

# ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА. АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.396.24

О.В. Андреев, к.т.н., доц.

П.П. Мартинчук, ст. викл.

І.І. Полещук, ст. викл.

М.Ф. Хоменко, ст. викл.

*Житомирський державний технологічний університет*

## ШИРОКОСМУТОВИЙ ЗАСІБ РАДІОЗВ'ЯЗКУ КОРОТКОХВИЛЬОВОГО ДІАПАЗОНУ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ АНАЛОГОВИХ ВУЗЬКОСМУТОВИХ СИГНАЛІВ

*Передача інформації по радіоканалу зв'язку завжди передбачає вибір виду модуляції радіохвилі певної частоти і виділення смуги частот, яку займає радіосигнал. Для передачі аналогових вузькосмутових 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, без будь-якого шифрування повідомлень. Це дає змогу виявляти і перехоплювати повідомлення, що передаються. Застосування голосових скремблерів дозволяє приховати інформацію, що передається по вузькосмутовому каналу зв'язку, але приховати факт випромінювання передавача практично неможливо. Запропоновано використання широкосмутового радіосигналу із модуляцією, що не пов'язана зі зміною частоти передавача відповідно до інформаційної складової. Проведені розрахунки показали, що запропонована система зв'язку може працювати в загальній смузі частот разом з існуючими вузькосмутовими засобами КХ-діапазону, не створюючи їм при цьому суттєвих перешкод. При цьому відношення сигнал/шум, яке створюється на вході приймача частотного моніторингу, майже на два порядки менше ніж для існуючих вузькосмутових засобів КХ-діапазону.*

**Ключові слова:** *короткохвильовий радіозв'язок; широкосмутовий 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 вузькосмутових сигналів по каналах радіозв'язку у районах зі складним рельєфом місцевості широко використовується діапазон частот від 20 МГц до 76 МГц. При цьому більшість засобів радіозв'язку використовують частотну модуляцію передавача з девіацією до 7 кГц та потужністю передавача, що змінюється від 1 до 20 Вт [1-5]. Практично не використовується шифрування повідомлень. Це дає змогу виявляти і перехоплювати повідомлення, що передаються, на відстанях, що перевищують дальність їх зв'язку. На сьогоднішній день існує можливість реалізації аналогового, або цифрового скремблювання вузькосмутових каналів зв'язку. Наприклад, короткохвильовий голосовий скремблер «CODAN» завдяки додатковій цифровій обробці голосу практично виключає можливість перехоплення повідомлення без необхідності будь-яких схемних змін засобів зв'язку [6]. Але при цьому приховати факт випромінювання передавача так само неможливо, як і для звичайних вузькосмутових засобів зв'язку. У [7] розглянуті основні положення використання широкосмутових шумоподібних сигналів для реалізації цифрового передавання інформації у частотно обмежених радіодіапазонах.

Тому, в умовах радіоелектронної протидії, розробка короткохвильового (КХ) засобу радіозв'язку для передачі аналогових вузькосмутових сигналів, який зменшить можливість виявлення факту випромінювання радіосигналу і перехоплення повідомлення, що передаються, є актуальним завданням.

**Метою роботи** є оцінка якості передачі аналогових вузькосмутових сигналів короткохвильовим широкосмутовим засобом радіозв'язку (ШЗР) та визначення умов, за яких

можливо виявлення сигналу ШЗР, за сумісної роботи з існуючими вузькосмуговими короткохвильовими засобами.

**Викладення основного матеріалу.** Нехай короткохвильовий ШЗР має потужність передавача не більше ніж 5 Вт і використовує широкосмуговий сигнал з модуляцією, що не пов'язана зі зміною частоти передавача відповідно до інформаційної складової, на відміну від частотної модуляції, що використовується більшістю КХ засобів радіозв'язку.

Відомо, що інформація радіоелектронного засобу не буде виявлена, якщо потужність, що створюється на вході розвідувального приймача буде менша, ніж порогова чутливість цього приймача. Розглянемо питання визначення порогової чутливості радіоприймального пристрою.

Для граничної чутливості радіоприймального пристрою  $\frac{P_{с\text{ вих}}}{P_{ш\text{ вих}}}=1$ , а враховуючи, що

$P_{ш\text{ вх}}=kT_0\Pi$ , вираз для коефіцієнта шуму радіоприймального пристрою буде подаватися наступним рівнянням [8]:

$$K_{ш} = \frac{P_{с\text{ вх}}}{kT_0\Pi}, \quad (1)$$

де  $P_{с\text{ вх}}$  – гранична чутливість радіоприймального пристрою;

$k$  – стала Больцмана;

$\Pi$  – смуга приймача;

$T_0 = 290\text{ K}$  – температура, при якій знаходиться приймач.

