

О.В. Андрєєв, к.т.н., доц.**В.В. Ципоренко, к.т.н., доц.****Є.О. Андрєєва, магістрант***Державний університет «Житомирська політехніка»***О.Р. Рихальський, к.т.н., доц.***Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова*

Короткохвильовий цифровий широкосмуговий засіб радіозв'язку

Для передачі аналогових мовних сигналів по каналах радіозв'язку у районах зі складним рельєфом місцевості широко використовується короткохвильовий діапазон. При цьому більшість засобів радіозв'язку використовують частотну модуляцію передавача при обмеженій смузі частот. Такі сигнали мають достатньо високу спектральну щільність, що дає змогу виявляти і перехоплювати повідомлення, що передаються. У статті запропоновано застосування цифрового методу передачі мовної інформації з використанням широкосмугового радіосигналу. Проведена оцінка погіршення умов виявлення випромінювання передавача широкосмугової цифрової радіолінії засобами частотного моніторингу порівняно з існуючими вузькосмуговими засобами КХ-діапазону.

Ключові слова: *короткохвильовий радіозв'язок; широкосмуговий сигнал; виявлення випромінювання; якість зв'язку.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та аналіз основних досліджень, у яких започатковане розв'язання проблеми. Організація радіозв'язку завжди пов'язана з вибором частотного діапазону. Відомо, що для передачі аналогових вузькосмугових сигналів по каналах радіозв'язку у районах зі складним рельєфом місцевості широко використовується діапазон частот від 20 до 76 МГц. При цьому більшість засобів радіозв'язку використовують частотну модуляцію при смузі радіоканалу, що не перевищує 20 кГц та потужністю передавача, що змінюється від 1 до 20 Вт [1–3]. Це дає змогу виявляти і перехоплювати повідомлення, що передаються, на відстанях, що перевищують дальність їх зв'язку.

В умовах радіоелектронної протидії, достатня увага приділяється питанням підвищення завадозахищеності засобів зв'язку шляхом підвищення відношення сигнал/перешкода S/N через застосування широкосмугових сигналів у вузькосмугових каналах зв'язку для передачі мовної інформації аналоговим або цифровим методами. Наприклад, у [4] пропонується використання сигналів із внутрішньоімпульсною лінійно-частотною модуляцією із базою, що не перевищує 10, а у [5] запропоновано збільшення бази сигналів шляхом використання вузькосмугових шумоподібних сигналів у вигляді функцій Уолша для реалізації цифрового передавання інформації по каналу із смугою до 20 кГц. Застосування цих методів забезпечує підвищення перешкодостійкості каналу зв'язку, але не підвищує прихованості передавання. У той же час застосування широкосмугових сигналів (ШС) із спектром, значення якого перевищує вузьку смугу окремого радіоканалу, дозволить підвищити прихованість каналу зв'язку через зменшення спектральної щільності корисного сигналу на вході приймача. Наприклад, у [6] розглянута можливість створення аналогової радіолінії передачі мовної інформації з використанням сигналу із внутрішньоімпульсною лінійно-частотною модуляцією, ширина спектру якого суттєво перевищує значення смуги частот радіоканалу зв'язку. Однак питанню зменшення спектральної щільності сигналів шляхом застосування ШС, при реалізації цифрових методів передавання мови короткохвильовими засобами, у літературі достатньої уваги не приділено.

Тому, в умовах радіоелектронної протидії, розробка цифрового короткохвильового (КХ) засобу радіозв'язку для передачі мовної інформації, який зменшить можливість виявлення факту випромінювання радіосигналу, є актуальним завданням.

Метою роботи є оцінка якості передачі мовного сигналу короткохвильовим цифровим широкосмуговим засобом радіозв'язку (ШЗР) та визначення умов, за яких можливо виявлення інформаційного сигналу засобами частотного моніторингу.

