

УДК 623.002.8; 623:658.567.1

Е.В. Лучук

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РАДІОПОДАВЛЕННЯ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ РАДІОЗВ'ЯЗКУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ

У статті оцінена ефективність радіоподавлення сучасних цифрових засобів зв'язку, які використовують сигнали із розширенням спектру, існуючими засобами радіоелектронної боротьби. На основі отриманих результатів надані рекомендації по використанню передавачів перешкод на безпілотних літальних апаратах для подавлення радіорелейних засобів противника і пошуку нових засобів та способів подавлення комп'ютерних мереж автоматизованих систем управління військами.

Ключові слова: автоматизована система управління військами, оцінка ефективності радіоподавлення, EPLRS, NTDR, SINCGARS.

Вступ

Постановка проблеми. У теперішній час в арміях передових країн світу інформаційне забезпечення командирів і штабів здійснюється за допомогою автоматизованих систем управління військами (АСУВ), які складаються з комп'ютерів посадових осіб, об'єднаних за допомогою цифрових ультракороткохвильових (УКХ) та радіорелейних засобів (РРЗ) зв'язку [1]. Ці засоби зв'язку, використовуючи програмне перелаштування робочої частоти (ППРЧ) та шумоподібні сигнали (ШПС), вбудовані засоби шифрування, працюють у режимах передачі мови і даних АСУВ [2]. Для їх радіоподавлення (РП) можливо застосовувати існуючі засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ), однак оцінка ефективності радіоподавлення на даний час не проведена.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботах [3, 4] розглянута методика оцінки ефективності РП, де основним показником ефективності є коефіцієнт подавлення, який визначається як мінімальне необхідне відношення потужності перешкоди та потужності сигналу на виході лінійної частини приймача, при якому забезпечується задана якість подавлення. Якість подавлення, тобто критерій подавлення, для аналогових сигналів відомий. Але для систем передачі дискретних (цифрових) повідомлень визначення коефіцієнту подавлення ускладнено, що не дає можливості оцінити ефективність їх подавлення.

Метою статті є оцінка ефективності радіоподавлення сучасних цифрових засобів зв'язку існуючими засобами радіоелектронної боротьби та надання на їх основі рекомендацій щодо бойового застосування і пошуку нових засобів та способів подавлення.

Виклад основного матеріалу

Ефективність функціонування цифрових систем зв'язку визначається ймовірністю помилки при прийомі двійкового символу [5-6]. Тому основним показником ефективності подавлення цифрових систем зв'язку прийемо ймовірність помилки при прийомі двійкового символу.

Як відомо [7], для нормального функціонування цифрових систем передачі мовних повідомлень (вокодерів) допустима помилка при прийомі двійкового символу складає 10^{-2} ; для цифрових систем передачі даних – 10^{-6} . Тому критерії ефективності подавлення цифрових систем зв'язку

$$P_{ndc}^m > 10^{-2} \quad (1)$$

$$P_{ndc}^d > 10^{-6}, \quad (2)$$

де P_{ndc}^m – ймовірність помилки при прийомі двійкового символу цифрових систем передачі мовних повідомлень; P_{ndc}^d – ймовірність помилки при прийомі двійкового символу цифрових систем передачі даних.

Порядок оцінки ймовірності помилки при прийомі двійкового символу при подавленні цифрових систем зв'язку з різними способами розширення спектру сигналу різними видами перешкод приведений в [8-9]. Але в сучасних системах зв'язку способи розширення спектру сигналу, як правило, окремо не використовуються через властиві їм недоліки; поширення набули цифрові системи зв'язку, в яких фазова маніпуляція (ФМНС) несучої псевдовипадковою послідовністю імпульсів сполучається з програмним перелаштуванням робочої частоти. Цей факт

накладає обмеження при виборі виду перешкоди: застосування прицільної, зосередженої по спектру, переривчастої перешкод недоцільне через програмне перелаштування робочої частоти сигналів систем зв'язку; застосування перешкоди у відповідь неможливо через використання у системах зв'язку фазоманіпульованих ширококутових сигналів, реєстрація яких значно ускладнена. Отже, для подавлення цифрових систем зв'язку, в яких фазова маніпуляція несучої псевдовипадковою послідовністю імпульсів сполучається з програмним перелаштуванням робочої частоти, доцільно застосовувати загороджувальну по частоті шумову перешкоду.

