

Ю. В. Журавський, Р. М. Жовноватюк, Г. Д. Носова, А. А. Завада

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗАХОДІВ РАДІОМАСКУВАННЯ НА РОЗВІДЗАХИЩЕНІСТЬ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

У статті розглянуто вплив різних шляхів організації радіомаскування на рівень розвідзахищеності засобів зв'язку та управління, що є джерелами електромагнітного випромінювання. Надано кількісний аналіз ефективності та проведено обґрунтування пропозицій щодо вибору шляхів радіомаскування радіоелектронних засобів.

Постановка проблеми. Одним з основних видів технічної розвідки провідних країн світу є радіоелектронна розвідка (РЕР) [1–3]. Засобами РЕР добувається близько 70% розвідувальної інформації, при цьому кількість радіоелектронних засобів (РЕЗ), що використовуються у збройних силах, постійно зростає. Така тенденція обумовлює актуальність досліджень як у напрямку розвитку засобів РЕР, так і підвищення розвідзахищеності (РЗ) власних засобів зв'язку та управління, що є джерелами електромагнітного випромінювання. Використання технічних засобів або проведення організаційних заходів з радіомаскування (РМ) повинне бути обґрунтоване на основі кількісних оцінок. Відповідно, кількісне порівняння ефективності різних заходів з РМ – важливе та актуальне науково-практичне завдання.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Для оцінювання РЗ важливих об'єктів військової інфраструктури існують різні методики [4–7], які враховують енергетичні і часові показники, при цьому енергетичні показники характеризуються співвідношенням потужностей сигналів та перешкод на вході приймального пристрою засобів розвідки, а часові відображають динаміку зміни стану джерел випромінювання, що є на засобах зв'язку та управління. Загальним недоліком методик [4–7] є відсутність механізму оцінювання впливу стану маскування на РЗ важливих об'єктів від РЕР противника. Під маскуванням розуміється цілий комплекс організаційних і технічних заходів, що спрямовані на підвищення РЗ об'єктів [8]. Таким чином, виникає необхідність кількісного врахування заходів маскування при оцінюванні РЗ РЕЗ від РЕР противника, а також порівняння ефективності окремих шляхів РМ.

Отже, **метою** статті є: кількісний аналіз ефективності окремих заходів РМ; порівняння ефективності заходів РМ; обґрунтування пропозицій щодо вибору раціональних шляхів РМ для підвищення РЗ РЕЗ.

Виклад основного матеріалу. Для виконання поставленого завдання розглянемо більш детально методику [4].

У [4] прийнято, що завдання виявлення джерела радіовипромінювання належить до класу енергетичних. Тобто джерело випромінювання виявляється завжди і лише в тому випадку, якщо потужність сигналу від нього на вході радіоприймача розвідки перевищує порогову чутливість останнього. Таке допущення вважається цілком справедливим,

оскільки на етапі виявлення, як правило, відомості про характеристики сигналу відсутні і неможливо використовувати які-небудь методи конкретного накопичення енергії.

Враховуючи в цілому випадковий характер рівнів сигналів і перешкод на вході приймального пристрою, показник енергетичної РЗ РЕЗ може бути поданий у вигляді [4]:

$$K_{PЗ} = 1 - F\left(\frac{\bar{z}}{\sigma_z}\right), \quad (1)$$

де $F(\)$ – інтеграл вірогідності;

σ_z – середньоквадратичне розсіювання рівня сигналів і перешкод від свого середнього значення;

\bar{z} – відношення медіанної потужності сигналу до сумарної потужності шумів на вході радіоприймача розвідки.

Значення \bar{z} визначається виразом [4]:

$$\bar{z} = \frac{P_{мп}}{P_{ш}}, \quad (2)$$

де $P_{мп}$ – медіанна потужність сигналу на вході приймача розвідки, Вт;

$P_{ш}$ – потужність шумів на вході приймача розвідки, яка може бути визначена за формулою Найквіста [9]:

$$P_{ш} = kT_{\Sigma}\Delta f, \quad (3)$$

де $k=1,38 \times 10^{-23}$, Вт/Гц – постійна Больцмана;

Δf – смуга частот, Гц;

T_{Σ} – повна шумова температура на вході приймача, К.