Викладення основного матеріалу. Нехай у КХ діапазоні передається повідомлення у вигляді аналогового сигналу із верхньою частотою спектру 4кГц, а при аналого - цифровому перетворенні сигналу використовується 64 рівня квантування з періодом дискретизації 125мкс. Будемо вважати, що для розширення спектру сигналу використовується 13 розрядний код Баркера із тривалістю дискрети 1 мкс.

Якісна передача інформації, при двійковій імпульсно-кодовій модуляції (ІКМ), забезпечується при оптимальному відношенні S/N на вході демодулятора ІКМ 19,8 дБ [7]. Отже оцінка можливості передачі інформації із заданими показниками якості за допомогою ШЗР фактично зводиться до розрахунку відношення S/N для визначеної дальності зв'язку. Знайти потужність сигналу на вході приймача на відстані R від передавача, при умові, що в радіолінії використовуються радіохвилі довжиною λ , потужність випромінюваних передавальною антеною коливань P_e , її коефіцієнт підсилення G_e , а коефіцієнт підсилення приймальної антени G_n , можна з формули [8]:

$$P_c = \frac{P_e G_e G_n \lambda^2 \gamma \eta_1 \eta_2}{(4\pi)^2 R^2},$$

де η_1, η_2 – коефіцієнти корисної дії антенно-фідерного передавального та приймального трактів;

γ – множник послаблення сигналу при розповсюдженні від передавача до приймача.

Множник послаблення сигналу при розповсюдженні вздовж поверхні можна визначити за виразом [9]:

$$\gamma = \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda R},$$

де h_1, h_2 – висота передавальної та приймальної антен.

Будемо вважати, що передавач ШЗР випромінює сигнал потужністю 5 Вт на частоті 30 МГц. Для передачі і приймання використовуються не спрямовані антени, тобто $G_e = G_n = 1$, $\eta_1 = \eta_2 = 0,9$, що розташовуються на висоті $h_1 = h_2 = 2\text{ м}$. Потужність шуму на вході приймача не буде перевищувати $P_{ш} = 4 \cdot 10^{-10} \text{ Вт}$ [6].

Результати розрахунку відношення S/N для різних відстаней R наведені у табл. 1. Як видно з наведених даних, на вході демодулятора ІКМ ШЗР забезпечується необхідне відношення S/N на відстані від передавача, що трохи перевищує 2 км. Крім того, як передую з наведених у табл.1 даних, передавач ШЗР створює у точці розташування приймача значення спектральної щільності потужності сигналу у п'ятдесят разів менше ніж передавач радіостанції Р-107 з такою самою потужністю.

Таблиця 1

Показники якості лінії зв'язку, при потужності передавача 5 Вт

R , км	Спектральна щільність потужності сигналу на вході приймача ШЗР, Вт/Гц	S/N на вході демодулятора ІКМ, дБ	Спектральна щільність потужності сигналу на вході приймача Р-107, Вт/Гц
1	$3,5 \cdot 10^{-14}$	30,4	$1,75 \cdot 10^{-12}$
1,5	$1 \cdot 10^{-14}$	25,1	$0,5 \cdot 10^{-12}$
2	$4 \cdot 10^{-15}$	21,4	$2 \cdot 10^{-13}$
2,5	$2,2 \cdot 10^{-15}$	18,5	$1,1 \cdot 10^{-13}$
3	$1,3 \cdot 10^{-15}$	16,1	$0,65 \cdot 10^{-13}$

Перевірка можливості виявлення випромінювання ШЗР засобами частотного моніторингу полягає у визначенні відношення S/N , яке буде створюватись передавачем ШЗР на вході демодулятора приймача засобу частотного моніторингу. Наприклад, приймач AR5000, який у діапазоні частот 2 – 40 МГц має смугу пропускання $\Delta f_c = 15 \text{ кГц}$ (або 220 кГц) забезпечує нормальну роботу в режимі частотної модуляції із SINAD = 12 дБ [10]. Відношення сигнал/шум на вході приймача AR5000 у смузі пропускання Δf_c , що створюється передавачем ШЗР, визначається згідно виразу:

$$S/N = \frac{\Delta f_c P_{шзр}}{\Delta f_{шзр} P_{ш}},$$

де $P_{шзр}$ – потужність сигналу, що створюється на вході приймача передавачем ШЗР.

