

# **ЕФЕКТ СТОХАСТИЧНОГО РЕЗОНАНСА ПРИ ФІЛЬТРАЦІЇ ЗВУКОВИХ СИГНАЛІВ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

Капуста А.І.

Науковий керівник – д.т.н., професор Карташов В.М.  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
(61166, Харків, пр. Науки, 14, каф. МІРЕС,  
Тел.. (057) 702-15-87  
e-mail: d\_res@nure.ua

Stochastic resonance should be understood as phenomena that occur in nonlinear systems in which when applied to a relatively weak noisy or subthreshold signal for detecting external noise, there is an increase in the signal-to-noise ratio or the probability of detecting and recognizing the signal. The amplification of the "useful" part of the output signal (signal / noise) depending on the intensity of the external noise is described by the dependence, which characterizes the term "resonance".

Мета роботи – визначення характерних ознак акустичних сигналів малорозмірних БПЛА та аналіз їхнього спектрального складу із застосуванням методу стохастичного резонансу та стохастичної фільтрації.

Завдання виявлення БПЛА в повітрі, спостереження за еволюцією його руху, дозвіл декількох близько розташованих літаючих об'єктів є досить актуальною науково-прикладною задачею.

Одним з основних методів є виявлення БПЛА з використанням акустичного каналу [1].

Завдання виявлення і супроводу БПЛА вирішуються, як правило, з використанням методів радіолокаційної обробки сигналів, які засновані на лінійній фільтрації сигналів на тлі шумів і перешкод високої інтенсивності. В той же час, нелінійні методи стохастичною фільтрації на основі стохастичного резонансу відкривають широкі перспективи для виявлення сигналів, що генеруються БПЛА, і виділення їх на тлі акустичних шумів.

Проблема виділення слабких сигналів на тлі перешкод в даний час залишається актуальною. Кількісною мірою стійкого прийому сигналів служить відношення сигнал-шум, яке повинно перевищувати певне значення (порядку декількох десятків децибел). Основні принципи прийому сигналів при наявності шуму були отримані в основному для лінійних радіотехнічних систем. Гармонійні складові сигналу і шуму проходять через лінійну систему незалежно один від одного, а при переході через нелінійну систему вони взаємодіють між собою.

Дослідження, проведені в 80-х роках минулого століття в області теоретичної і експериментальної фізики, показали, що в ряді випадків наявність шуму сприяє виділенню сигналу на тлі перешкод. Одним із прикладів такої поведінки є ефект стохастичного резонансу (СР).

Стохастичним резонансом називається ефект виділення періодичного сигналу з адитивною суміші з шумом. СР є універсальним ефектом, властивим багатьом нелінійних систем, що знаходяться під впливом слабкого сигналу, замаскованого шумом [2,3].

Під СР слід розуміти явища, які проявляються в нелінійних системах, в яких при накладення на відносно слабкий зашумлений або підпороговий для детектування сигнал зовнішнього шуму відбувається збільшення співвідношення сигнал-шум або імовірність виявлення і розпізнавання сигналу. Посилення «корисної» частини вихідного сигналу (сигнал/шум) в залежності від інтенсивності зовнішнього шуму описується залежністю, що і характеризує термін «резонанс».

Рівняння, яке описує ефект СР має вигляд:

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

де  $x(t)$  – вхідний сигнал;  $a, b$  – параметри системи;  $y(t)$  – сигнал на виході системи.

Для прикладу застосуємо метод СР для виділення корисного сигналу з адитивною суміші сигналу БПЛА і шуму. Результат розрахунку спектральної щільності потужності для дисперсії шуму наведено на рисунку 1.