Тоді гранична чутливість радіоприймального пристрою  $P_{с\text{ вх}} = K_{ш}kT_0\Pi$ . Якщо вхідний опір радіоприймального пристрою  $R_{вх}$ , то гранична напруга на вході радіоприймального пристрою буде визначатися виразом:

$$U_{вх} = \sqrt{P_{с\text{ вх}}R_{вх}} = \sqrt{K_{ш}kT_0\Pi R_{вх}}. \quad (2)$$

Для отримання порогової чутливості приймача  $P_{с\text{ мин}}$ , при якій відношення  $\frac{P_{с\text{ вих}}}{P_{ш\text{ вих}}}=S/N$ ,

значення граничної напруги на вході радіоприймального пристрою також має бути збільшено на це значення.

На практиці у більшості випадків порогова чутливість приймача задається у мкВ. Тому для визначення порогової чутливості приймача у Вт достатньо визначити з виразу (2) значення  $P_{с\text{ вх}}$  та збільшити його на значення  $S/N$ . Наприклад, вхідний опір широкосмугового скануючого приймача AR5000 [9], що використовується для радіомоніторингу випромінювань радіо засобів, складає 50 Ом, а його порогова чутливість, при модуляції FM із смугою  $\Pi = 220\text{ кГц}$ , у діапазоні частот 2–40 МГц дорівнює 1,58 мкВ, при значенні  $SINAD = 12\text{ дБ}$  (табл. 1).

Таблиця 1

Технічні характеристики AR5000

Параметр	Значення				
	Діапазон частот, МГц	Види модуляції (смуга приймача, кГц)			
		AM (6)	SSB (3)	FM (15)	FM (220)
Чутливість, мкВ (AM при $S/N = 10\text{ дБ}$ , SSB, FM при $SINAD = 12\text{ дБ}$ )	2–40	1,25	0,40	0,56	1,58
	40–1000	0,63	0,3	0,4	1,28
	1000–3000	0,63	0,3	0,36	0,89

Визначимо порогову чутливість приймача у Вт. Отримаємо граничну чутливість приймача, зменшивши порогову чутливість приймача у 3,98 рази, тобто  $U_{вх} = 1,58/3,98 = 0,4\text{ мкВ}$ . Визначимо з виразу (2) граничну чутливість приймача  $P_{с\text{ вх}} = U_{вх}^2 / R_{вх} = 3,2 \cdot 10^{-15}\text{ Вт}$ . Збільшивши це значення на величину  $SINAD$ , отримаємо порогову чутливість приймача AR5000:

$P_{c \text{ мин}} = 5,1 \cdot 10^{-14} \text{ Вт}$ . З виразу (1) можна також визначити значення коефіцієнта шуму радіоприймального пристрою, який для даного прикладу складає  $K_{ш} = \frac{P_{c \text{ вх}}}{kT_0\Pi} = 3,6$ .

Для визначення потужності шуму на вході приймача необхідно враховувати як зовнішні джерела шуму, так і внутрішні шуми приймача. Напряга шуму визначається за виразом Найквіста [8]:

$$U_{ш} = \sqrt{4kT\Pi_{ш}R}, \quad (3)$$

де  $T$  – шумова температура;  $\Pi_{ш}$  – смуга частот вимірювань.

З виразу (3) можливо визначити шумову температуру  $T$ , а отже і визначити потужність шуму на вході приймача, що створюється зовнішніми джерелами за виразом:

$$P_{ш \text{ зб}} = kT\Pi. \quad (4)$$

Для визначення напруги шуму, що створюється на вході приймача зовнішніми джерелами у діапазоні коротких хвиль, можна скористатися графіками, що наведені на рисунку 1 [8]. На рисунку 1 наведені залежності напруги шуму, що створюється на вході приймача різними зовнішніми джерелами, від частоти, які були отримані на опорі  $R = 75 \text{ Ом}$  у смузі частот  $\Pi_{ш} = 2,1 \text{ кГц}$ .

