіл вигляду:

$$p(P_c) = \left[\frac{\alpha_c}{\langle P_c \rangle} \right]^{\alpha_c} \frac{P_c^{\alpha_c-1}}{\Gamma(\alpha_c)} e^{-\frac{\alpha_c}{\langle P_c \rangle} P_c}, P_c \geq 0, \alpha_c \geq \frac{1}{2}, \quad (2)$$

де $\Gamma(\alpha_c)$ – табульована гамма-функція, $\alpha_c = \frac{\langle P_c \rangle^2}{D(P_c)}$ – параметр форми закону розподілу,

$$D(P_c) = \langle P_c^2 \rangle - \langle P_c \rangle^2 = \sum_{i=1}^{N_c} \left[D(P_{ci}) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_c} \langle P_{ci} \rangle \langle P_{cj} \rangle \right] - \text{дисперсія потужності результуючого}$$

сигналу,

$$D(P_{ci}) = \langle P_{ci}^2 \rangle - \langle P_{ci} \rangle^2 - \text{дисперсія потужності } i\text{-го променя сигналу,}$$

$$\langle P_{ci}^2 \rangle = \int_0^\infty \left[\frac{a_{ci}^2}{2} \right] p(a_{ci}) da_{ci} - 2\text{-й початковий момент потужності } i\text{-го променя сигналу.}$$

Аналогічно щільність розподілу ймовірностей потужності заводи на вході приймача можна подати, як

$$p(P_3) = \left[\frac{\alpha_3}{\langle P_3 \rangle} \right]^{\alpha_3} \frac{P_3^{\alpha_3-1}}{\Gamma(\alpha_3)} e^{-\frac{\alpha_3}{\langle P_3 \rangle} P_3}, P_3 \geq 0, \alpha_3 \geq \frac{1}{2}. \quad (3)$$

Практична значимість гамма-розподілу (2), (3) полягає в тім, що залежно від значень $\alpha_{c(3)}$ воно дозволяє моделювати ряд часто, що зустрічаються умов, багатопробієвості поширення радіохвиль: при $\alpha_{c(3)} = 1$ гамма-розподіл збігається з експонентним розподілом

$$p(P_{c(3)}) = \frac{1}{\langle P_{c(3)} \rangle} e^{-\frac{1}{\langle P_{c(3)} \rangle} P_{c(3)}} \text{ сумарної потужності сигналу (заводи), утвореного додаванням великої}$$

кількості $N_{c(3)} \rightarrow \infty$ перевідбитих променів приблизно однакової потужності;

при $\alpha_{c(3)} \gg 1$ досить точно апроксимує нецентральний розподіл із двома ступенями свободи потужності сигналу (завади) з амплітудою, розподіленою за узагальненим законом Релея-Райса [10, 11], використовуваному у випадках, якщо $\langle P_{c(3)1} \rangle \approx \langle P_{c(3)i} \rangle, i = 2, \dots, N_{c(3)}$ (для випадку, коли $\langle P_{c(3)i} \rangle \approx \langle P_{c(3)1} \rangle, i = 2, \dots, N_{c(3)}$, де $P_{c(3)1}$ – потужність прямого променя сигналу (завади));

с збільшенням $\alpha_{c(3)}$, коли $\langle P_{c(3)1} \rangle \approx \langle P_{c(3)i} \rangle, i = 2, \dots, N_{c(3)}$ щільність розподілу потужності групується в околиці свого середнього значення й прагне до нормального розподілу з математичним очікуванням $\langle P_{c(3)} \rangle$ і дисперсією $\langle P_{c(3)} \rangle^2 / \alpha_{c(3)}$;

у граничному випадку для нескінченно великих $\alpha_{c(3)}$, що справедливо якщо потужності всіх променів, за винятком прямого, наближаються до нуля ($\langle P_{c(3)i} \rangle \rightarrow 0, i = 2, \dots, N_{c(3)}$), а амплітуду прямого променя можна вважати постійною ($D(P_{c(3)1}) \rightarrow 0$), гамма-розподіл вироджується в дельта-функцію $\delta(P_{c(3)} - \langle P_{c(3)1} \rangle)$.

