

MILITARY AFFAIRS AND NATIONAL SECURITY

DOI 10.51582/interconf.7-8.04.2021.068

Микусь Сергій Анатолійович

доктор технічних наук, доцент, начальник кафедри застосування інформаційних технологій та інформаційної безпеки, Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Україна

Войтко Олександр Володимирович

кандидат військових наук, заступник начальника кафедри застосування інформаційних технологій та інформаційної безпеки, Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Україна

Ключак Оксана Миколаївна

науковий співробітник науково-дослідної лабораторії проблем підготовки військ (сил) та кадрового менеджменту кафедри керівництва військами (силами) в мирний час, Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Україна

ПІДВИЩЕННЯ РОЗВІДЗАХИЩЕНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ

***Анотація.** В теперішній час, найбільший актуальним залишаються питання забезпечення скритності функціонування системи управління військами, що напряму залежить від розвіدзахищеності інформаційно-телекомунікаційної системи військового призначення. У свою чергу, інформаційно-телекомунікаційної системи військового призначення будуються різноманітними випромінюючими засобами зв'язку, основу яких складають на оперативному рівні управління радіорелейні засоби. Це обумовлює пошуку шляхів підвищення розвідзахищеності радіорелейних ліній зв'язку. Виходячи з цього, пропонується підвищення розвідзахищеності інформаційно-телекомунікаційної системи військового призначення забезпечувати шляхом застосування широкосмугових сигналів в радіорелейних лініях зв'язку. Розглянуто принципи підвищення розвідзахищеності інформаційно-*

телекомунікаційної системи військового призначення шляхом використання прямого розширення спектру в радіорелейних станціях.

Ключові слова: *інформаційно-телекомунікаційна система військового призначення; розвідзахищеність; радіорелейні станції, широкосмугові сигнали, пряме розширення спектру.*

Використання радіорелейного зв'язку для побудови інформаційно-телекомунікаційної систем військового призначення зумовлює наявність потужних засобів розвідки і радіоелектронного подавлення в збройних силах технічно розвинутих країн для подавлення цієї мережі. На озброєнні армій провідних країн світу знаходиться широкий парк засобів розвідки і подавлення, які здатні суттєво впливати на роботу існуючих радіорелейних станцій військ зв'язку Збройних Сил, які використовуються для побудови осей, рокад, ліній прямого зв'язку та ліній прив'язки інформаційно-телекомунікаційної системи військового призначення [1]. Тому питання підвищення розвідзахищеності інформаційно-телекомунікаційної системи військового призначення має першочергове значення для забезпечення її ефективного функціонування.

Аналіз остатніх досліджень і публікацій.

Аналіз публікацій [2, 3, 5] показав, що розвідзахищеність інформаційно-телекомунікаційної систем військового призначення характеризує її здатність протистояти розкриттю розвідкою противника з точки зору порушення енергетичної, структурної та інформаційної скритності. Енергетична скритність полягає в здатності протистояти заходам, спрямованим на виявлення станцією розвідки факту роботи радіолінії. Структурна скритність зводиться до здатності протистояти визначенню структури сигналу (способу кодування, модуляції та інш.), інформаційна скритність - в здатності протистояти несанкціонованому доступу до інформації, що передається в радіолінії та здатності протистояти введенню хибної інформації. Сучасні засоби розвідки можуть виявляти і класифікувати більше сорока видів радіосигналів, в тому числі і сигналів, які використовуються в існуючих радіорелейних станціях – сигналів із частотною і фазоімпульсною модуляцією

(маніпуляцією), з часовим та частотним розділенням каналів [5].

Властивість ШСС забезпечувати підвищену енергетичну скритність розглянута в ряді видань [5, 6, 7].

Таким чином, **метою статті** є визначення шляхів підвищення розвідзахищеності інформаційно-телекомунікаційної систем військового призначення шляхом використання широкосмугових сигналів (ШСС), з збереженням параметрів ВЧ стволів, які використовуються в існуючих радіорелейних станціях.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо два способи підвищення перших двох складових розвідзахищеності шляхом: 1) розширення бази широкосмугових сигналів (цим досягається підвищення енергетичної скритності радіорелейних ліній); 2) здійснення передачі з кодовим розділенням каналів (цим досягається підвищення структурної скритності радіорелейних ліній). Реалізація цих шляхів можлива при використанні цифрових каналів зв'язку.

Сутність властивості ШСС забезпечувати підвищену енергетичну скритність полягає в наступному.