У свою чергу, повна шумова температура на вході приймача T_{Σ} визначається виразом [9]:

$$T_{\Sigma} = \eta_{\phi m}T_A + T_{\phi} + T_{np}, \quad (4)$$

де T_A – шуми, що обумовлені впливом на антену випромінювань від усіх зовнішніх джерел, К;

T_{ϕ} – власні теплові шуми антенно-фідерного тракту, К;

T_{np} – власні теплові шуми приймача, що приведені до його входу, К;

$\eta_{\phi m}$ – коефіцієнт корисної дії фідерного тракту на прийомі.

Виконання комплексу організаційних та технічних заходів вносять певні зміни як в енергетичні характеристики джерел випромінювання, так і в режими їх роботи, що безпосередньо відбивається на:

медіанному рівні потужності сигналу на вході приймача радіорозвідки;

потужності шумоподібної перешкоди на вході приймача розвідки;

рівні спрямованості передавальних антен у напрямку приймача розвідки.

Розглянемо механізм впливу шляхів РМ щодо рівня сигналу на вході приймача радіорозвідки.

Згідно з (2) основою для розрахунку медіанного рівня сигналу на вході приймача радіорозвідки служать потужності сигналу та перешкоди на вході приймача. Для визначення потужності сигналу можна скористатися, так званим, першим рівнянням передачі, що в цілому має вигляд [10]:

$$P_{np} = \frac{P_{nep} \eta_{\phi nep} G_{Anep} F_{nep}(\theta, \varphi) G_{Anp} \eta_{\phi np} \xi_n \xi_c}{W_{cv} W_T}, \quad (5)$$

де P_{np} – потужність радіосигналу на вході приймача радіорозвідки, Вт;

P_{nep} – потужність радіосигналу на виході передавального пристрою, Вт;

$\eta_{\phi nep}$ – коефіцієнт корисної дії фідера на передачі;

G_{Anep} – коефіцієнт підсилення передавальної антени;

$F_{nep}(\theta, \varphi)$ – нормована характеристика спрямованості передавальної антени за потужністю;

G_{Anp} і $\eta_{\phi np}$ – коефіцієнт підсилення приймальної антени і коефіцієнт корисної дії фідера на прийомі;

ξ_n і ξ_c – коефіцієнти узгодження приймальної антени за поляризацією поля та приймального фідера з входом приймача за опором;

$W_{cv} = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2$ – згасання радіохвиль у вільному просторі, що залежить від відстані (R) і довжини хвилі (λ);

W_T – додаткове згасання радіохвиль, що враховує конкретний механізм розповсюдження радіохвиль (вплив рельєфу, сонячну активність, наявність гідрометеорів тощо).

У результаті проведення таких заходів РМ, як робота з мінімально необхідною потужністю, екранування передавальних пристроїв, використання екрануючих і відбиваючих властивостей місцевості, використання спрямованих антенних систем, зменшується потужність радіосигналу на вході приймача радіорозвідки, що відбувається за рахунок зменшення потужності передавального пристрою, збільшення додаткового згасання радіохвиль у напрямку розвідувального приймача та зміни характеристик спрямованості передавальної антени.

Це може бути враховано введенням відповідних коефіцієнтів. Тоді потужність радіосигналу на виході передавального пристрою P_{nep}^M , додаткове згасання радіохвиль W_T^M та характеристику спрямованості передавальної антени $F_{nep}^M(\theta, \varphi)$ з урахуванням заходів маскування можна подати у вигляді:

$$P_{nep}^M = k_p P_{nep}, \quad (6)$$

$$W_T^M = k_w W_T, \quad (7)$$

$$F_{nep}^M(\theta, \varphi) = k_F(\theta, \varphi) F_{nep}(\theta, \varphi), \quad (8)$$

де k_p – коефіцієнт, що враховує зменшення потужності радіосигналу на виході передавального пристрою;

k_w – коефіцієнт, що враховує збільшення додаткового згасання радіохвиль у напрямку розвідувального приймача;

$k_F(\theta, \varphi)$ – коефіцієнт, що враховує зміну нормованої характеристики спрямованості передавальної антени.

