Intelligence. Edited by J. Minker. Kluwer Publishers, 2000.
3. *Calvanese D.* Conceptual Modeling for Data Integration. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www,inf.unibz.it/-calvanese/papers/calv-etal-book-mylopoulos-2009.pdf. – Загл. с экрана.
4. *Каменева И.П.* Вероятностные модели репрезентации знаний в интеллектуальных системах принятия решений // Искусственный интеллект. – 2005. – № 3. С.399-409.
5. *Веккер Л.М.* Психика и реальность: единая теория психических процессов. М.: Смысл, 1998. – 685 с.
6. *Sperry R.W.* Hemispheric Disconnection and Unity in Conscious Awareness // American Psychologist. 1968, V. 23. P.723 – 733.
7. *Режабек Е.Я.* Мифомышление. Когнитивный анализ. М.: Едиториал УРСС, 2003. – 304 с.
8. *Поспелов Д.А.* Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. М.: Радио и связь, 1989. – 184 с.
9. *Юнг К.Г.* Архетип и символ. М.: Ренессанс, 1991. – 304 с.
10. *Зинченко Т.П.* Память в экспериментальной и когнитивной психологии. СПб.: Питер, 2002. – 320 с.
11. *Рабинович З.Л.* Концептуальная модель естественных механизмов мышления и процессов решения проблем: познание и использование // Материалы VIII Международной конференции KDS–99. Донецк, 1999. – С.81-87.
12. *Прибрам К.* Языки мозга. М : «Прогресс», 1975. – 464 с.

Поступила 8.10.2018р.

УДК 681.518.3(075.8)

Л.М. Щербак, Київ,
А.В. Мартинюк, Київ
С.О. Барбасов, Київ
С.В. Сініченко, Київ

ОСНОВИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШУМОМЕТРІЇ

Abstract. The bases of creation of information support of soundmeters As models of noise signals, random processes with infinitely divisive distribution laws are used.

Вступ. Шумометрія, як невід’ємна складова метрології – науки про вимірювання і практичне їх застосування, є сучасним і перспективним напрямом вимірювання динаміки у просторі і часі характеристик і параметрів шумових сигналів у різних предметних областях [1 – 5]. Шумометрія на сьогодні знаходиться на стадії становлення і розвитку, тому наведена далі термінологія є не загально прийнятою і може мати дискусійну складову. Предметами досліджень шумометрії є, наприклад, вібраційні і віброакустичні сигнали, сигнали акустичної емісії, дробові, теплові, і флікер-шуми в електронних та радіоелектронних пристроях, аеродинамічні шуми турбін, компресорів і двигунів електромагнітні шуми електричних машин, шумові процеси в трубопроводах та інші. У загальному випадку шумові процеси і явища природного і техногенного походження мають частотний діапазон від 10^{-6} Гц до 10 ГГц [5].

В даній роботі розглянуті питання створення інформаційного забезпечення шумометрії, яке у подальшому може бути реалізоване апаратно-програмними засобами, системами і комплексами вимірювань.

Постановка завдання. Обґрунтувати основні положення створення інформаційного забезпечення шумометрії на базі використання сучасних методів теорії і практики вимірювань, математичної фізики, обчислювальної математики, теорії випадкових функцій і математичної статистики.

Основні результати. Вимірювання є чи не єдиним напрямом і джерелом отримання об'єктивної і кількісної інформації про навколишній матеріальний світ, в першу чергу про режими функціонування і стан технічних об'єктів і систем у різних галузях господарства країни. Особливо це актуально для України, де значна частина енергетичного, транспортного та іншого обладнання відпрацювала свій технічний ресурс. Для подальшої експлуатації такого обладнання необхідний постійний моніторинг його функціонування і вирішення проблем діагностування. Шумометрія є одним із напрямів вирішення цих проблем.

Спочатку наведемо означення шумового сигналу, як основного предмету досліджень шумометрії [4].

Шумовий сигнал – це інтегрована сума сформованих в просторі і часі значної кількості елементарних імпульсних та інших сигналів стохастичної фізичної природи під дією енергетичних впливів різних збурень, в тому числі електромагнітних, механічних, теплових, оптичних та ін.

