

УДК 621.396.6

## РОЗПІЗНАВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНО ПРИХОВАНИХ ЛЧМ СИГНАЛІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ ПАРАМЕТРИЧНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

А. Б. СТЕЙСКАЛ<sup>1</sup>, С. О. КОВТУН<sup>2</sup>, О. А. ІЛЛЯШОВ<sup>1</sup>, В. В. ВОЙТКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Науково-дослідний інститут Міністерства оборони України,

Україна, Київ, 04050

<sup>2</sup>ТОВ НВФ «КРИПТОН»,

Україна, Київ, 02094

**Анотація.** Проведено аналіз діаграми невизначеності прямокутного лінійно-частотно-модульованого (ЛЧМ) радіоімпульсу. Виявлено характерну точку діаграми невизначеності. Запропоновано проводити розпізнавання на основі величини значення кореляції у характерній точці (кінці великої осі) еліпсоподібної діаграми невизначеності, побудованої у спеціальній системі координат. Запропоновано квазіоптимальний автокореляційний алгоритм з квадратурною обробкою, який є стійким до апіорної невизначеності параметрів вхідних енергетично прихованих сигналів невідомої форми з невідомою початковою фазою на фоні гауссівського стаціонарного шуму. Визначено параметри налаштування схеми розпізнавання та правило прийняття рішення про наявність у вхідній суміші сигналу з ЛЧМ. Проведено імітаційне моделювання процедури розпізнавання за допомогою програмного пакета Matlab R2016a. Результати моделювання підтвердили здатність запропонованого алгоритму розпізнавати ЛЧМ сигнал у вхідній суміші при малих відношеннях сигнал/шум.

**Ключові слова:** лінійно-частотно-модульований сигнал; ЛЧМ; автокореляційний алгоритм; апіорна невизначеність; енергетично прихований сигнал; кореляційний метод; радіомоніторинг; складний сигнал; ширококутовий сигнал; розпізнавання

### 1. ВСТУП

Останнім часом з'явилась тенденція до збільшення кількості телекомунікаційних систем (ТКС), що використовують сигнали з розширеним спектром випромінювань: кодофазоманіпульовані сигнали, сигнали з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ). За рахунок цього підвищується завадозахищеність ТКС, забезпечується прихований режим їх функціонування, що є важливим для систем військового призначення.

У зв'язку з цим виникає необхідність створення систем радіомоніторингу (РМ) таких сигналів. Використання в ТКС ширококутових сигналів суттєво зменшує спектральну щільність потужності радіовипромінювань та їх енергетичну доступ-

ність. Виявити такі радіовипромінювання, класифікувати сигнали, що використовуються, виміряти їх параметри, та провести подальшу обробку в ситуації, коли нема будь-якої апіорної інформації про ТКС, що підлягають моніторингу, є складним науково-технічним завданням.

### 2. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Одним з важливих науково-технічних завдань при радіомоніторингу ТКС, що використовують ЛЧМ сигнали [1, 2], є розпізнавання лінійної частотної модуляції.

У [3, 4] розв'язано задачу виявлення енергетично прихованого ЛЧМ сигналу та визначення його параметрів на основі дискретної

DOI: [10.20535/S0021347020080026](https://doi.org/10.20535/S0021347020080026)

© А. Б. Стейскал, С. О. Ковтун, О. А. Ілляшов, В. В. Войтко, 2020

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. M. Horai, H. Kobayashi, and T. G. Nitta, "Chirp Signal Transform and Its Properties," *J. Appl. Math.*, vol. 2014, pp. 1–8, 2014, doi: [10.1155/2014/161989](https://doi.org/10.1155/2014/161989).
2. J. G. Proakis and D. K. Manolakis, *Digital Signal Processing*, 4th ed. Pearson, 2006.
3. А.Б.Стейскал, "Результати моделювання схеми визначення середньої частоти лінійно-частотно-модульованого сигналу з низькою спектральною щільністю потужності," *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*, no. 1, pp. 109–114, 2018, uri: <http://sit.nuou.org.ua/article/view/159093>.
4. С.О.Ковтун and А.Б.Стейскал, "Результати аналізу параметрів приймача сигналів з лінійною частотною модуляцією при енергетично прихованому режимі роботи," *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*, no. 1, pp. 34–41, 2014, uri: <http://sit.nuou.org.ua/article/view/36491>.
5. О.Д.Мрачковський, В. Є. Бичков, and О.О.Олійник, "Про деградацію функції невизначеності широкополосного зондируючого сигналу з лінійною частотною модуляцією всередині імпульсу," *Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування*, no. 38, pp. 41–45, 2009.
6. L. Zhang, Y. Liu, J. Yu, and K. Liu, "Low-complexity spatial parameter estimation for coherently distributed linear chirp source," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 75843–75854, 2018, doi: [10.1109/ACCESS.2018.2883530](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2883530).
7. A. Steiskal, S. Kovalchuk and S. Kovtun, "Recognition signs of composite signals of telecommunication systems", the fourteenth international scientific-practical conference "Mathematical Modeling and Simulation of Systems. MODS'2019", June 24 - June 26 2019, Ukraine, Chernihiv, pp. 379-380, url: <http://stu.cn.ua/media/files/conference/MODS2019.pdf>.
8. M. Joneidi, A. Zaeemzadeh, S. Rezaeifar, M. Abavisani, and N. Rahnavard, "LFM signal detection and estimation based on sparse representation," in *2015 49th Annual Conference on Information Sciences and Systems, CISS 2015*, 2015, doi: [10.1109/CISS.2015.7086856](https://doi.org/10.1109/CISS.2015.7086856).
9. А.А.Колчев and А.Е.Недопекин, "Использование модели смеси вероятностных распределений при обнаружении сигналов радиофизического зондирования," *Известия вузов. Радиоэлектроника*, vol. 59, no. 8, p. 44, 2016, doi: [10.20535/s0021347016080057](https://doi.org/10.20535/s0021347016080057).
10. Ieee, *IEEE Std 802.15.4a-2007, IEEE Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems-LANs and MANs-Specific Requirements-Part 15.4: Wireless MAC and PHY Specifications for LR-WPANs-Amendment 1: Add*

---

*Alternate PHYs*, vol. 2007, no. August, 2007, doi:  
[10.1109/IEEESTD.2007.4299496](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2007.4299496).

Поступила в редакцию 24.01.2020

После доработки 16.07.2020

Принята к публикации 16.07.2020

---