

*В.М. КАРТАШОВ, д-р техн. наук, В.О. ПОСОШЕНКО, канд. техн. наук,  
В.І. КОЛІСНИК*

## ВИКОРИСТАННЯ ЕФЕКТУ СТОХАСТИЧНОГО РЕЗОНАНСУ ДЛЯ АНАЛІЗУ СПЕКТРІВ АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ МАЛИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

### Вступ

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) вперше з'явилися під час Другої світової війни. Наприкінці 1950-х років створюються безпілотні розвідники, а в 70-х роках 20 століття починають проводитися науково-дослідні розробки в галузі бойових БПЛА, а також безпілотних літаків з великою висотою та тривалістю польоту, призначених для тривалого спостереження, збору та передачі розвідувальної інформації.

.....

### Ефект стохастичного резонансу. Основні поняття

Прийнято вважати, що наявність шуму в системі є негативним фактором, і боротьба з шумами є одним з актуальних завдань підвищення перешкодостійкості радіотехнічних систем. Розробляються малозумливі пристрої та методи шумозаглушення, створені завадостійкі коди, сигнали з найкращою структурою автокореляційної функції, оптимальні фільтри; питання прийому сигналів розглядаються з позиції теорії статистичних рішень, використовуються виявлення методом накопичення, [19].

Разом з тим, дослідження, проведені в 80-х роках минулого століття в області теоретичної та експериментальної фізики, показали, що в ряді випадків наявність шуму сприяє виділенню сигналу на тлі перешкод [20, 21]. Одним з прикладів такої поведінки є ефект стохастичного резонансу (СР) [20, 21]. Стохастичним резонансом називається ефект виділення періодичного сигналу з адитивної суміші з шумом. СР є універсальним ефектом, властивим багатьом нелінійним системам, що знаходяться під впливом слабкого сигналу, замаскованого шумом.

Відгук нелінійної системи на слабкий зовнішній сигнал у разі НС помітно посилюється зі зростанням інтенсивності шуму в системі та досягає певного максимуму при певному рівні шуму. Оскільки ефект СР реалізується в низькочастотній ділянці, то інша назва СР – нелінійний стохастичний фільтр.

Рівняння, що описує ефект СР має вигляд [20-22]

$$dy/dt = ay(t) - by^3(t) + x(t), \quad (1)$$

де  $x(t)$  – вхідний сигнал;

$a, b$  – параметри системи;

$y(t)$  – сигнал на виході системи.

Дане рівняння є рівнянням Абеля 1-го порядку та не має аналітичного рішення [23].

До вхідного сигналу пред'являються такі вимоги: він має бути слабким та періодичним.

Розглянемо випадок вхідного сигналу як адитивної суміші гармонійного сигналу  $s(t)$  і Гаусового шуму  $n(t)$ :

$$x(t) = s(t) + n(t). \quad (2)$$

Чисельний розрахунок відгуку при впливі на вхід системи, що має ефект СР, адитивної суміші гармонійного сигналу та Гаусового шуму наведено на рис.1. Частота сигналу дорівнює 1/8 Гц, відношення сигнал/шум – 3 Дб [24].

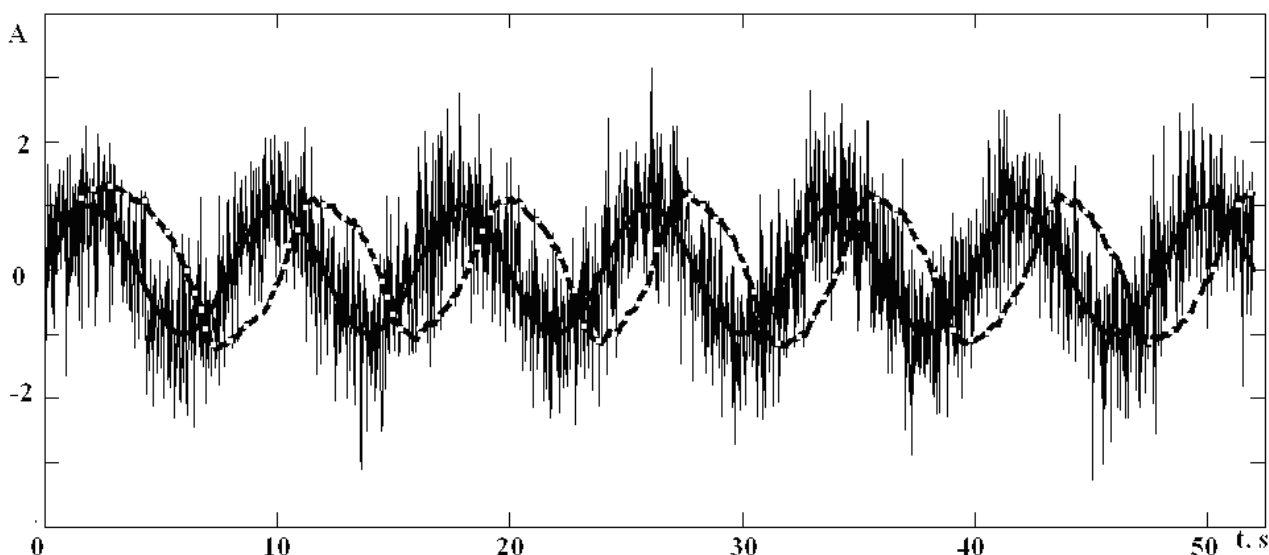


Рис.1. Виділення сигналу на тлі Гаусового шуму при гармонійному вхідному сигналі (суцільна лінія – гармонійний сигнал, що передається  $s(t)$ , тонка лінія – адитивна суміш гармонійного сигналу з шумом  $x(t)$ , пунктирна лінія – сигнал на виході нелінійної системи  $y(t)$ )

Наочно видно, що в результаті обробки вхідної адитивної суміші відповідно до виразу (1) вдається значно зменшити шумову компоненту коливання. Разом з тим, спостерігається запізнення вихідного сигналу по відношенню до вхідного, що є характерним для нелінійних фільтрів.