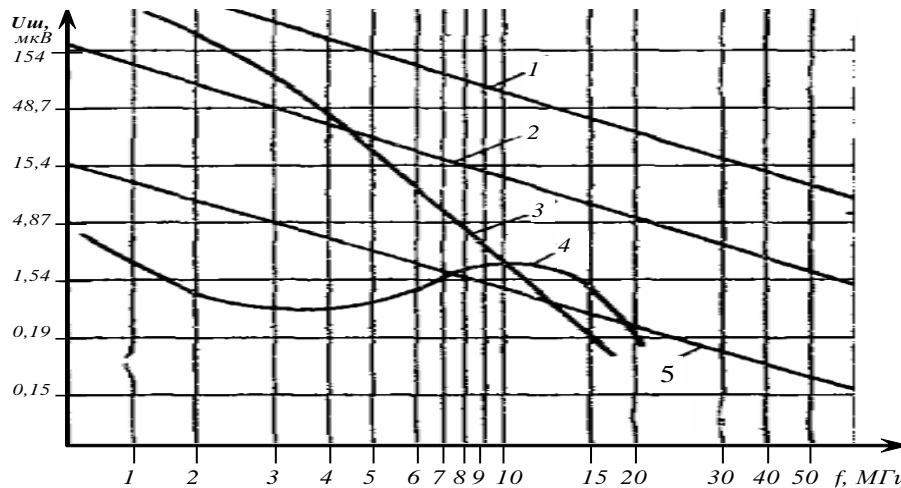


Рис. 1. Напряга шуму, що створюється на вході приймача зовнішніми джерелами:  
1 – індустриальні перешкоди у місті; 2 – індустриальні перешкоди за містом;  
3 – атмосферні вдень; 4 – атмосферні вночі; 5 – космічні.

Потужність внутрішніх шумів фактично визначається граничною чутливістю радіоприймального пристрою  $P_{ш \text{ вн}} = K_{ш}kT_0\Pi$ . Тоді сумарна потужність шуму буде визначатися за виразом:  $P_{ш} = k(T + T_0K_{ш})\Pi$ .

Припустимо, що в радіолінії використовуються радіохвилі довжиною  $\lambda$ , потужність випромінюваних передавальною антеною коливаний  $P_e$ , її коефіцієнт підсилення  $G_e$ , коефіцієнт підсилення приймальної антени  $G_n$ . Тоді знайти потужність сигналу на вході приймача на відстані  $R$  від передавача можна з формули [10]:

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

де  $\eta_1, \eta_2$  – коефіцієнти корисної дії антенно-фідерного передавального та приймального трактів;  $\gamma$  – множник послаблення сигналу при розповсюдженні від передавача до приймача.

Множник послаблення сигналу при розповсюдженні вздовж поверхні можна визначити за виразом [11]:

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

де  $h_1, h_2$  – висота передавальної та приймальної антен;  $R$  – відстань між антенами.

Завданнями дослідження є:

- оцінка можливості передачі інформації із заданими показниками якості за допомогою ширококутового засобу радіозв'язку (ШЗР);
- перевірка можливості суміщеної роботи ШЗР з існуючими вузькосмуговими засобами зв'язку;
- перевірка можливості виявлення випромінювання ШЗР та перехоплення інформаційного повідомлення.

Оцінимо можливість передачі інформації із заданими показниками якості за допомогою ШЗР.

Будемо вважати, що засіб випромінює ширококутовий сигнал на частоті 30 МГц із значенням бази 54, при дев'яти частоті 1 МГц. Для передачі і приймання використовуються не спрямовані антени, тобто  $G_e = G_n = 2\text{дБ}$ ,  $\eta_1 = \eta_2 = 0,9$ , що розташовуються на висоті  $h_1 = h_2 = 2\text{м}$ . При цьому, для визначення потужності шуму на вході приймача ШЗР будемо вважати, що його коефіцієнт шуму не перевищує припустимого для КХ зв'язку значення 10 дБ [8]. Тоді потужність внутрішніх шумів  $P_{швн} = 4 \cdot 10^{-14}\text{Вт}$ . Нехай робота лінії зв'язку відбувається на фоні індустриальних перешкод, які створюють напругу шуму на вході приймача не більше ніж 16 мкВ. Тоді, згідно з рівнянням (4), потужність зовнішніх шумів не буде перевищувати  $P_{шзв} = 4 \cdot 10^{-10}\text{Вт}$ , а отже сумарна потужність шуму на вході приймача ШЗР не буде перевищувати значення  $P_{ш} = 4 \cdot 10^{-10}\text{Вт}$ . Таким чином основний вплив на роботу приймача ШЗР здійснюють зовнішні шуми.