Шумовий сигнал є матеріальним носієм інформації фізичних величин. У більшості випадків інтегральним носієм не одної із величин, а цілої їх сукупності. Останнє обумовлює значну складність опрацювання даних вимірювань шумових сигналів, але отримані результати вимірювання характеристик і параметрів таких сигналів мають вагому і різносторонню інформативність. Потенційний і інформаційний ресурс шумових сигналів є значним і на сьогодні не в повній мірі реалізований. Саме це і гарантує перспективність використання шумових сигналів.

Спочатку наведемо ряд загальних положень метрології, які в повній мірі використовуються для вирішення науково-технічних проблем шумометрії.

Метрологія як наука про вимірювання, стає більш структурованою, якщо для неї по аналогії з аксіомами Евкліда в геометрії, законами Ньютона в механіці та іншими, запропонована і сформована наступна система постулатів, в такій редакції.

Постулат 1. Динаміка змін властивостей, значень і характеристик фізичних величин емпіричних об'єктів відбувається і проявляється у просторі і часі.

Постулат 2. Кількісний результат вимірювання фізичної величини формується взаємодією об’єкта досліджень із засобом вимірювання, на основі використання порівняльних операцій з мірою одиниці фізичної величини і опрацюванням отриманих даних вимірювання.

Постулат 3. Теорію і практику кожного вимірювання об’єднує і відображає математична модель динаміки в просторі і часі фізичної величини як модель невизначеності і відповідні оператори засобів вимірювання її перетворення для оцінювання результатів і значень невизначеності вимірювання.

До основних науково-технічних проблем шумометрії відносять такі [1]:

- проблема відображення досліджуваних шумових процесів і явищ у фізичну і математичну модель невизначеності вимірювання їх характеристик і параметрів;
- проблема забезпечення єдності мір при вимірюваннях;
- проблема захисту вимірювальної інформації.

Для вирішення вказаних проблем шумометрії виникає необхідність виділення на множині різних моделей класу моделей невизначеності вимірювань фізичних величин, або їх сукупності [6]. Така модель вимірювання є: необхідною складовою постановки кожної задачі вимірювання; гіпотетичною функціональною залежністю при відсутності необхідних апріорних даних побудови функціональної залежності, що характерно на первинних етапах дослідження нових фізичних величин, явищ і сигналів; теоретичним інструментарієм побудови математичної моделі досліджуваних об’єктів по апостеріорним даним вимірювань з фіксованим (досягнутим) значенням невизначеності.

Наведемо загальне означення математичної моделі вимірювання шумових сигналів як математичної моделі невизначеності вимірювань характеритик і параметрів шумового сигналу у наступній редакції.

Математична модель вимірювань шумового процесу *– це сукупність знань, припущень, гіпотез, початкових і граничних умов, які з використанням математичних об’єктів, термінів і символів на основі апріорних даних досліджень шумових процесів відображають динаміку у просторі і часі значення, основні характеристики шумового процесу, кількісну інформацію, яких у виді результату і значення невизначеності необхідно оцінити опрацюванням апостеріорних даних вимірювання.*

Математична модель невизначеності шумових сигналів є первинною інформацією для вимірювань, необхідність проведення яких є визначеною і підтвердженою.

Реалізаціями моделей невизначеності вимірювань для кожного конкретного випадку є багатовимірні (одновимірні) детерміновані, випадкові функції або їх комбінації. Основним класом таких функцій є клас гільбертових функцій, для яких інтеграл на часовому інтервалі спостереження квадрат такої функції є скінченним числом. Аналіз гільбертових функцій можна проводити в рамках кореляційної (енергетичної) теорії, при цьому такі характеристики гільбертових функцій як енергія та потужність мають чітку фізичну інтерпретацію.

Залишається відкритим питання в якій мірі змінюється або яким чином формулюється первинна математична модель невизначеності вимірювання після проведення вимірювань. Існує два варіанта використання отриманих результатів вимірювань які умовно можна прокоментувати так:

• професійний, в якому кількісні результати і значення невизначеності вимірювань використовуються і конкретизують первинну модель у повній мірі;

• ідеалізований, в якому використовується тільки кількісний результат вимірювань, а значення невизначеності не враховується, тобто вважається рівним нулю.

Відповідну еволюцію моделей невизначеності вимірювання з урахуванням отриманих результатів процесу вимірювань можна проілюструвати наступною ілюстрацією у вигляді діаграми Венна-Ейлера (рис. 1).