У таблиці 2 наведені розрахункові значення відношення S/N , при зміні відстані між передавачем ШЗР і приймачем AR5000 із неспрямованою антеною, для потужності передавача ШЗР 5 Вт. З аналізу

даних, що наведені у табл.3, виходить, що приймач AR5000 із смугою 15 кГц здатен виявити випромінювання передавача ШЗР з відстані менше ніж 1,5 км.

Таблиця 2

Відношення S/N на вході приймача AR5000, дБ

Тип засобу зв'язку	Відстань до приймача AR5000, км				
	1	1,5	2	3	5
ШЗР	19	14	10	5	-1,6
P-107	36	31	27	22	15

Для порівняння у табл.3 наведені значення відношення S/N , що створює передавач радіостанції P-107 із тією ж самою потужністю. З наведених даних можна зробити висновок, що умови виявлення сигналу ШЗР засобами частотного моніторингу у 50 разів гірші ніж вузькосмугової радіостанції P-107. Зауважимо, що така можливість забезпечується саме через використання широкосмугового сигналу, який забезпечує зменшення потужності сигналу ШЗР на вході вузькосмугового приймача в кількість разів, що дорівнює $\Delta f_{шзр} / \Delta f_c = 50$. Відновити інформацію, що передається по каналу зв'язку, можливо завдяки використанню виграшу обробки ШС. При цьому, незважаючи на можливість виявлення сигналу ШЗР, будь який інший приймач, що не має апіорної інформації про параметри інформаційного сигналу, не зможе забезпечити виграш обробки ШС і відновити інформацію, що міститься у сигналі.

Висновки. Застосування широкосмугового сигналу в запропонованому цифровому короткохвильовому засобі радіозв'язку погіршило умови виявлення факту випромінювання радіосигналу порівняно із вузькосмуговими засобами КХ-діапазону. Відсутність апіорних даних про параметри сигналу ШЗР суттєво ускладнює перехоплення інформації засобами частотного моніторингу. Зменшення впливу на роботу вузькосмугових засобів зв'язку можна досягти при використанні спрямованих антен в радіолінії широкосмугового зв'язку стаціонарного базування. Остаточні висновки щодо можливості одночасної роботи ШЗР із засобами КХ - діапазону можуть бути зроблені після проведення статистичного моделювання сумісної роботи засобів, при умові їх частотно - територіального та часового рознесення.

Список використаної літератури:

1. Радиостанция P-107M. Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : armyman.info/books/id-1163.html.
2. Радиостанция P-123M. Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : armyman.info/books/id-1164.htm.
3. Бурляй І.В. Системи радіозв'язку та їх застосування оперативно-рятувальною службою : посібник / І.В. Бурляй, Б.Б. Орел, О.М. Джулай. – Чернігів : РВК «Деснянська правда», 2007. – 288 с.
4. Ананьев А.В. Повышение помехоустойчивости узкополосных каналов радиосвязи на основе применения сигналов с внутриимпульсной частотной модуляцией / А.В. Ананьев, Д.А. Безуглов, В.И. Юхнов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8209>.
5. Концептуальні напрямки вдосконалення існуючих і побудова перспективних систем управління і зв'язку КХ, ДХ-СХ, НДХ радіодіапазонів в умовах радіоелектронної протидії / Л.Б. Макаров, С.В. Хуторянко, О.І. Федюшин, Д.А. Семенець // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 2 (26). – С. 80–85 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.hups.mil.gov.ua.
6. Широкасмуговий засіб радіозв'язку коротко-хвильового діапазону для передачі аналогових вузькосмугових сигналів / О.В. Андреев, П.П. Мартинчук, І.І. Полещук, М.Ф. Хоменко // Вісник ЖДТУ. – 2016. – № 3 (78). – С. 49–55.
7. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е. Варакин. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.
8. Радиотехнические системы : учеб. пособие / Ю.П. Гришин, В.П. Игнатов и др. ; под общ. ред. Ю.М. Казаринова. – М. : Высш. школа, 1990. – 496 с.
9. Долуханов М.П. Распространение радиоволн : учеб. для вузов / М.П. Долуханов. – М. : Связь, 1972. – 336 с.
10. AR5000A [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.aorusa.com/support/discontinued/ar5000a_addendum.pdf.