Ймовірність спотворення елементарного цифрового сигналу (біта) визначається співвідношенням його енергії E_6 до спектральної щільності завад (шумів) $N_{ш}$ на вході приймача: $h^2 = E_6 / N_{ш}$. Енергія сигналу є добутком потужності сигналу P_c і його тривалості (тривалості біта) T_6 : $E_6 = P_c T_6$. Спектральна щільність завад в смузі пропускання приймача дорівнює відношенню потужності завад (шумів) $P_{ш}$ в смузі пропускання Δf_c : $N_{ш} = P_{ш} / \Delta f_c$. Виходячи з цього маємо:

$$\begin{aligned}
 h^2 &= \frac{E_6}{N_{ш}} = \frac{P_c T_c}{P_{ш} / \Delta f_{ст}} = \left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{\text{вх.пр}} T_c \Delta f_{рч} = \frac{P_c}{P_{ш}} \frac{\Delta f_{пр}}{F_{пс}} = \left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{\text{вх.пр}} \frac{\Delta f_{рч}}{F_{рс}} \frac{F_{рс}}{F_{пс}} = \\
 &= \left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{\text{вх.пр}} B_{рч} B_{рс} = B \left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{\text{вх.пр}}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Добуток $T_6 \Delta f_c$ носить назву бази сигналу B :

$$B = \frac{\Delta f_{\text{пр}}}{F_{\text{пс}}} = \frac{\Delta f_{\text{пр}}}{F_{\text{рс}}} \frac{F_{\text{рс}}}{F_{\text{пс}}} = B_{\text{рч}} B_{\text{рс}} \quad (2)$$

де, $B_{\text{рч}}$ - база радіочастотного сигналу;

$B_{\text{рс}}$ - база первинного сигналу

Відповідно:

$$h^2 = B \left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}_{\text{вх.пр}} \right) = B \left(\frac{N_c}{N_{\text{ш}}}_{\text{вх.пр}} \right) = BK_{\text{п}}^{-1} = \frac{B}{K_{\text{п}}} \quad (3)$$

де, N_c - спектральна щільність радіосигналу

Необхідне значення h^2 при високих значеннях бази B може бути досягнуто при $N_c \leq N_{\text{ш}}$. З співвідношення (3) випливає, що рівень спектральної щільності сигналу менший за $N_{\text{ш}}$.

Відповідно сигнал маскується шумами, що свідчить про підвищену розвідзахищеність (рис. 1).

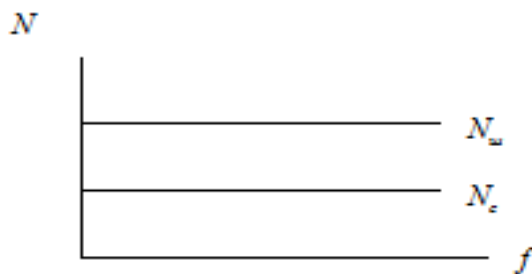


Рис. 1. Співвідношення спектральної щільності сигналу і завади у широкопasmовій системі зв'язку

В широкопasmових системах зв'язку спектральна щільність сигналу може бути менша, ніж спектральна щільність шумів, на десятки дБ [8].

В сучасних військових засобах зв'язку з використанням ШСС застосовують два шляхи досягнення широкопосмуговості [1]: 1) псевдовипадкова перестройка радіочастоти (ППРЧ); 2) пряме розширення спектру (ПРС).

Зміна несучої частоти радіолінії з ППРЧ відбувається в межах всього частотного ресурсу комплексу $\Delta f_{\text{рес}} = \Delta f_{\text{к}}$; крок сітки припустимих значень несучої частоти $\Delta f_{\text{кр}}$ незмінний в межах всієї смуги $\Delta f_{\text{р}}$; тривалість роботи на одній несучій частоті $T_{\text{нч}}$ також однакова. Ширина спектру $\Delta f_{\text{с}}$ визначається величиною кожної несучої частоти $\Delta f_{\text{нч}}$ і кількістю скачків робочої частоти: $\Delta f_{\text{с}} = k \Delta f_{\text{нч}}$. ППРЧ використовується в сучасному військовому радіо зв'язку для підвищення скритності радіо ліній нижчої ланки управління (бригада, батальйон, рота) [2].

Пряме розширення спектру (ПРС) первинного сигналу полягає в тому, що інтервал тривалості кожного біту поділяється на окремі субінтервали, що отримали назву чіпів. При цьому кожен біт первинного цифрового сигналу кодується бінарним кодом послідовності чіпів. Ширина спектру отриманого сигналу буде складати: $F_{\text{пер}} = m/T_{\text{б}}$, де m – кількість чіпів. Згідно з співвідношенням (2) маємо

$$F_{\text{рс}} = \frac{1}{T_{\text{ч}}} = \frac{1}{T_{\text{с}}/m} = \frac{m}{T_{\text{с}}} = mF_{\text{пс}}; \quad B_{\text{рс}} = \frac{F_{\text{рс}}}{F_{\text{пс}}} = m; \quad B = B_{\text{рч}} B_{\text{рс}} = mB_{\text{рч}} \quad (4)$$

Отже, із зростанням m збільшується база сигналу B , що відповідно приводить до підвищення розвідзахищеності. Для радіорелейного зв'язку цілком природно застосовувати спосіб ПРС, тому що цей зв'язок – це зв'язок постійно діючих ліній, які адекватні вимогам застосування ортогональних сигналів.