Показники якості передачі інформації визначаються відношенням  $S/N$ , тому визначимо цей показник для запропонованого ШЗР, при потужності передавача 5 Вт, і занесемо його у таблицю 2. Як видно з наведених даних, на виході демодулятора ШЗР практично забезпечується таке саме відношення  $S/N$ , як і для існуючої радіостанції Р-107 з такою самою потужністю передавача, дані для якої наведені в останньому стовпчику таблиці 2. У той же час зменшення потужності передавача ШЗР на 1 Вт зменшує відношення  $S/N$  на вході приймача на 1 дБ.

Перевірка можливості суміщеної роботи ширококутового засобу радіозв'язку з існуючими вузькосмуговими засобами зв'язку полягає фактично у визначенні впливу на роботу вузькосмугових засобів зв'язку випромінювання передавача ШЗР.

Таблиця 2

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

$R$ , км	$\gamma$ , дБ	$P_c$ , Вт	$S/N$ ШЗР на вході демодулятора, дБ	$S/N$ ШЗР на виході демодулятора, дБ	$S/N$ Р-107, дБ
1	-23	$2,7 \cdot 10^{-8}$	18,3	35,6	36,3
3	-28	$1,3 \cdot 10^{-9}$	5	22,3	21
5	-30	$2,8 \cdot 10^{-10}$	-1,7	15,6	15
7	-31,5	$1 \cdot 10^{-10}$	-6	11,3	11
10	-33	$3,5 \cdot 10^{-11}$	-10,7	6,6	6,3

Сигнал із шириною спектра  $\Delta f_{ШЗР}$ , що створюється передавачем ШЗР на вході приймача радіостанція Р-107 у смузі пропускання  $\Delta f_c$ , призведе до зменшення відношення сигнал/шум  $S/N$  на вході приймача, що створюється корисним сигналом [10]:

$$(S/N)^* = \frac{P_c}{P_{ш} + \frac{\Delta f_c}{\Delta f_{ШЗР}} P_{ШЗР}},$$

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

Нехай радіостанція Р-107 здійснює зв'язок на відстань від 0,1 до 5 км, а передавач ШЗР змінює свою відстань від приймача радіостанції Р-107 від 0,1 до 3 км. Визначимо на скільки

зміниться співвідношення  $S/N$  на вході приймача радіостанція Р-107, за умови, що смуга пропускання приймача 20 кГц, а коефіцієнт шуму дорівнює 10 дБ. За цих умов сумарна потужність шуму на вході приймача Р-107 не буде перевищувати значення  $P_u = 8 \cdot 10^{-12} \text{ Вт}$ . Для передачі і приймання використовуються не спрямовані антени, тобто  $G_e = G_n = 2\text{дБ}$ ,  $\eta_1 = \eta_2 = 0,9$ , що розташовуються на висоті  $h_1 = h_2 = 2\text{ м}$ . Результати розрахунків значення  $(S/N)^*$  на вході демодулятора приймача радіостанції Р-107 наведені у таблиці 3. З аналізу даних, що наведені у табл. 3, виходить, що нормальна робота лінії вузькосмугового зв'язку ( $\text{SINAD} = 12 \text{ дБ}$ ), при використанні не спрямованих антен, буде забезпечена за умови, що передавач ШЗР знаходиться від приймача радіостанції Р-107 на відстані не менше ніж дальність між приймачем і передавачем радіолінії. Зауважимо, що така можливість забезпечується саме через використання широкосмугового сигналу, що забезпечує зменшення потужності заважаючого сигналу ШЗР на вході демодулятора вузькосмугового приймача в кількість разів, що дорівнює  $\Delta f_{\text{ШЗР}} / \Delta f_c = 50$ . Якби на однаковій відстані від приймача радіостанції Р-107 знаходився передавач такої самої радіостанції, що працює на тій самій частоті, то передача була б неможливою через те, що заважаючий сигнал створив би на вході демодулятора приймача радіостанції Р-107 відношення  $S/N = 0 \text{ дБ}$ . Зменшення впливу на роботу вузькосмугових засобів зв'язку можна досягти під час використання спрямованих антен в радіолінії широкосмугового зв'язку стаціонарного базування.