References:

1. «Radiostancija R-123M. Tehnicheskoe opisanie i instrukcija po jekspluatacii», [Online], available at: armyman.info/books/id-1164.html
2. «Radyostancuja R-123M. Tehnycheskoe opysanye y unstrukcyja po jekspluatacyu», [Online], available at: armyman.info/books/id-1164.htm

3. Burljaj, I.V., Orel, B.B. and Dzhulaj, O.M. (2007), *Systemy radiozv'jazku ta i'h zastosuvannja operatyvno-rjatuval'noju sluzhboju*, posibnyk, RVK «Desnjans'ka pravda», Chernigiv, 288 p.
4. Anan'ev, A.V., Bezuglov, D.A. and Juhnov, V.Y (2013), «Povyshshenje pomohoustojchyvosty uzkopolosnyyh kanalov radyosvjazy na osnove pryumenenja sygnalov s vnutryympul'snoj chastotnoj moduljaciej», *Sovremennyye problemy nauky y obrazovanya*, No. 1, [Online], available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8209>
5. Makarov, L.B., Hutorjanko, S.V., Fedjushyn, O.I. and Semenev, D.A. (2011), «Konceptual'ni naprjamky vdoskonalennja isnujuchyh i pobudova perspektyvnyh system upravlinnja i zv'jazku KH, DH-SH, NDH radiodapazoniv v umovah radioelektronnoi' protydii'», *Systemy ozbrojennja i vijs'kova tehnik*, No. 2 (26), pp. 80–85, [Online], available at: www.hups.mil.gov.ua
6. Andrejev, O.V., Martynchuk, P.P., Poleshuk, I.I. and Homenko, M.F. (2016), «Shyrokosmugovyj zasib radiozv'jazku korotko-hvylovogo diapazonu dlja peredachi analogovyh vuz'kosmugovyh sygnaliv», *Visnyk ZhDTU*, No. 3 (78), pp. 49–55.
7. Varakyn, L.E. (1985), *Systemy svjazy s shumopodobnyymi signalamy*, Radio y svjaz', M., 384 p.
8. Gryshyn, Ju.P., Ygnatov V.P. and other (1990), *Radyotekhnicheskye systemy*, in Kazarynova, Ju.M. (ed), ucheb. posobyje, Vyssh. shkola, M., 496 p.
9. Doluhanov, M.P. (1972), *Rasprostranenie radyovoln*, ucheb. dlja vuzov, Svjaz', M., 336 p.
10. «AR5000A», [Online], available at: www.aorusa.com/support/discontinued/ar5000a_addendum.pdf

Андрєєв Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біомедичної інженерії та телекомунікацій Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- радіосистеми передавання інформації.

Ципоренко Віталій Валентинович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біомедичної інженерії та телекомунікацій Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси: цифрова обробка сигналів.

Андрєєва Євгенія Олександрівна – магістрант Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- телекомунікаційні системи.

Рихальський Олександр Ростиславович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри телекомунікацій та радіотехніки Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси: радіотелеметричні системи.

Стаття надійшла до редакції 04.02.2019.