Знання щільностей розподілу імовірності рівнів сигнальної (2) і заводової (3) складових дозволяє на підставі методу функціонального перетворення випадкових величин [12] одержати щільність розподілу ймовірності відношення завади-сигнал на вході приймача:

$$p(q/q^*) = \frac{\alpha_3}{\alpha_c q^*} \frac{\left[\frac{\alpha_3 q}{\alpha_c q^*} \right]^{\alpha_3 - 1}}{B(\alpha_3, \alpha_c) \left[1 + \frac{\alpha_3 q}{\alpha_c q^*} \right]^{\alpha_3 + \alpha_c}}, \quad (4)$$

де $B(\alpha_3, \alpha_c) = \frac{\Gamma(\alpha_3)\Gamma(\alpha_c)}{\Gamma(\alpha_3 + \alpha_c)}$ – табульована бета-функція, $\langle q \rangle = \langle \frac{P_3}{P_c} \rangle$ – середнє значення відношення завади-сигнал; $q^* = \langle \frac{P_3}{P_c} \rangle$ – відношення середніх значень потужностей завади та сигналу.

Ймовірність подавлення $P_n(K_n/q^*)$ являє собою ймовірність того, що при заданому q^* відношення q виявиться більше, ніж коефіцієнт подавлення K_n .

При цьому, інтегруючи в заданих межах щільність розподілу (4), одержуємо інтегрування.

$$P_n(K_n/q^*) = P(q \geq K_n/q^*) = \int_{K_3}^{\infty} p(q/q^*) dq = \frac{\beta_x(\alpha_c, \alpha_3)}{B(\alpha_c, \alpha_3)}, \quad (5)$$

де $\beta_x(\alpha_c, \alpha_3) = \int_0^x u^{\alpha_c - 1} (1-u)^{\alpha_3 - 1} du$ – неповна бета-функція, $x = \frac{1}{1 + \frac{\alpha_3 K_n}{\alpha_c q^*}}$ – границя.

У випадку, якщо α_c та α_3 є цілими числами, інтеграл в формулі (5) представляється у вигляді суми і ймовірність подавлення має вигляд

$$P_{\Pi}(K_{\Pi}/q^*) = \frac{(\alpha_3 + \alpha_c - 1)!}{(\alpha_c - 1)!} \sum_{i=0}^{\alpha_c - 1} \frac{(-1)^i}{i!(\alpha_3 - i - 1)!(\alpha_c + i)} \left[1 + \frac{\alpha_3 K_{\Pi}}{\alpha_c q^*} \right]^{\alpha_c + i}. \quad (6)$$

Якщо один з параметрів (α_c, α_3) дорівнює одиниці, узяття інтеграла в (5) дозволяє спростити вираз для знаходження ймовірності подавлення:

$$P_{\Pi}(K_{\Pi}/q^*) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \frac{K_{\Pi}}{q^*}}, & \alpha_c = 1, \alpha_3 = 1; \\ \frac{1}{\left[1 + \frac{K_{\Pi}}{\alpha_c q^*} \right]^{\alpha_3}}, & \alpha_c > 1, \alpha_3 = 1; \\ 1 - \frac{1}{\left[1 + \frac{q^*}{\alpha_3 K_{\Pi}} \right]^{\alpha_3}}, & \alpha_c = 1, \alpha_3 > 1. \end{cases} \quad (7)$$

Графічні залежності ймовірності подавлення від відношення завада-сигнал і параметрів каналу подавлення подано на рис. 1.

Як видно із представлених залежностей, для забезпечення досить високих ймовірностей подавлення станції завад необхідно збільшити відношення завада-сигнал на вході приймача q^* в порівнянні зі значенням коефіцієнта подавлення на величину, що залежить від параметрів форми розподілу потужностей сигнальної і завадової складових на вході приймача.

Вирішуючи рівняння (5) – (7) відносно q^* можна вирішити завдання оцінки чисельного значення відношення середніх потужностей завади і сигналу на вході приймача, що забезпечує подавлення радіозасобу з необхідною ймовірністю.

Висновки.

Таким чином, врахування ймовірнісних властивостей зміни потужностей завади і сигналу на тривалості інформаційного конфлікту дозволяє оцінити вплив ймовірності подавлення радіозасобу на граничне відношення завада-сигнал на вході приймача стосовно до сформованої електромагнітної обстановки.