Таблиця 3

Відношення  $(S/N)^*$  на вході приймача радіостанції Р-107, дБ

Відстань до передавача ШЗР, км	Відстань між передавачем і приймачем радіостанції Р-107, км				
	0,1	0,5	1	3	5
0,1	17	-3	-12	-27	-33
0,5	38	17	8	-6,4	-12
1	47	26	17	2,6	-3
3	59	39	30	15,8	9

Перевірку можливості виявлення випромінювання ШЗР засобами частотного моніторингу проведемо за раніше викладеною методикою розрахунку відношення  $S/N$ , яка відрізняється лише тим, що це відношення буде визначатися на вході демодулятора приймача AR5000 з максимальною смугою  $\Pi = 220 \text{ кГц}$ . У таблиці 4 наведені розрахункові значення відношення  $S/N$  при зміні як потужності передавача ШЗР, так і відстані між передавачем ШЗР і приймачем AR5000. З аналізу даних, що наведені у таблиці 4, виходить, що широкосмуговий скануючий приймач AR5000 у режимі модуляції FM зі смугою  $\Pi = 220 \text{ кГц}$  навіть із не спрямованою антеною здатен виявити випромінювання передавача ШЗР з відстані менше ніж 1 км. При цьому, розрахунки показали, що навіть у самому найгіршому для виявлення випадку (потужність передавача 1 Вт, відстань – 5 км) потужність сигналу, що створюється на вході приймача AR5000 складає  $1,2 \cdot 10^{-11} \text{ Вт}$  і є меншою за потужність шумів, розрахункове значення яких дорівнює  $9 \cdot 10^{-11} \text{ Вт}$ . У той же час, випромінювання радіостанції Р-107, за потужності передавача 1 Вт створює на вході демодулятора AR5000 із смугою 15 кГц на відстані 5 км відношення  $S/N = 10 \text{ дБ}$ . Отже, умови виявлення сигналу ШЗР засобами частотного моніторингу майже на два порядки гірші ніж існуючих вузькосмугових засобів КХ-діапазону.

Таблиця 4

Відношення  $S/N$  на вході приймача AR5000, дБ

Потужність передавача ШЗР, Вт	Відстань між передавачем ШЗР і приймачем AR5000, км			
	0,5	1	3	5
1	21	12	-2	-9
3	26	17	2,8	-4
5	28	19	5	-1,7

Крім того, незважаючи на можливість виявлення сигналу ШЗР, відновити інформацію, що міститься у сигналі існуючими звичайними вузькосмуговими, а також спеціальними засобами радіомоніторингу без розробки демодулятора практично неможливо. Це пов'язано з тим, що на відміну від існуючих засобів КХ зв'язку, що використовують частотну модуляцію передавача, передача інформаційної складової у запропонованому варіанті короткохвильового ШЗР не пов'язана зі зміною частоти передавача.

**Висновки.** Застосування широкосмугового сигналу в запропонованому засобі зв'язку дає змогу працювати в загальній смузі частот разом з існуючими вузькосмуговими засобами КХ-діапазону, не створюючи їм при цьому суттєвих перешкод. Умови виявлення сигналу ШЗР засобами частотного моніторингу майже на два порядки гірші ніж існуючих вузькосмугових засобів КХ-діапазону, а застосування модуляції сигналу, що не пов'язана зі зміною частоти передавача відповідно до інформаційної складової, не дасть змогу існуючим засобам зв'язку перехопити інформаційне повідомлення без розробки відповідного демодулятора. У подальших дослідженнях передбачається виготовлення діючого зразка ШЗР, що дасть змогу на практиці підтвердити розраховані теоретично показники за сумісної роботи з існуючими вузькосмуговими короткохвильовими засобами.

#### Список використаної літератури:

1. Радиостанция Р-107М / Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [armyman.info/books/id-1163.html](http://armyman.info/books/id-1163.html).
2. Радиостанция Р-123М / Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [armyman.info/books/id-1164.htm](http://armyman.info/books/id-1164.htm).
3. Радиостанция Р-148 / Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [manualkocezigo.8-800-333-53-17.ru/stranitsa-758.html](http://manualkocezigo.8-800-333-53-17.ru/stranitsa-758.html).
4. Радиостанция Р-159 / Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [voennizdat.com/teh/radio/tehradio82.doc](http://voennizdat.com/teh/radio/tehradio82.doc).
5. 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.
6. Коротковолновый голосовой скремблер CODAN [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.nelt.info/codan/hf\\_options\\_voice\\_scrembler.htm](http://www.nelt.info/codan/hf_options_voice_scrembler.htm).
7. 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. Хуторяно, 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](http://www.hups.mil.gov.ua).
8. Бунин С.Г. Справочник радиолюбителя – коротковолновика / С.Г. Бунин, Л.П. Яйленко. – К. : Техніка, 1984. – 264 с.
9. AR5000A [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.aogusa.com/support/discontinued/ar5000a\\_addendum.pdf](http://www.aogusa.com/support/discontinued/ar5000a_addendum.pdf).
10. Радиотехнические системы : учеб. пособие / Ю.П. Гришин, В.П. Игнатов и др. : под общ. ред. Ю.М. Казаринова. – М. : Высш. школа, 1990. – 496 с.
11. Долуханов М.П. Распространение радиоволн : учеб. для вузов / М.П. Долуханов. – М. : Связь, 1972. – 336 с.