Нехай розглядається цифрова система зв'язку, в якій фазова маніпуляція несучої псевдовипадковою послідовністю імпульсів сполучається з програмним перелаштуванням робочої частоти. На основі [10], враховуючи співвідношення відстаней зв'язку та радіоподавлення, вираз для визначення ймовірності $P_{ндс}^{фм}$ помилки при прийомі двійкового символу при подавленні системи зв'язку з ФМнС шумовою загороджувальною по частоті перешкодою приймає вигляд:

$$P_{ндс}^{фм} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t=x}^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt, \quad (3)$$

$$x = \sqrt{\frac{P_{рсм} \tau_c F_n}{2\pi R_3^2 \left(F_n N_0 + \frac{P_n}{4\pi R_n^2} \right)}}$$

де $P_{рсм}$, P_n – потужність передавача радіостанції та станції перешкод відповідно, Вт; R_3 , R_n – дальність зв'язку та подавлення відповідно, км; F_n – ширина спектру перешкоди, Гц; τ_c – тривалість сигналу, с; N_0 – одностороння спектральна щільність потужності білого гаусового шуму, Вт/Гц.

Для цифрової системи зв'язку, у якій для розширення спектру сигналу використовується ППРЧ, ймовірність $P_{ндс}^{нпрч}$ помилки при прийомі двійкового символу при подавленні шумовою загороджувальною по частоті перешкодою розраховується [10]:

$$P_{ндс}^{нпрч} = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{P_{рсм} F_n R_n^2}{2 P_n b R_3^2}\right), \quad (4)$$

де b – швидкість передачі двійкових символів, біт/с.

У радіорелейних засобах для захисту від перешкод застосовуються методи просторової

селекції. Коефіцієнти підсилення антен в залежності від робочого діапазону частот складають: по головному пелюстку діаграми спрямованості – 6...20 дБ, по боковим і заднім пелюсткам – -15...-20 дБ [11]. Тому розширення спектру сигналів не використовується; застосовуються прості сигнали з частотною та фазовою модуляцією; розділення каналів – частотне та часове. Радіоподавлення таких засобів доцільно здійснювати шляхом постановки прицільних або загороджувальних по частоті шумових частотно- та фазомодульованих перешкод. Ширина спектру перешкоди вибирається: прицільної по частоті – з урахуванням кількості каналів та захисних інтервалів при частотному ущільненні; загороджувальної по частоті – з урахуванням ширини діапазону робочих частот засобів, які подавляються.

Оцінка ефективності радіоподавлення радіорелейних засобів може бути проведена за відомими методиками [4, 11].

Існуючі автоматизовані станції радіоперешкод за принципами побудови призначені для РП УКХ-засобів противника із простими сигналами без розширення спектру; потужність передавачів перешкод складає до 1 кВт; передбачений режим радіоподавлення загороджувальною по частоті перешкодою, який може бути застосований для подавлення засобів з ширококутовими сигналами, але він є неосновним, призначеним для ведення РП у русі [3].

Із застосуванням формул (3), (4) проведена оцінка ефективності радіоподавлення сучасних систем цифрового зв'язку.

На рис. 1а представлені графіки залежності дальності подавлення керуючих (потужність передавача 100 Вт) і мобільних (потужність передавача 10 Вт) станцій EPLRS при тривалості фазоманіпульованого сигналу 0,8 мс, типовій дальності зв'язку 2 км шумовою загороджувальною по частоті перешкодою від потужності передавача станції перешкод. Із рисунка видно, що дальність РП ліній передачі даних керуючих і мобільних станцій EPLRS існуючими засобами РЕБ складе 4 і 12 км відповідно.

На рис. 1б представлені графіки залежності дальності подавлення автомобільних (потужність передавача 100 Вт) і мобільних (потужність передавача 10 Вт) станцій NTDR при тривалості фазоманіпульованого сигналу 0,8 мс, типовій дальності зв'язку 20 км шумовою загороджувальною по частоті перешкодою від потужності передавача станції перешкод. Як видно, дальність РП ліній передачі даних автомобільних і мобільних станцій NTDR існуючими засобами РЕБ складе 3,5 і 11 км відповідно.

На рис. 1в представлені графіки залежності дальності подавлення автомобільних (потужність передавача 20 Вт) і мобільних (потужність передавача 5 Вт) станцій SINCGARS при типових