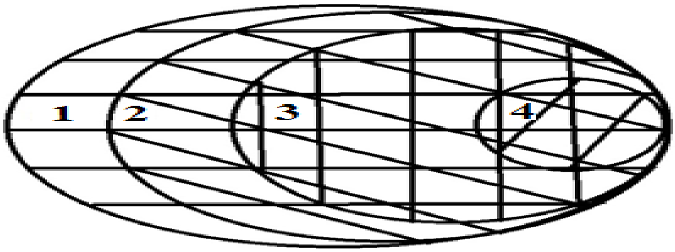

Рис. 1. Схематичне зображення еволюції моделі невизначеності вимірювань у вигляді діаграми Венна-Ейлера

На рис. 1 позначено: 1) загальна множина моделей; 2) клас первинних моделей невизначеності вимірювань; 3) модель досліджуваного об’єкта з використанням кількісних результатів і значень невизначеності вимірювань; 4) ідеалізована модель вимірювання.

Теоретичні основи шумових сигналів,моделями яких є випадкові процеси, а в загальному випадкові – випадкові функції, включаючи векторні випадкові процеси, випадкові поля і векторні випадкові поля, є найбільш дослідженими в теорії ймовірності. Для створення інформаційного забезпечення шумових сигналів основними результатами теоретичних досліджень випадкових функцій є наступні.

1. Фундаментальний результат теорії ймовірностей – центральна гранична теорема про закони розподілу суми незалежних випадкових величин $\lim\limits_{n\to\infty}\sum\limits_{i=1}^{n}\xi_i(\omega_i)$ з різними законами розподілу. Спочатку

гранична теорема була сформульована відомим вченим Якобі Бернуллі в кінці 17 століття Тільки у 30-х роках 20 століття цю теорему (у працях французького вченого Леві П., радянських математиків Колмогорова А.М. і Хінчена О.Я.) було доведено у виді характеристичної функції безмежно подільних законів розподілу [7 – 9]

$$f\left(u\right)=\exp\left(iua-\frac{\sigma^2}{2}u^2+\int_{-\infty}^{\infty}\left(e^{iux}-1-\frac{iux}{1+x^2}\right)\right)dL\left(x\right). \qquad (1)$$

У виразі (1) a і σ^2 – дійсні постійні числа, а *L(x)* – так звана спектральна функція Леві, неспадна в області $(-\infty;0)\cup(0;\infty)$. Функцію *L(x)* іменують також спектральною функцією пуассонівських стрибків першого роду. Частинними випадками безмежно подільних законів розподілу (1) є:

- розподіл Гаусса $f\left(u\right)=\exp\left(iua-\frac{\sigma^2}{2}u^2\right)$;
- розподіл Пуассона $f\left(u\right)=\exp\left[\lambda(e^{iu}-1)\right]$;
- розподіл Коші $f\left(u\right)=\exp\left(iua-\Theta\left|u\right|\right)$.

2. Стохастично неперервний випадковий процес з незалежними приростами $\left\{\eta\left(\omega,t\right),t\epsilon\left[0,\infty\right)\right\}$ описується наступною характеристичною функцією [7 – 9]

$$f(u,t)=\exp\left\{iua(t)-\frac{\sigma^2(t)}{2}u^2+\int_{-\infty}^{\infty}(e^{iux}-1-\frac{iux}{1+x^2})d_xL(x,t)\right\}, \qquad (2)$$

де *a(t)* – неперервна функція, $\sigma^2(t)$ – неспадна неперервна функція, *L(x,t)* – спектральна функція Леві двох змінних.

У загальному випадку стохастично неперервний процес з незалежними приростами (так званий адитивний випадковий процес по Леві) має дві наступні адитивні компоненти [7]

$$\eta(\omega,t)=\eta_{\Gamma}(\omega,t)+\eta_{\Pi}(\omega,t), \qquad (3)$$

де $\eta_{\Gamma}(\omega,t)$ – гауссова неперервна з імовірністю 1 компонента, а $\eta_{\Pi}(\omega,t)$ – стохастично неперервна пуассонівська компонента.

Частинними випадками випадкового процесу (3) є процес броунівського руху – вінеровський процес, узагальнена похідна якого є випадковим процесом білого шуму, як процес з гаусовими незалежними значеннями.