Такі параметри (5), як $\eta_{nep}, G_{Aner}, G_{Anp}, \eta_{fnp}, \xi_n, \xi_c, W_{cs}$, не змінюються в результаті виконання заходів РМ.

Для визначення рівня потужності шумів на вході приймача розвідки з урахуванням проведених заходів щодо РМ скористаємося таким виразом:

$$P_{ш}^M = P_{ш} + P_M, \quad (9)$$

де P_M – потужність навмисної шумоподібної перешкоди на вході приймача розвідки, що обумовлена дією засобів радіоелектронного подавлення (РЕП), Вт.

Потужність навмисної перешкоди на вході приймача розвідки, що обумовлена дією засобів РЕП у рамках маскуванню РЕЗ, може бути розрахована за виразом (5).

Таким чином, отримаємо відношення медіанної потужності сигналу до сумарної потужності перешкод на вході радіоприймача розвідки з урахуванням маскуванню:

$$\bar{z}_M = \frac{P_{np}^M}{P_{ш}^M}, \quad (10)$$

де P_{np}^M – потужність радіосигналу на вході приймача радіорозвідки з урахуванням маскуванню, Вт.

Остаточний вираз, що дозволяє оцінити РЗ РЕЗ при маскуванні від РЕР противника, запишемо у вигляді

$$K_{PЗ}^M = 1 - F\left(\frac{\bar{z}_M}{\sigma_z}\right). \quad (11)$$

Для кількісного аналізу заходів з РМ розглянемо приклад. Поблизу лінії зіткнення протиборчих сторін розгортається радіонапрямок, що має забезпечити зв'язок між двома підрозділами, які знаходяться в точках А і В, противник веде РЕР засобами, розміщеними в точці С, відстань між пунктами А і С дорівнює відповідно R_{AC} . Необхідно оцінити РЗ РЕЗ у точці А.

За відсутності будь-яких заходів з РМ (всеспрямована антена, відсутність додаткового згасання, робота на максимумі потужності передачі) РЗ РЕЗ, що знаходяться в точці А,

залежить винятково від відстані між РЕЗ та розвідувальним приймачем і визначається рівнями згасання сигналу W_{ce} та W_T . Графіки залежності коефіцієнта РЗ від відстані R_{AC} для РЕЗ потужністю 5 Вт, що працює на частоті 100 МГц, показано на рис. 1.

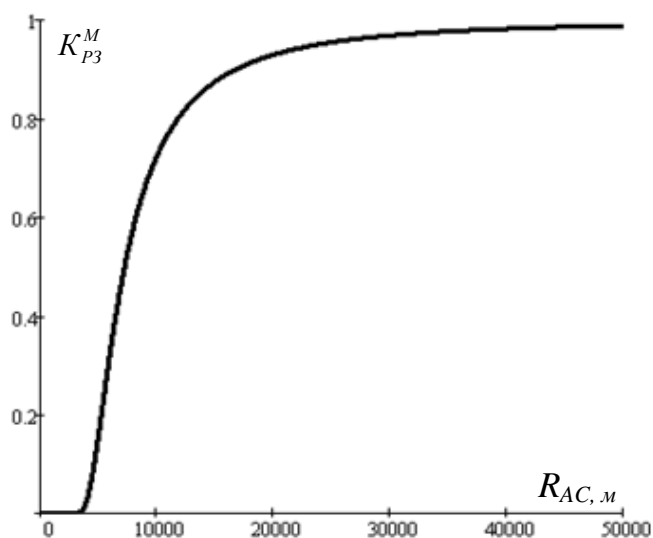


Рис. 1. Графіки залежності коефіцієнта РЗ від відстані R_{AC} без виконання заходів з РМ

При виконанні заходів з РМ важливим елементом є правильний вибір позиції РЕЗ. Так, в ультракороткохвильовому діапазоні завдяки розміщенню РЕЗ можна досягти значного збільшення W_T в напрямку приймача розвідки. На рис. 2 показано графік змін значень коефіцієнта РЗ залежно від k_w .