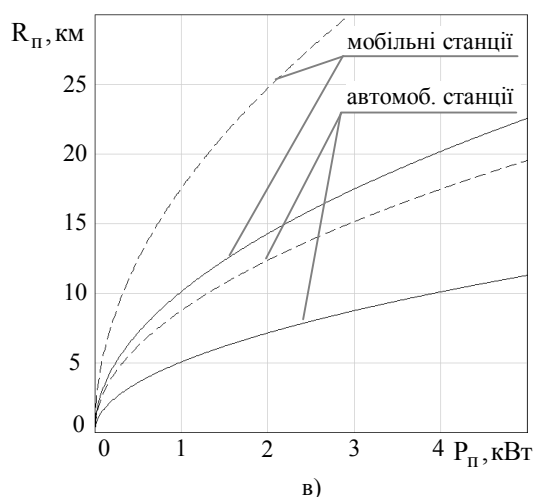
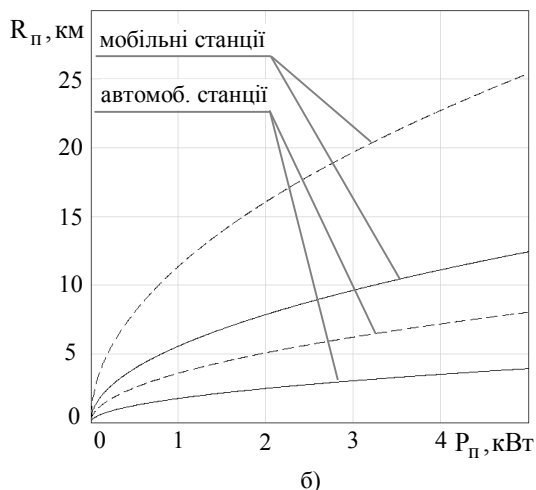
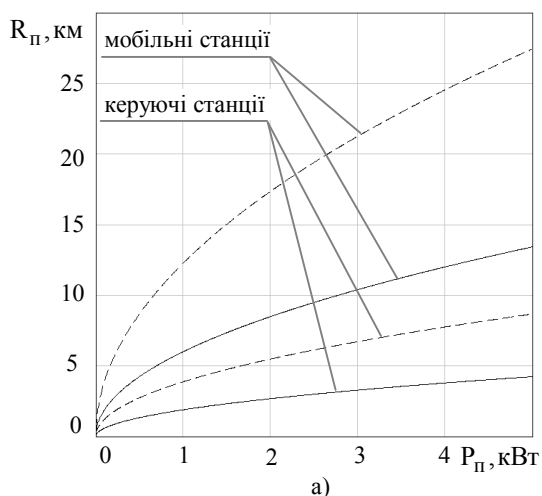


Рис. 1. Графіки залежності дальності подавлення станцій: а) EPLRS; б) NTDR; в) SINCGARS від потужності передавача станції перешкод, де суцільними лініями позначені залежності при подавленні речових повідомлень, пунктирними – при подавленні даних

швидкостях передачі двійкових символів 19,2 кбіт/с, типовій дальності зв'язку 10 км шумовою загороджувальною по частоті перешкодою від потужності передавача станції перешкод. Із приведеного рисунка видно, що дальність РП ліній передачі даних автомобільних і мобільних станцій SINCGARS існуючими засобами РЕБ складе 8,5 і 17,5 км відповідно.

Аналіз результатів оцінки показав, що ефективність застосування існуючих засобів РЕБ для радіоподавлення сучасних цифрових засобів зв'язку тактичної ланки управління EPLRS, NTDR, SINCGARS є низькою через малу (до 17,5 км) дальність подавлення. Для ефективного радіоподавлення з території своїх військ сучасних цифрових засобів зв'язку тактичної ланки управління EPLRS, NTDR, SINCGARS необхідно застосовувати станції радіоперешкод з потужністю передавача 4...16 кВт в діапазонах частот 30...88, 225...400, 420...450 МГц. Розробка, виробництво та застосування таких станцій радіоперешкод є складним технічним та організаційним завданням через їх великі масо-габаритні показники, низьку мобільність, складність експлуатації, забезпечення електромагнітної сумісності із радіозасобами своїх військ. Таким чином, виконання завдань радіоподавлення сучасних цифрових засобів зв'язку існуючими засобами РЕБ виявляється суттєво ускладненим.

У відповідності до методики [4, 11] проведена оцінка ефективності радіоподавлення сучасних засобів радіорелейного зв'язку діапазонів 225 – 400 МГц, 1,45 – 1,55 ГГц.

