

## ОСНОВИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ШУМОВИХ ПРОЦЕСІВ

**Abstract.** The use of information support for virtual systems measurement of characteristics of noise signals are given. Mathematical model of noise signal as a linear random process with stationary generating white noise are considered. algorithm of metrological certification system on the basis of sample degree are given.

**Keywords:** noise processes, information support, metrological certification, sample degree, linear random process.

**Вступ.** За останній період шумові процеси стали важливим об'єктом досліджень метрології в різних галузях науки і техніки, а також промисловості [1-3]. Це пов'язано з різними причинами, серед яких необхідно виділити:

- значна кількість технічних систем, механізмів та промислового обладнання у різних галузях господарства країни, в першу чергу, енергетиці, машинобудуванні, транспортній та інших, вичерпали нормативний технічний ресурс, але продовжує працювати і виникає необхідність поточного моніторингу їх стану і режимів функціонування;

- сучасні інформаційні технології досліджень стану і режимів функціонування систем різної фізичної природи мають значні потенційні можливості, що дають змогу оцінити залишковий та прогнозований ресурси тієї, чи іншої технічної системи для прийняття рішення про подальше її використання, в тому числі за результатами досліджень шумових процесів при роботі систем.

Прикладом таких сучасних інформаційних технологій є технології шумової вібродіагностики, які використовуються в енергетиці [1-2].

При вирішенні цієї науково-технічної проблематики виникають задачі досліджень шумових сигналів на основі спостережень, вимірювань, контролю, діагностування та прогнозування їх характеристик. Останні дослідження показали, що шумові сигнали, які формуються при різних режимах роботи технічних систем, відрізняються динамікою зміни характеристик шумових сигналів в часі і в просторі, несуть вагому інформацію про стан і режими роботи досліджуваної системи. Результати розв'язку задач досліджень шумових сигналів також відомі в теорії виявлення корисних сигналів при дії завад (шумів), вимірювання характеристик шумових сигналів як характеристик випадкових процесів. При цьому зустрічаються наступні постановки задач досліджень шумових сигналів у різних комбінаціях з корисними сигналами:

- а) досліджуються корисні сигнали;

б) досліджуються шумові сигнали;

в) досліджуються комбінації корисних і шумових сигналів.

Останній варіант, як правило, завжди має місце при розв'язку практичних задач досліджень. Два попередніх варіанти трактуються наступним чином:

- співвідношення сигнал/завада є значним і впливом завади можна знехтувати, але при цьому потенційні результати досліджень мають обмежений характер;

- співвідношення сигнал/завада є значно малим (значно менше одиниці), а відповідно співвідношення шум/сигнал значно більше одиниці і можна знехтувати дією корисного сигналу, що також зменшує вагомість результатів досліджень.

Використання сучасних методів статистичного опрацювання даних, включаючи цифрову обробку сигналів, дають можливість варіанти а) і б) досліджувати більш коректно, шляхом застосування попередньої обробки даних з метою вилучення шумової компоненти, а для варіанту б) – сигнальної компоненти. Варіант в), а саме врахування одночасної дії комбінацій сигнальної і шумової компоненти є більш обґрунтованим напрямом досліджень.

Більш детально розглянемо актуальність задачі, яка розглядається в даній роботі. Для вирішення проблематики досліджень шумових сигналів, яка коротко наведена вище, для сучасних засобів (систем, комплексів) вимірювань використовується відповідний математичний апарат на основі використання методів випадкових функцій (процесів і полів), математичної статистики, теорії вимірювань, технічних систем та інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), методів моделювання, основ обчислювальної техніки, програмування та інших. Сучасні ІВС сьогодні реалізуються в двох варіантах:

- реальні ІВС;

- віртуальні ІВС з широким використанням засобів обчислювальної техніки.

До специфіки функціонування ІВС як апаратно-програмних систем відносять забезпечення метрологічних характеристик, які визначаються наступними характеристиками точності вимірювань:

- апаратної підсистеми, в основному, сенсорного модуля ІВС;

- обчислювальної підсистеми ІВС.

Базуючись на концепції невизначеності результатів вимірювань характеристики точності вимірювань ІВС на сьогодні адаптовані у відповідності до характеристик невизначеності.