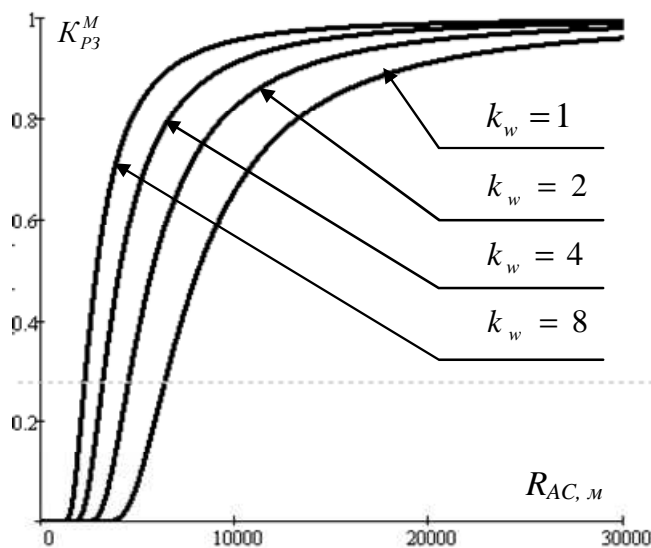


Рис. 2. Графік залежності коефіцієнта РЗ залежно від відстані R_{AC} для різних значень k_w

Результат оцінювання коефіцієнта РЗ при роботі на передачу з мінімально необхідним рівнем потужності в комплексі з правильним вибором позиції РЕЗ показано на рис. 3.

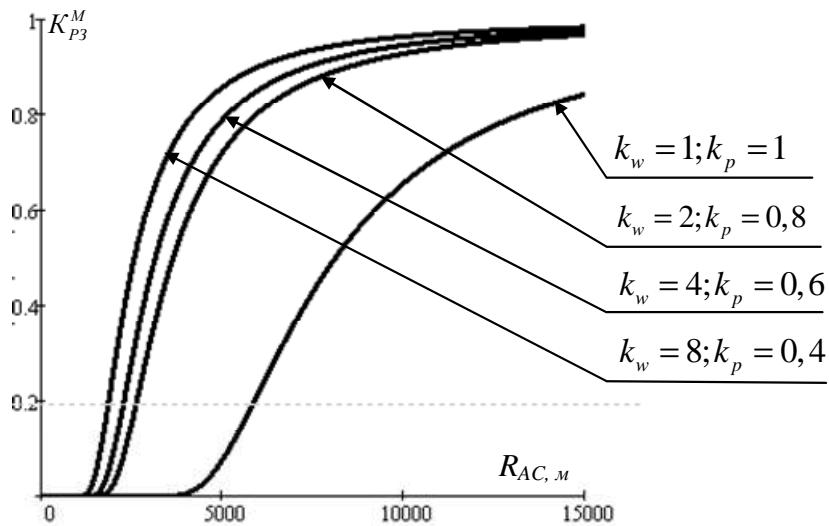


Рис. 3. Графік залежності коефіцієнта P3 залежно від відстані R_{AC} при роботі на передачу з мінімально необхідним рівнем потужності в комплексі з правильним вибором позиції

Додавши до комплексу заходів з маскування засобів РЕЗ використання спрямованих антенних систем, отримуємо значення коефіцієнта P3, що наведено на рис. 4.