На рис. 2 представлені графіки залежності дальності подавлення радіорелейних засобів від потужності передавача станції перешкод

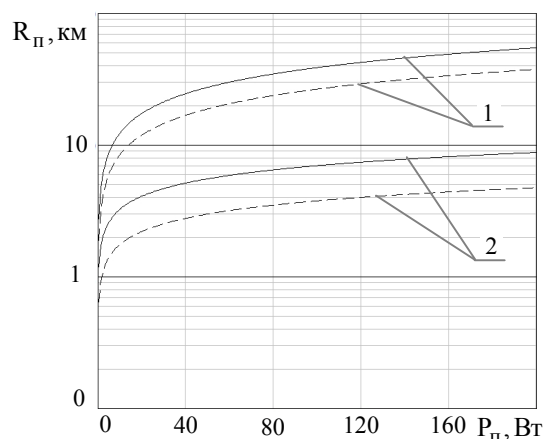


Рис. 2. Графіки залежності дальності подавлення радіорелейних засобів від потужності передавача станції перешкод прицільною по частоті перешкодою при: 1 – подавленні повітряними засобами по боковим пелюсткам ДСА; 2 – подавленні наземними засобами по боковим пелюсткам ДСА. Суцільними лініями позначені залежності при подавленні радіорелейних засобів в діапазоні 225–400 МГц, пунктирними – в діапазоні 1,45–1,55 ГГц

прицільною по частоті перешкодою повітряними і наземними засобами по боковим пелюсткам діаграми спрямованості антени (ДСА). Із приведеного рисунку видно, що рельєф місцевості значно впливає на дальність радіоподавлення, яка при подавленні наземними засобами із потужністю передавача перешкод 200 Вт складає 5...9 км. Дальність радіоподавлення повітряними засобами при такій же потужності передавача перешкод складає 40...60 км. Однак станція радіоперешкод, яка здійснює прицільне по частоті подавлення радіорелейних засобів, є складним великогабаритним виробом, що потребує управління оператором та може бути встановлена на вертольоті. Вертоліт для забезпечення своєї живучості в умовах ведення операції повинен баражувати над територією своїх військ на відстані 15...20 км від лінії зіткнення військ. При цьому реальна дальність радіоподавлення радіорелейних засобів зменшується до 20...40 км.

На рис. 3 представлені графіки залежності дальності подавлення радіорелейних засобів від потужності передавача станції перешкод при подавленні загороджувальною по частоті перешкодою повітряними засобами по боковим пелюсткам ДСА, наземними засобами по головному та боковим пелюсткам ДСА. Як видно, радіоподавлення загороджувальною по частоті перешкодою наземними засобами по боковим

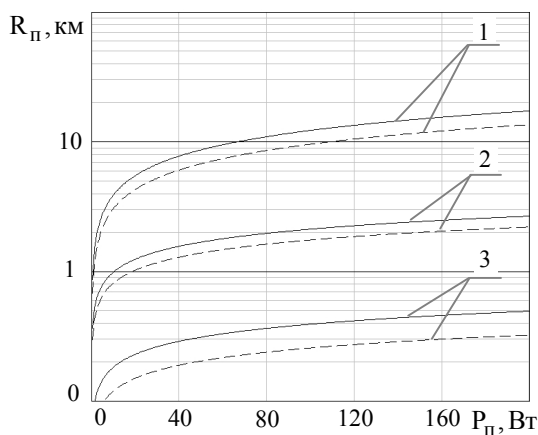


Рис. 3. Графіки залежності дальності подавлення радіорелейних засобів від потужності передавача станції перешкод загороджувальною по частоті перешкодою при: 1 – подавленні повітряними засобами по боковим пелюсткам ДСА; 2 – подавленні наземними засобами по головному пелюстку ДСА; 3 – подавленні наземними засобами по боковим пелюсткам ДСА. Суцільними лініями позначені радіорелейних засобів в діапазоні 225–400 МГц, пунктирними – в діапазоні 1,45–1,55 ГГц

пелюсткам ДСА є недоцільним через малу дальність (до 0,4 км) навіть при значних потужностях передавача перешкод. Можливе радіоподавлення загороджувальною по частоті перешкодою наземними засобами по головному пелюстку ДСА на дальностях 1...1,3 км при потужності передавача перешкод 20 Вт, для чого можуть бути застосовані закидувальні передавачі перешкод, які заносяться в район вузлів зв'язку розвідувальними групами. Радіоподавлення загороджувальною по частоті перешкодою повітряними засобами по боковим пелюсткам ДСА може бути здійснено на дальностях 4...7 км при потужності передавача перешкод 20 Вт; для цього можливе використання передавачів перешкод на безпілотних літальних апаратах.

Проведені розрахунки показали, що застосування закидувальних передавачів перешкод для подавлення радіорелейних засобів є ефективним у випадку подавлення по головному пелюстку ДСА. Однак необхідно враховувати, що вузли зв'язку із радіорелейними засобами розташовуються на глибині до 120 км від лінії зіткнення військ; доставка до них і встановлення закидувальних передавачів перешкод у певному напрямку відносно антенної системи радіорелейних засобів силами розвідувальних груп є досить складним завданням.