**Постановка задачі.** Створити загальну математичну модель шумового сигналу, обґрунтувати вибір зразкової міри, навести алгоритм (методику) визначення метрологічного забезпечення для проведення широкого кола комп'ютерних вимірювальних експериментів в задачах статистичного оцінювання характеристик шумових сигналів.

**Основні результати.** Конструктивний метод створення моделей шумових процесів заснований на основі використання випадкового процесу типу білого шуму відомий в задачах як методи: формуючого лінійного фільтра; породжуючого процесу; відновлюваного процесу; стохастичних інтегральних зображень [4-5].

Аналізуючи використання вказаних методів при створенні моделей шумових сигналів, можна зробити висновок, що метод стохастичних інтегральних зображень по суті узагальнив результати вказаних інших методів і обґрунтував клас лінійних випадкових процесів, як нестационарних, так і стаціонарних.

*Лінійним випадковим процесом* називається процес загального виду [4]

$$\xi(\omega, t) = \int_0^{\infty} \varphi(\tau, t) d\eta(\omega, \tau), \quad \omega \in \Omega, t \in T \quad (1)$$

де  $\varphi(\tau, t)$  – не випадкова функція двох аргументів, фізична інтерпретація якої є імпульсна перехідна функція лінійного фільтра у загальному випадку з залежними від часу параметрами, а випадковий процес  $\eta(\omega, \tau)$  є однорідним процесом з незалежними (некорельованими) приростами.

Узагальнена похідна процесу  $\eta'(\omega, \tau) = \zeta(\omega, \tau)$  є процесом білого шуму.

Тому наступний вираз

$$\xi(\omega, t) = \int_0^{\infty} \varphi(\tau, t) \zeta(\omega, \tau) d\tau \quad (2)$$

більш чітко розкриває фізичну інтерпретацію методу стохастичних інтегральних зображень випадкових процесів як лінійну фільтрацію процесу стаціонарного білого шуму  $\zeta(\omega, t)$ .

Лінійна випадкова послідовність з дискретним часом описується виразом [5-6]

$$\xi(\omega, kh) = \sum_{n=0}^{\infty} \varphi(nh, kh) \zeta(\omega, nh), \quad (3)$$

де  $\zeta(\omega, nh)$  – породжуючий стаціонарний білий шум з дискретним часом з параметрами  $M\{\zeta(\omega, nh)\} = m$ ,  $D\{\zeta(\omega, nh)\} = \sigma^2$ , а  $\varphi(nh, kh)$  – двовимірний імпульсна перехідна функція формуючого лінійного дискретного фільтра зі змінними в часі параметрами, яка задана на дискретній часовій ґратці з рівномірним кроком

$$\{n\Delta t = nh, n = 0, 1, 2, \dots\}.$$

Лінійна випадкова послідовність (3) є стаціонарною, якщо

$\varphi(nh, kh) \equiv \varphi((k-n)h) = \varphi(mh)$  тобто маємо формуючий дискретний фільтр з постійними в часі параметрами і відповідно отримуємо

$$\xi(\omega, kh) = \sum_{n=0}^{\infty} \varphi[(k-n)h] \zeta(\omega, nh) \quad (4)$$

з наступними характеристиками

$$\mathbf{M}\{\xi(\omega, kh)\} = m \sum_{n=0}^{\infty} \varphi(nh) = const$$

$$\mathbf{D}\{\xi(\omega, kh)\} = \sigma^2 \sum_{n=0}^{\infty} \varphi^2(nh) = const \quad (5)$$

$$R[nh, kh] \equiv R[(n+m)h - nh] \equiv R[mh] = \sigma^2 \sum_{n=0}^{\infty} \varphi[(n+m)h] \varphi[nh]$$

На сьогодні моделі шумових процесів виду (1) для задач метрологічного моніторингу систем вимірювань характеристик шумових сигналів дають можливість:

- описувати як одномірні, так і багатомірні шумові сигнали;
- проводити аналіз моделей як в рамках кореляційної теорії, так і в рамках вищих моментів;
- використовувати результати досліджень випадкових процесів та полів з незалежними приростами, які найбільш досліджені в теорії випадкових функцій, а також результати досліджень використання білого шуму;
- представлення (4) використовуються при комп'ютерному моделюванні реалізацій шумових сигналів в якості алгоритмів;
- вирази (5) використовуються при статистичному оцінюванні характеристик шумових сигналів.