#### References:

1. *Radiostantsiya R-107M. Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii* [Radio station R-107M. Technical description and user manual], available at: [armyman.info/books/id-1163.html](http://armyman.info/books/id-1163.html) (accessed 22 January 2016)
2. *Radiostantsiya R-123M. Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii* [Radio station R-123M. Technical description and user manual], available at: [armyman.info/books/id-1164.html](http://armyman.info/books/id-1164.html) (accessed 22 January 2016)

3. *Radiostantsiya R-148. Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii* [Radio station R-148. Technical description and user manual], available at: [manualkocezigo.8-800-333-53-17.ru/stranitsa-758.html](http://manualkocezigo.8-800-333-53-17.ru/stranitsa-758.html) (accessed 22 January 2016)
4. *Radiostantsiya R-159. Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii* [Radio station R-159. Technical description and user manual], available at: [voennizdat.com/teh/radio/tehradio82.doc](http://voennizdat.com/teh/radio/tehradio82.doc) (accessed 22 January 2016)
5. Burlyaj, I.V., Orel, B.B. and Dzhulaj, O.M. (2007), *Systemy radiozv'jazku ta i'h zastosovannja operatyvno-rjatuval'noju sluzhboju* [Radio communication systems and applications Operational Rescue Service], RVK "Desnyans'ka pravda", Chernigiv, 288 p.
6. *Korotkovolnovoy golosovoy skrembler CODAN* [Shortwave voice scrambler CODAN], available at: [www.nelt.info/codan/hf\\_options\\_voice\\_scrembler.htm](http://www.nelt.info/codan/hf_options_voice_scrembler.htm) (accessed 22 January 2016)
7. Makarov, L.B., Hutorjanko, S.V., Fedjushyn, O.I. and Semeneč', 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" [Conceptual directions of improving existing and building advanced management systems and radio communications in condition of electronic countermeasures], *Systemy ozbrojennja i vijs'kova tehnika*, Vol. 2 (26), pp. 80–85, available at: [www.hups.mil.gov.ua](http://www.hups.mil.gov.ua) (accessed 22 January 2016)
8. Bunin, S.G. and Jajlenko, L.P. (1984), *Spravochnik radioljubitelja – korotkovolnovika* [Manual radio amateur – shortwave], Tehnika, Kyiv, 264 p.
9. AOR (2016), "AR5000A", available at: [www.aorusa.com/support/discontinued/ar5000a\\_addendum.pdf](http://www.aorusa.com/support/discontinued/ar5000a_addendum.pdf) (accessed 25 January 2016)
10. Grishin, Ju.P. and Ignatov, V.P. (1990), *Radiotekhnicheskie sistemy* [Radio-technical systems], Vysshaya shkola, Moscow, 496 p.
11. Doluhanov, M.P. (1972), *Rasprostranenie radiovoln* [Propagation of radio waves], Svjaz', Moscow, 336 p.

АНДРЕЄВ Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри радіотехніки, радіоелектронних апаратів і телекомунікацій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– обробка інформації в інформаційно-вимірювальних системах.

E-mail: [Oleks.Andreyev@gmail.com](mailto:Oleks.Andreyev@gmail.com).

МАРТИНЧУК Петро Петрович – старший викладач кафедри радіотехніки, радіоелектронних апаратів і телекомунікацій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– радіовимірювальні прилади.

E-mail: [m.petro@ukr.net](mailto:m.petro@ukr.net).

ПОЛЕЩУК Іван Іванович – старший викладач кафедри радіотехніки, радіоелектронних апаратів і телекомунікацій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– радіотехнічні системи.

E-mail: [ivan.pol@ukr.net](mailto:ivan.pol@ukr.net).

ХОМЕНКО Микола Федорович – старший викладач кафедри радіотехніки, радіоелектронних апаратів і телекомунікацій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– обробка сигналів в радіотехнічних системах.

E-mail: [homenko\\_n@mail.ru](mailto:homenko_n@mail.ru).

Стаття надійшла до редакції 05.09.2016.