.....

### **Виділення акустичного випромінювання БПЛА методом стохастичної фільтрації**

Сумарний спектр акустичного випромінювання тактичного БПЛА обумовлений гармонійними та широкополосними складовими. Він включає гармонійні складові випромінювання від двигуна, шуму обертання гвинта, випромінювання механічного походження, а також високочастотну і низькочастотну складові шуму двигуна з безперервними по частоті спектрами. У шумі силової установки БПЛА, що включає поршневі двигун повітряного охолодження, при відсутності в його вихлопному тракті глушника визначальним джерелом зовнішнього шуму є поршневий двигун.

.....

### **Висновки**

1. Проведено аналіз фізичної природи та основних ознак випромінювання, створюваного сучасними БПЛА. Показано, що для вирішення проблеми виявлення малопомітних та малошвидкісних БПЛА найбільш ефективним є акустичний канал, причому для виявлення БПЛА інформаційною характеристикою акустичного каналу є сумарний спектр акустичного випромінювання.

.....

### **Список літератури:**

1. Корольков В.А. Автоматизированные акустические и оптоэлектронные комплексы и системы для экологического и метеорологического мониторинга атмосферы. Дисс. д.т.н. по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий. Научн. конс. – д.т.н., проф. Тихомиров А.А. –Томск, 2017. – 471 с.
2. Kartashov V.M., Tikhonov V.A., Voronin V.V. Features of construction and application of complex systems for the atmosphere remote sounding// Telecommunications and Radio Engineering.- New York. - 2017.- Vol. 76, №8.- P.743-749.

3. Semenets V. V., Kartashov V.M., Leonidov V. I. Registration of refraction Phenomenon in the Problem of acoustic Sounding of Atmosphere in Airport Zone // Telecommunications and Radio Engineering.- New York. - 2018.- Vol. 77, №5.- P.461-468.
4. Теодорович Н.Н., Строганова С.М., Абрамов П.С. Способы обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами// Интернет-журнал “НАУКОВЕДЕНИЕ”. Том 9, № 1 (2017). <http://naukovedenie.ru/PDF/13TVN117.pdf> (доступ свободный). Загл. С экрана. Яз. рус., англ.
5. Амелин К.С., Миллер А.Б. Алгоритм уточнения местонахождения легкого БПЛА на основе калмановской фильтрации измерений пеленгационного типа./Санкт-Петербургский государственный университет// Анализ и синтез систем управления. Информационные процессы. Том 13, № 4, 2013, стр. 338–352.
6. Ю.В. Даник, М.В. Бугайов. Аналіз ефективності виявлення тактичних безпілотних літальних апаратів пасивними та активними засобами спостереження// Збірник наукових праць ЖВІ ДУТ. Інформаційні системи'15. Вип.10. - 2015. – С.5-20.
7. Соловьев В. А. Проблемы обнаружения беспилотных летательных аппаратов опико-электронными устройствами / В. А. Соловьев // Электронный математический и медико-биологический журнал. – Т. 10, 2011. – Вып. 3. – С. 1–13.
8. Kartashov V.M., Oleynikov V.N., Sheiko S.A., Korytsev I.V., Babkin S.I., Zubkov O.V., Anokhin M.A. Information characteristics of sound radiation of small unmanned aerial vehicles// Telecommunications and Radio Engineering.- New York. - 2018.- Vol. 77, №10.- P.915-924.
9. Beel J. J. Anti-UAV Defense For Ground Forces and Hypervelocity Rocket Lethality Models / J. J. Beel. – Monterey, California : Naval Postgr aduate School, 1992. – P. 36–46.
10. Moses A. Radar-based detection and identification for minia ture air vehicles / A. Moses, M. J. Rutherford, K. P. Valavanis // IEEE International Conference on Control Applications. – ?
11. Sadasivan S. Acoustis signaturе of an unmanned air vehicle – exploitation for aircraft localisation and parameter estimation / S.Sadasivan, M.Gurubasavaraj, S.R. Sekar // Eronautical DEF SCI J.- 2001. – Vol. 51, № 3. – Pp. 279–283.

*Надійшла до редколегії 00.00.2022*

*Відомості про авторів:*

**Карташов Володимир Михайлович** – д-р техн. наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем, Україна, e-mail: [volodymyr.kartashov@nure.ua](mailto:volodymyr.kartashov@nure.ua), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8335-5373>

**Посошенко Віталій Олександрович** – Харківський національний університет радіоелектроніки, канд. техн. наук, доцент кафедри медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем, Україна, e-mail: [vitalii.pososhenko@nure.ua](mailto:vitalii.pososhenko@nure.ua), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0867-9161>

**Колісник Вікторія Іванівна** – Харківський національний університет радіоелектроніки, асистент кафедри медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем, Україна, e-mail: [viktoria.kolisnyk@nure.ua](mailto:viktoria.kolisnyk@nure.ua), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2382-9124>