*Інформаційне забезпечення.* Термін інформаційне забезпечення також потребує певної інтерпретації та конкретизації, оскільки інформаційне забезпечення є інтегральним продуктом значної кількості компонент, складових так званого м'якого обладнання досліджуваних систем, об'єктів, комплексів. Наприклад, інформаційне забезпечення в ІВС – це сукупність фізичних і математичних моделей досліджуваних сигналів, вимірювального каналу з сенсорними підсистемами, реалізації методу вимірювання у виді алгоритмічно-програмного забезпечення роботи обчислювальної підсистеми ІВС, відповідні бази даних зразкових мір досліджуваних фізичних величин, вимірювань, метрологічних характеристик підсистем та в цілому ІВС.

Більш детально зупинимося на інформаційному забезпеченні при дослідженнях віртуальних систем вимірювання характеристик шумових сигналів.

Перш за все відмітимо актуальність та важливість проведення досліджень віртуальних ІВС, які є попереднім етапом створення реальних ІВС. При дослідженнях віртуальних ІВС використовуються значно менший

об'єм часових, виробничих, фінансових та інших ресурсів, але в той же час значно зростає об'єм досліджень різних варіантів побудови апаратно-програмних структур ІВС.

Результати використання створеного інформаційного забезпечення широкого кола комп'ютерних вимірювальних експериментів віртуальних систем вимірювання характеристик шумових сигналів дають можливість [1-6]:

- удосконалити існуючі ІВС та розробити принципово нові системи вимірювання;

- розширити області їх застосування та діапазону контрольованих характеристик та параметрів шумового процесу;

- підвищити ефективність ІВС на основі використання нових фізичних ефектів та явищ для створення сенсорних підсистем перетворювальних компонентів систем;

- використовувати нові моделі інформаційних сигналів, їх характеристик та параметрів, які більш адекватно відображають об'єктивну реальність;

- використовувати нові методи обробки інформації, методи виявлення та виділення найбільш інформативних діагностичних ознак;

- широко застосовувати методи статистичного аналізу експериментальних даних;

- включити до кола контрольованих нові інформаційні характеристики шумових процесів;

- оцінювати надійність апаратно-програмних засобів систем вимірювання характеристик шумових процесів;

- прогнозувати стан технічних систем на основі вимірювання характеристик шумових процесів;

- обґрунтувати в якості зразкової міри реалізацію стаціонарного білого шуму, сформовану програмним генератором псевдовипадкових чисел з використанням засобів обчислювальної техніки.

*Метрологічна атестація зразкової міри.* Для вибору зразкової міри проводилася метрологічна атестація різних генераторів псевдовипадкових чисел з рівномірним законом чисел. Реалізація даних генераторів була проведена у середовищі Matlab.

Метрологічна атестація проводилася за таким алгоритмом.

1. Проводять перетворення кожного з масивів вхідних даних, та фіксують результати спостережень  $Z[i, j]$ , де  $i$  - вибірка результатів, а  $j$  - елементи  $i$ -ї вибірки.

2. Проводять оцінювання систематичної складової похибки  $\bar{\Delta}_{\text{сист}}[i]$  для  $i$ -ї вибірки за формулою

$$\bar{\Delta}_{\text{сист}}[i] = (\bar{Z}[i] - Z[i]),$$

де  $\bar{Z}[i]$  – середнє арифметичне значення результатів спостережень в  $i$ -й вибірці;

$Z[i]$  – дійсне (істинне) значення результату спостережень в  $i$ -й вибірці.

Величину  $\bar{Z}[i]$  визначають за формулою

$$\bar{Z}[i] = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M Z[i, j].$$

3. Проводять оцінювання систематичної складової похибки за формулою

$$\bar{\Delta}_{\text{сист.гр.}} = \max \bar{\Delta}_{\text{сист}}[i].$$

4. Проводять оцінювання дисперсії  $\bar{D}(\overset{\circ}{\Delta})$  випадкової складової похибки в  $i$ -й вибірці за формулою

$$\bar{D}(\overset{\circ}{\Delta}[i]) = \frac{1}{M-1} \cdot \sum_{j=1}^M (Z[i, j] - \bar{Z}[i])^2.$$