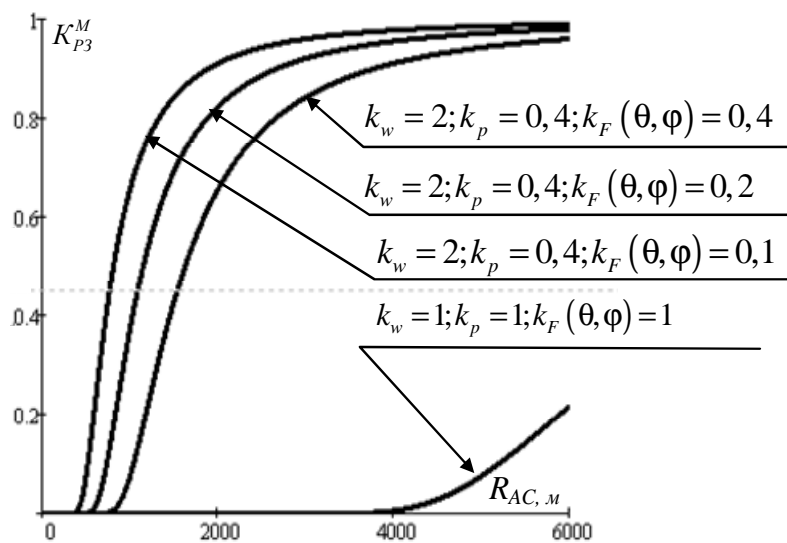


Рис. 4. Графік залежності коефіцієнта P3 залежно від відстані R_{AC} при проведенні комплексу заходів з РМ

Вибравши необхідний рівень P3, наприклад $K_{P3}^M=0,8$, і маючи завдання забезпечити зв'язок на відстані до 5000 м із дотриманням вказаного необхідного рівня, видно, що без проведення заходів з РМ поставлене завдання виконати складно (див. рис. 1). Ефективне, з погляду маскування, розміщення РЕЗ забезпечує необхідний рівень P3, але при дуже високому рівні додаткового згасання, що не завжди здійснюваний і може вплинути на якість зв'язку (див. рис. 2). Зменшення потужності випромінювання у напрямку приймача розвідки в поєднанні із додатковим згасанням сигналу призводить до значного збільшення P3, але такі умови, при всеспрямованих антенних системах передавача, забезпечать P3 в

усіх напрямках, у тому числі і в напрямку абонентів, що унеможливить роботу радіомережі (див. рис. 3).

Таким чином, лише завчасно розраховане та комплексне проведення заходів з РМ дозволить забезпечити необхідний рівень РЗ у напрямку приймача розвідки і стабільну роботу радіомережі в напрямках абонентів (див. рис. 4).

За додаткового використання спеціальних систем РЕП, що здатні значною мірою підвищувати рівень шумоподібних перешкод, графіки залежності коефіцієнта РЗ РЕЗ при постановці спрямованої перешкоди у напрямку приймача розвідки, що призводить до підвищення рівня потужності шуму на вході приймача на 10, 15 та 20 дБ, наведено на рис. 5.

З рис. 5 видно, що застосування засобів РЕП для постановки навмисної перешкоди в напрямку приймача розвідки дає змогу виконати вимоги до РЗ РЕЗ ($K_{PЗ}^M=0,8$) навіть за відсутності розглянутих вище пасивних заходів РМ.

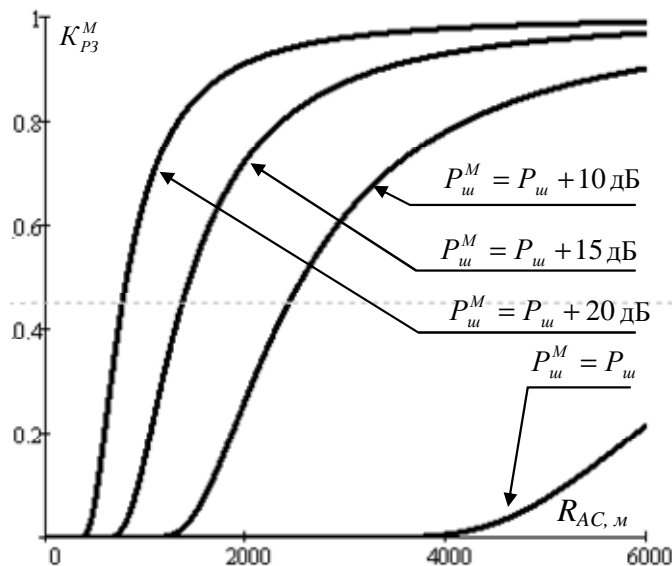


Рис. 5. Графіки залежності коефіцієнта РЗ РЕЗ від відстані R_{AC} при постановці спрямованої перешкоди у напрямку приймача розвідки