Застосування ортогональних сигналів в лініях радіорелейного зв'язку пропонується на основі наступних положень:

1) ширина смуги частотного ресурсу радіосигналів для передачі всіх ортогональних сигналів дорівнює ширині смуги радіо ствола $\Delta f_{\text{ств}} (\Delta f_{\text{прс}} = \Delta f_{\text{ств}})$;

2) розподіл каналів зв'язку РРЛ здійснюється по формі каналних сигналів, виходячи з того, що кожному каналу відповідає один з можливих ортогональних сигналів;

3) для збільшення бази мовних повідомлень використовується сучасна вокодерна техніка, яка забезпечує суттєве зменшення ширини смуги первинних сигналів.

Взаємозв'язок ширини смуги ВЧ - ствола РРС $\Delta f_{\text{ств}}$, і технічної швидкості передачі цифрових сигналів $v_{\text{б}} = 1/T_{\text{б}}$ визначається наступним чином.

Величина $\Delta f_{\text{ств}}$ однозначно пов'язана з шириною смуги первинного сигналу: $\Delta f_{\text{ств}} = BF_{\text{пс}}$. Цей зв'язок залежить від виду маніпуляції і для випадку найбільш економної односмугової модуляції $\Delta f_{\text{ств}} \approx F_{\text{пс}}$. Враховуючи наведені співвідношення, (2) можна представити в формі:

$$\Delta f_{\text{рч}} = \Delta f_{\text{ств}}; \quad \Delta f_{\text{ств}} = F_{\text{пс}} B = v_{\text{с}} B_{\text{рс}} B_{\text{рч}} = v_{\text{с}} m B_{\text{рс}}; \quad F_{\text{пс}} = \frac{1}{T_{\text{с}}} = v_{\text{с}} \quad (5)$$

звідкіля випливає, що при заданій величині $\Delta f_{\text{ств}}$ збільшення швидкості передачі сигналу викликає зменшення бази ШСС, яка може бути досягнута (і навпаки). Відповідно, для підвищення бази необхідно передавати цифрові сигнали з найменшою припустимою швидкістю.

Сучасна теорія та практика вокодерів [3] свідчить, що якісна передача мовних сигналів може відбуватись при значеннях $v_{\text{б}}$ до 1,2 кбіт/с. Враховуючи значення ширини смуги ВЧ – стволів найбільш поширених радіорелейних станцій і наведене значення швидкості передачі, можна бачити, що максимальне значення $B_{\text{макс}}$ бази широкосмугових сигналів в радіорелейних лініях може мати величину порядку 10^2 [4-5].

Реальне значення бази сигналу $B_{\text{реал}}$ залежить від виду ортогональних сигналів, які використовуються для створення ШСС. Найбільше поширення в техніці зв'язку отримали псевдо випадкові послідовності (ПВП) і функції Уолша [6]. Для завдань створення радіорелейних ліній більш придатні останні,

оскільки ПВП не строго ортогональні. Функції Уолша, навпаки, є строго ортогональними функціями. Зокрема функції Уолша використовуються як система ортогональних функцій в комерційних системах зв'язку з кодовим розділенням каналів [7].

Число (об'єм) використовуваних функцій Уолша визначається кількістю чіпів m , які входять в кожне кодове слово Уолша. Кількість чіпів має співпадати із цілим ступенем числа 2 ($m = 2^j$, де j - ціле число). Враховуючи, що B_{pc} для найбільш доцільного способу маніпуляції (когерентно фазова маніпуляція) становить 2, можна записати: Таким чином:

$$B_{pc} \cong 2^{j+1} \leq B_{\max} \quad (6)$$

Значення B_{pc} , що можуть бути досягнуті при використанні ВЧ – стволів існуючих РРС, приведені в [8].

Значення m , співпадає з базою розширення спектра $B_{pc} = B_{\text{реал}} / 2$. Число різних функцій Уолша дорівнює m . Згідно об'єму ортогональних функцій, на які можна розраховувати при використанні радіорелейних станцій досягає 128 і 256 [9].