Отже, визначивши необхідну ймовірність подавлення радіозасобу і знаючи параметри форм розподілів α_c і α_3 для відповідної електромагнітної обстановки в районі розміщення радіозасобів, за рахунок вибору місць розміщення радіозасобів (зміни топології мережі радіозв'язку) можна значно знизити ефективність функціонування системи радіоелектронного подавлення супротивника.

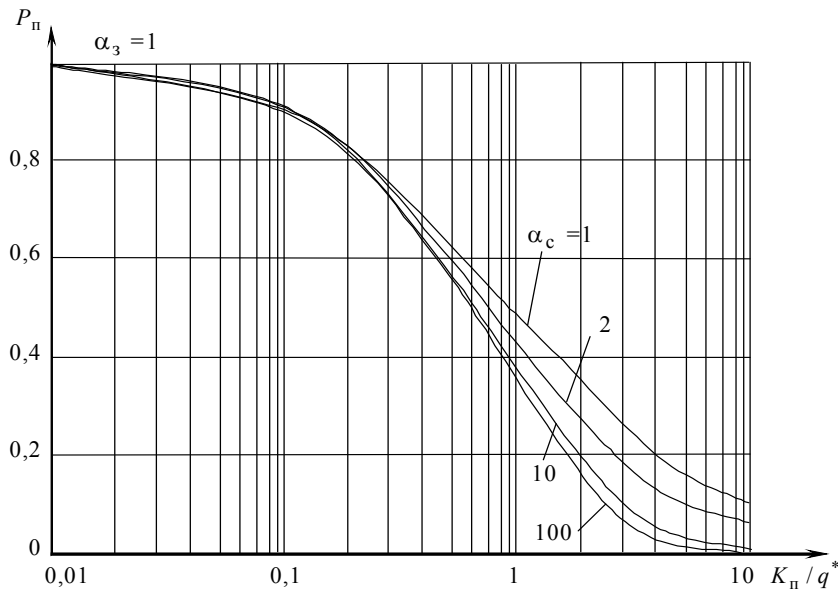


Рис. 1. Залежності ймовірності подавлення приймача для різних заводових ситуацій

Перспективним напрямом подальших досліджень є розробка методів та методик управління топологією радіомереж на основі отриманих оцінок заводової обстановки в багатопробному каналі зв'язку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Палий А. И. Радиоэлектронная борьба / А. И. Палий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Воениздат, 1989. – 350 с.
2. Агафонов А. А. и др. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / под ред. В. Г. Радзиевского. – М.: „Радиотехника”, 2006. – 424 с.
3. Prashanth H. Channel estimation for frequency hopping systems: Master of science thesis. – Cornell University, 2000. – P. 72.
4. Кондратьев А. Перспективный комплекс РРТР и РЭВ сухопутных войск США „Профет” / А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 7. – С. 37 – 41.
5. Куприянов А. И., Сахаров А. В. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы: Учеб. пособие / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с.
6. Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиоэлектронной борьбы. Ч.1. – М: ВВИА им Н.Е. Жуковского. – 1998. – 433 с.
7. Осипов В.Ю., Ильин А.П., Фролов В.П., Кондратюк А.П. Радиоэлектронная борьба. Теоретические основы. – Петродворец: ВМИРЭ. – 2006. – 302 с.
8. Владимиров В.И., Амруш Б. Влияние параметров закона распределения отношения помеха-сигнал на входе приемника на вероятность подавления линии радиосвязи // Радиотехника. – 2008. – № 11. – С. 15 – 20.
9. Владимиров В.И., Владимиров И.В., Наметкин В.В. Избранные вопросы радиоэлектронного подавления цифровых каналов систем радиосвязи. – Воронеж: ВАИУ. – 2010. – 119 с.
10. Голяницкий И. А. Математические модели и методы в радиосвязи. под ред. Ю. А. Громакова. – М: Эко-Трендз, 2005. – 440 с.
11. Кувшинов О. В., Ливенцев С. П., Лежнюк О. П., Міночкін А. І., Могилевич Д. І. Теорія електричного зв'язку. Ч. 2: Основи теорії заводостійкості, кодування та інформації: Підручник. – К.: ВІТІ НТУУ „КПІ”, 2008. – 286 с.
12. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М.: Радио и связь. – 1982. – 624 с.