Висновки

Таким чином, аналіз результатів оцінки ефективності радіоподавлення сучасних цифрових засобів зв'язку комп'ютерних мереж автоматизованих систем управління військами існуючими засобами РЕБ показав:

радіоподавлення УКХ-засобів зв'язку типу EPLRS, NTDR, SINCGARS, радіорелейних засобів типу AN/TTC-46, -47, AN/TRC-190 наземними засобами РЕБ неефективне через малу дальність;

для радіоподавлення радіорелейних засобів типу AN/TTC-46, -47, AN/TRC-190 доцільно застосовувати передавачі шумових загороджувальних по частоті перешкод із потужністю 20 Вт на безпілотних літальних апаратах на дальностях 4...7 км; можуть бути застосовані безпілотні літальні апарати Searcher Mk II, Sperwer;

низька ефективність існуючих засобів РЕБ при подавленні комп'ютерних мереж воєнного призначення вимагає пошуку нових засобів; зокрема можуть бути використані деструктивні програмно-комп'ютерні засоби, однак обґрунтування способів програмно-комп'ютерного подавлення потребує окремих досліджень.

Список літератури

1. Масной В. Автоматизированные системы управления сухопутными войсками США / В. Масной, Ю. Судаков // *Зарубежное военное обозрение*. – 2003. – № 9. – С. 25 – 32, № 10. – С. 28 – 36.
2. Чайка Ю.Д. Архитектура системы військового зв'язку армій країн НАТО XXI сторіччя / Ю.Д. Чайка // *Матеріали II науково-практичного семінару Національної академії оборони України «Проблеми розвитку інформаційних мереж військового призначення»* – Київ, 2004. – С. 71 – 90.
3. Змиевский В.В. Теория радиоэлектронного подавления. Техника РЕП и ее эксплуатация. Часть 1. Теория радиоэлектронного подавления / В.В. Змиевский, С.Л. Емельянов – Х.: ВИРТА ПВО, 1991. – 239 с.
4. Оперативно-тактические расчеты по радиоэлектронной борьбе. Учебно-методическое пособие – М.: Воениздат, 1986. – 48 с.
5. Варакин Л.Е. Теория сложных сигналов / Варакин Л.Е. – М.: Советское радио, 1970. – 376 с.
6. Петрович Н.Т. Системы связи с шумоподобными сигналами / Н.Т. Петрович, М.К. Размахнин. – М.: Советское радио, 1969. – 232 с.
7. Окунев Ю.Б. Системы связи с инвариантными характеристиками помехоустойчивости / Ю.Б. Окунев. – М.: Связь, 1973. – 79 с.
8. Тузов Г.И. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др.; под ред. Г.И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
9. Тузов Г.И. Статистическая теория приема сложных сигналов / Г.И. Тузов. – М.: Советское радио, 1977. – 400 с.
10. Бархота В.А. Системы связи с расширением спектра / В.А. Бархота, В.В. Гориков, В.И. Журавлев // *Итоги науки и техники. Серия «Связь». Цифровые сети интегрального обслуживания*. – М.: ВИНТИ. – 1990. – Т. 5. – С. 186 – 224.
11. Справочник по радиорелейной связи / Под ред. С.В. Бородича. – М.: Радио и связь, 1981. – 415 с.

Надійшла до редакції 27.08.2009 р.

Рецензент: доктор технічних наук, старший науковий співробітник В.М. Корольов, Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОПОДАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ РАДИОСВЯЗИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЙСКАМИ

Э.В. Лучук

В статье оценена эффективность радиоподавления современных цифровых средств связи, которые используют сигналы с расширением спектра, существующими средствами радиоэлектронной борьбы. На основе полученных результатов представлены рекомендации по использованию передатчиков помех на беспилотных летательных аппаратах для подавления радиорелейных средств противника и поиску новых средств и способов подавления компьютерных сетей автоматизированных систем управления войсками.

Ключевые слова: автоматизированная система управления войсками, оценка эффективности радиоподавления, EPLRS, NTDR, SINCGARS.

ESTIMATION OF RADIO-JAMMING EFFICIENCY OF MODERN RADIO MEANS OF AUTOMATED COMMAND AND CONTROL SYSTEMS

E.V. Luchuk

In the article the efficiency of radio-jamming of modern digital radio means with wide spectrum signals by existent electronic countermeasures facilities has been estimated. On the basis of the results recommendations on usage of radio-jamming stations on unmanned aerial vehicle for suppression of enemy radio-relay facilities have been presented. Also propositions for searching of new suppression facilities and methods of computer networks of command and control systems have been presented.

Keywords: automated command and control system, estimation of radio-jamming efficiency, EPLRS, NTDR, SINCGARS.