Отримані значення бази сигналу дають можливість визначити енергетичну скритність радіорелейних ліній з застосуванням ШСС, а саме: згідно з співвідношенням (3) коефіцієнт скритності визначається: $K_{\text{скр}} = LnB / h^2$. Величина h^2 залежить від припустимого рівня помилок радіо лінії (рис. 2).

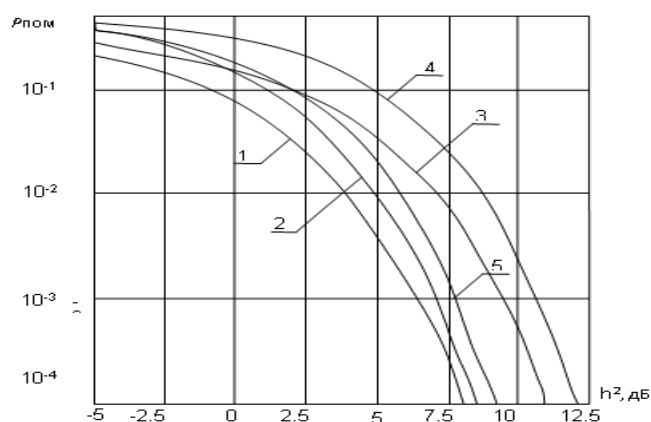


Рис. 2. Графік залежності ймовірності помилок оптимального приймання

В залежності від h_2 для цифрових сигналів з когерентною ФМн (1) , квадратурною когерентною ФМн і ЧМн з МЗч (2), когерентною (3) і некогерентною (4) ЧМн та диференціальною ФМн (5)

Вважаючи, що рівень помилок визначається ймовірністю порядку 10^{-3} , можна бачити, що $h_2 \approx 6,45$, або 8дБ, для ЧМ.

Висновки й перспективи подальших досліджень. Таким чином, використання ШСС поряд з підвищенням розвідзахищеності дає можливість: 1) збільшення числа каналів; 2) комутації каналів по виду сигналу (аналогічно синхронно-адресним системам).

Необхідне питання синхронізації вирішується в сучасних системах зв'язку шляхом передачі необхідної інформації по окремому каналу синхронізації.

Для реалізації результатів, які отримані в розглянутій статті немає необхідності створення нових засобів зв'язку, достатньо модернізувати існуючі радіорелейні станції. А саме необхідно закупити пристрої для створення широкосмугових сигналів ПС ШСС і каналу утворюючу апаратуру КУА. Це буде відповідати меншим фінансовим затратам для отримання завадостійких засобів.

Список джерел:

1. Dinan E. , Jabbavi B. Spreadimp codes for divect Sejyence CDMA and deland CDMA Cellulan networks // IEEE Communicationa magazsne , 1998, v.39, no.9, p.p.48-54.
2. P. Sass and L. Gorr. Communications for the digitized bettlefield of the 21- st century. // IEEE Communications Magazine, 1995,v.36, pp.86-95.
3. Gard V.K., Smolik K., Wilkes J.E. Applications of Code-Division Multiple Access (CDMA) in Wireless/Personal Communications, - NJ : Prentice Hall. 1997. – 356 p.
4. Mykus S. A. Kravchenko Y., Starkova O., Mykolaichuk R. OSI-interlayer consistency problem//Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Київ: НУОУ, 2018. № 1(31). С. 47–51. URL: <http://sit.nuou.org.ua/article/view/158238>
5. Микусь С. А., Савченко В. А. Забезпечення функціональної стійкості телекомунікаційної системи на основі інтелектуалізованої технології підтримки прийняття рішень//Стандартизація, сертифікація та якість. Київ: УкрНДНЦ, 2017. № 4(107). С. 31–36.

6. Mykus S. A. Kravchenko Yu.V., Leschenko O.A. Functional stability of information and telecommunication systems//East European Scientific Journal. Warsaw, 2016. № 2(6). P. 47–52.
7. Mykus S. A. The strategy of building functionally stable information-telecommunication systems//Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Київ: НУОУ, 2017. № 2 (29), С 42–45. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo_2017_2_9
8. Serhii Mykus Igor Chernykh, Oleksiy Alekseienko, Oleksandr Peredrii, Oleksandr Voloshchenko, Vitalii Kosenko. The Methodology for Determining the Status of Normal Domains in Superconducting thin Film From Input Signal//International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, Volume 8. No. 10, October 2020, p. 7572–7576. e-ISSN-2347-3983.
9. С. Микусь, О.Сівоха, Р.Лісневський. Підходи до вибору варіанту побудови інформаційно-телекомунікаційної системи військового призначення//Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Київ: НУОУ, 2020. № 2(38), С. 21–26. URL: <http://sit.nuou.org.ua/article/view/212125>