5. Проводять оцінювання середнього квадратичного відхилення  $\bar{\sigma}(\overset{\circ}{\Delta})$  випадкової складової похибки за формулою

$$\bar{\sigma}(\overset{\circ}{\Delta}[i]) = \sqrt{\bar{D}(\overset{\circ}{\Delta}[i])}.$$

6 Проводять оцінювання середнього квадратичного відхилення випадкової складової похибки таким чином:

– обчислюють відношення  $G$  найбільшого значення дисперсії (у діапазоні) до суми всіх значень дисперсій за формулою

$$G = \left( \max \bar{D}(\overset{\circ}{\Delta}[i]) \right) / \sum_{i=1}^N \bar{D}(\overset{\circ}{\Delta}[i]),$$

– обчислене значення  $G$  порівнюють із критичним значенням  $G_{\text{кр}}$ . Якщо  $G \leq G_{\text{кр}}$ , то слід вважати, що дисперсія однорідна, інакше — неоднорідна;

– якщо дисперсія неоднорідна, то за оцінку середнього квадратичного відхилення випадкової складової похибки приймають найбільше значення, яке обчислюють за формулою

$$\bar{\sigma}(\overset{\circ}{\Delta}) = \max \bar{\sigma}(\overset{\circ}{\Delta}[i]),$$

– якщо дисперсія однорідна, то за оцінку середнього квадратичного відхилення випадкової складової похибки приймають середнє значення, яке обчислюють за формулою

$$\bar{\sigma}\left(\overset{\circ}{\Delta}\right) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{\sigma}\left(\overset{\circ}{\Delta}[i]\right).$$

8. Оцінюють границі інтервалу, в якому з довірчою імовірністю  $P$  знаходиться похибка таким чином:

– обчислюють для кожної вибірки границі довірчого інтервалу за формулами

$$\Delta_{\text{в}}[i] = \bar{\Delta}_{\text{сист}}[i] + t \cdot \bar{\sigma}\left(\overset{\circ}{\Delta}[i]\right), \quad \Delta_{\text{н}}[i] = \bar{\Delta}_{\text{сист}}[i] - t \cdot \bar{\sigma}\left(\overset{\circ}{\Delta}[i]\right),$$

де  $t$  – квантиль Стьюдента.

– границі інтервалу, в якому з довірчою імовірністю  $P$  знаходиться похибка, знаходять за формулами

$$\Delta_{\text{в}} = \max \bar{\Delta}_{\text{в}}[i],$$

$$\Delta_{\text{н}} = \min \bar{\Delta}_{\text{н}}[i].$$

Результати визначення характеристик похибки оформляють у вигляді протоколу.

**Висновки.** Наведено результати використання інформаційного забезпечення при створенні віртуальних ІВС. Відмічено актуальність та важливість використання віртуальних ІВС як основу для створення реальних ІВС. В якості математичної моделі такого процесу запропоновано використовувати лінійний випадковий процес з породжуючим стаціонарним білим шумом. Розглянуто алгоритм проведення метрологічної атестації для запропонованої зразкової міри при проведенні широкого кола комп'ютерних та вимірвальних експериментів з використанням шумових процесів.

1. *Красильников А.И.* Модели шумовых сигналов в системах диагностики теплоэнергетического оборудования. – К.: Институт технической теплофизики НАН Украины, 2014. – 112 с.
2. *Бабак В.П.* Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики: монографія / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Берегун та ін., за ред. чл.-кор. НАН Укра-їни В.П. Бабака. – К.: «Софія-А», 2015. – 512.
3. *Мартинюк Г.В.* Аналіз генераторів псевдовипадкових чисел за метрологічними характеристиками / Г.В. Мартинюк, Ю.Ю. Оникієнко, Л.М. Щербак // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2016. – Т. 1/9 (79) – С. 25-30.
4. *Марченко Б.Г.* Метод стохастических интегральных представлений и его приложение в радиотехнике / Б.Г. Марченко. – К.: Наукова думка, 1973. – 191 с.
5. *Марченко Б.Г.* Линейные случайные процессы и их приложения / Б.Г. Марченко, Л.Н. Щербак. – К.: Наукова думка, 1975. – 144 с
6. *Соколовська Г.В.* Моделювання завод в задачах передачі та обробки сигналів / Г.В. Соколовська, Л.М. Щербак // Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць ІПМЕ НАН України. Випуск 59. – К.: 2011. – С.76-82.

*Поступила 10.10.2016р.*