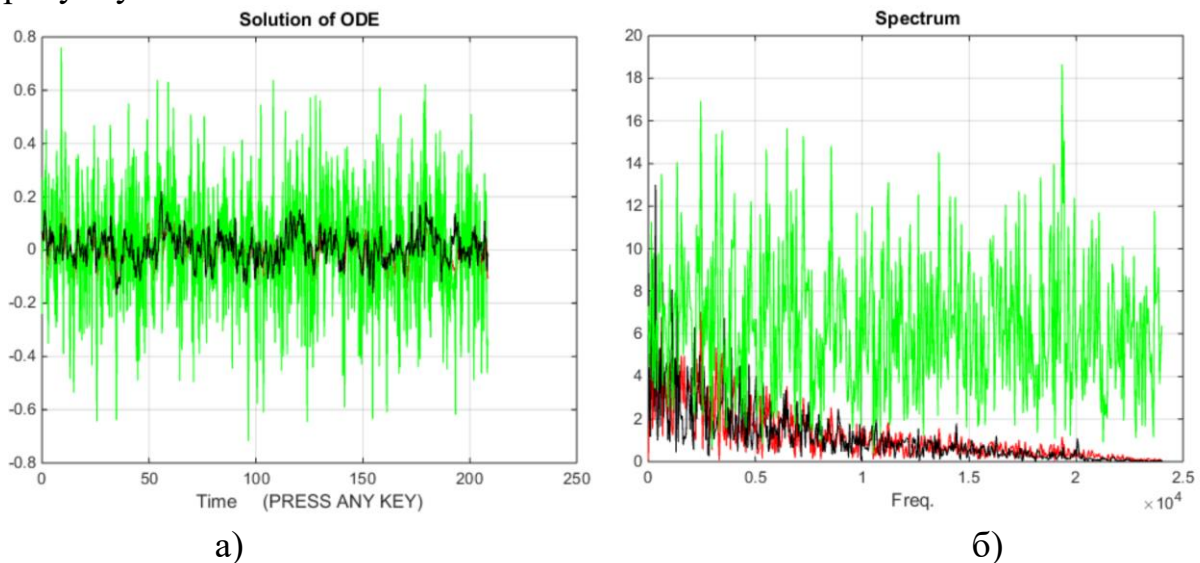


Рисунок 1 – Часова реалізація сигналу БПЛА з дисперсією  $D=0.05$  (чорний – сигнал БПЛА, зелений – адитивна суміш сигналу з шумом) (а), виділення сигналу БПЛА на фоні гауссова шума (чорний – сигнал БПЛА, зелений – адитивна суміш сигналу з шумом, червоний – сигнал, отриманий за допомогою ефекту СР) (б)

Рисунок 1 показує, що стохастичний фільтр на основі ефекту СР забезпечує виділення низькочастотних компонент акустичного сигналу БПЛА, тобто реалізує обробку, аналогічну низькочастотної фільтрації, при відношенні сигнал/шум на вході дБ. Якість фільтрації визначається

збереженням низькочастотних компонент в спектрі вихідного сигналу. У високочастотній же області спостерігаємо значне ослаблення відгуку фільтра.

При подальшому збільшенні потужності шуму виділення сигналу не відбувається, і на тимчасовій діаграмі з'являються помилкові піки. Крім того, показано, що смугу пропускання стохастичного фільтра можна регулювати, шляхом змінюючи значення коефіцієнта перерахунку частоти, вибираючи кількість гармонік, що підлягають виділенню.

**Висновки:**

Експериментальне дослідження звукових сигналів квадрокоптера і моноплана показало, що їх спектри мають яскраво виражені гармонійні складові з частотами, кратними частоті обертання гвинта.

При проведенні чисельних розрахунків виділення корисної складової аудіосигналу з аудіосигналу БПЛА на основі моделі стохастичного резонансу показано, що проявлення ефекту СР є аналогічним низькочастотній фільтрації.

На прикладі гармонійного сигналу проведено чисельне моделювання ефекту СР. Показано, що стохастичний фільтр на основі СР дозволяє виділити гармонійний сигнал з адитивної суміші гармонійного сигналу і гаусова шуму.

### **Перелік джерел:**

1. Теодорович Н.Н., Строганова С.М., Абрамов П.С. Способы обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами // Интернет-журнал “Науковедение”. 2017. Т. 9. № 1.

2. 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 RadioEngineering. 2018. Vol. 77, №10.-P.915-924.

3. Анищенко В.С., Нейман В.Б., Мосс Ф., Шиманский-Гайер Л. Стохастический резонанс как индуцированный шумом эффект увеличения степени порядка // Успехи физических наук. 1999. Т. 169, № 1. С. 7–37.