Висновки. Проведений у роботі аналіз впливу на РЗ важливих військових об'єктів заходів РМ показав, що виконання окремих пасивних заходів РМ не забезпечує досягнення необхідного рівня захищеності за умови стабільної роботи радіомережі. Орієнтовні розрахунки дають можливість стверджувати про необхідність комплексного застосування заходів маскування з урахуванням особливостей організації радіомереж, а також про ефективність такого перспективного напрямку підвищення РЗ, як використання спеціальних засобів РЕП, що здатні створювати на вході приймача радіорозвідки перешкоди з необхідним рівнем потужності.

У подальших дослідженнях доцільно проаналізувати методи та засоби захисту (РМ) об'єктів інформаційної діяльності та РЕЗ, які в них функціонують від закладних засобів розвідки. При цьому слід окремо врахувати один з розповсюджених способів маскування радіозакладних засобів розвідки під штатні джерела радіовипромінювання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Смирнов Ю. А. Радиотехническая разведка / Ю. А. Смирнов. – М. : Воениздат, 2001. – 428 с.
2. Electronic Warfare. Joint Publication 3-13.1, U. S. Army, 2007. – 129 p.
3. Радзиевский В. Г. Теоретические основы радиоэлектронной разведки / В. Г. Радзиевский, А. А. Сирота. – М. : Радиотехника, 2004. – 432 с.
4. Боговик А. В. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки / А. В. Боговик, В. В. Игнатов. – СПб. : ВАС, 2006. – 183 с.
5. Куприянов А. И. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров. – М. : Вузовская книга, 2007. – 356 с.
6. Иванов И. В. Содержание и роль радиоэлектронной борьбы в операциях XXI века / И. В. Иванов, И. Н. Чадов // Зарубежное военное обозрение. – 2011. – № 1. – С. 14–20.
7. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория ; под ред. Я. Д. Ширмана. – М. : Радиотехника, 2007. – 512 с.
8. Системы подвижной радиосвязи ; пер. с польск. под ред. А. И. Ледовского. – М. : Телеком, 2010. – 536 с.
9. Борисов В. И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом ППРЧ / В. И. Борисов. – М. : Радио и связь, 2000. – 384 с.
10. Мандзій Б. А. Основи теорії сигналів / Б. А. Мандзій, Р. І. Желяк. – Львів : Видавничий дім “Ініціатива”, 2008. – 240 с.

Подано 02.01.2015

Ю. В. Журавський, Р. М. Жовноватиук, Г. Д. Носова, А. А. Завада
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ РАДИОМАСКИРОВКИ НА
РАЗВЕДЗАЩИЩЕННОСТЬ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

В статье рассмотрено влияние разных путей организации радиомаскировки на уровень разведзащищенности средств связи и управления, которые являются источниками электромагнитного излучения. Дан количественный анализ эффективности и проведено обоснование предложений выбора путей радиомаскировки радиоэлектронных средств.

Y. V. Zhuravskiy, R. M. Zhovnovatiuk, G. D. Nosova, A. A. Zavada
ANALYSIS OF INFLUENCE OF ACTIONS OF RADIO MASKING ON
RECONNAISSANCE SECURITY OF RADIO-ELECTRONIC MEANS

In article influence of different ways of the organization of radio masking on the level of reconnaissance security of means of communication and management which are sources of electromagnetic radiation is considered. The quantitative analysis of efficiency is given and justification of offers of a choice of ways of radio masking of radio-electronic means is carried out.