3. Наведені вище теоретичні результати були успішно використані при побудові моделей для вирішення теоретичних і прикладних задач статичної радіофізики, гідроакустики та інших науково-технічних напрямах дослідження шумових сигналів. Найбільш відомим є клас лінійних випадкових процесів, які описуються стохастичним інтервалом виду [10]

$$\xi(\omega,t)=\int_{-\infty}^{\infty}h(\tau,t)\zeta(\omega,\tau)dr \quad \omega \in \Omega,\ t \in T \tag{4}$$

де *h(τ,t)* – детермінована двовимірна функція, яка має фізичну інтерпретацію імпульсної перехідної функції лінійної системи у загальному випадку із змінними в часі параметрами,а $\zeta(\omega,\tau)$ – узагальнена похідна випадкового процесу з незалежними приростами $\eta(\omega,\tau)$, як випадковий процес з незалежними значеннями, тобто випадковий процес білого шуму.

Лінійний випадковий процес $\xi(\omega,t)$ при його фізичній інтерпретації є відгуком лінійної системи (фільтра) зі змінними в часі параметрами і відповідною імпульсною перехідною функції *h(τ,t)* при вхідній дії випадкового процеса білого шума $\zeta(\omega,\tau)$.

По суті клас лінійних випадкових процесів є узагальненням використання таких відомих методів як методи білого шуму, лінійного формуючого фільтру, породжуючого і оновлюючого процесів.

В роботі [10] отримані найбільш вагомі результати досліджень лінійних випадкових процесів виду (4), закони розподілу ймовірностей, яких є також безмежно неподільними. Результати досліджень використання лінійних випадкових процесів, як моделей шумових сигналів наведені у значній кількості наукових публікацій, в тому числі [1 – 4, 11].

На основі використання наведених теоретичних засад, а також використовуючи методи теорії і практики вимірювань, математичної фізики, обчислювальної математики створення інформаційного забезпечення шумометрії можна проілюструвати так (рис. 2)

Рис. 2. Схематичне зображення послідовного створення інформаційного забезпечення шумометрії.

Конкретні результати створення інформаційного забезпечення досліджень шумових сигналів наведені в науково-технічних публікаціях, включаючи [1 – 4, 10, 11].

Висновки

Шумометрія як науково-технічний напрям сучасної метрології, науки про вимірювання, є перспективним напрямом досліджень шумових сигналів у різних областях науки і техніки. Наведені постулати вимірювань шумометрії, які використовуються при створенні інформаційного забезпечення досліджень. Одна з основних предметів шумометрії – математична модель шумового сигналу описується випадковими функціями з безмежно подільними законами розподілу, частинними випадками є закони Гаусса, Пуассона, Коші та інші. Найбільш обґрунтованою моделлю шумового сигналу є лінійний випадковий процес з гаус совою і пуассонівською компонентами.

1. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем: Підручник / Бабак В.П., Бабак, С.В. Єременко В.С., Куц Ю.В., Щербак Л.М. – К.: Університет новітніх технологій, НАУ. – 2017. – 496 с.

2. Інформаційне забезпечення моніторингу об’єктів теплоенергетики: Монографія / С.В. Бабак, В.С. Берегун та ін. – К., 2015. – 512.

3. *Красильников А.И.* Модели шумовых сигналов в системах диагностики теплоэнергического оборудования. – К.:ИТТФ НАН Украины, 2014. – 112с.

4. Л.*М. Щербак* Шумометрія як напрям вимірювань характеристик стохастичних сигналів // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. праць ІПМЕ НАН України, 2017. – Вип. 78. С.101-107.

5. *М.И. Орлюк, А.А. Роменец, И.М. Орлюк* Низкочастотный техногенный магнитный шум в г. Киев // Доповіді НАН України – К.: № 3. 2011. – С.110-114.

6. Л. Бриллюэн Научная неопределенность и информация. Пер с англ. – М.: Либроком. 2010. – 272 с.

7. Леви П. Стохастические процессы с независимыми превращениями. – М.: Наука,1964. – 280 с.

8. *Лоэв М.* Теория вероятностей. пер с англ. – М.: Изд-во иностр. лит. 1962. – 720 с.

9. *Скороход А.В.* Случайные процессы с независимыми приращениями / М.: Наука, 1964. – 280 с.

10. *Марченко Б.Г.* Метод стохастических интегральных представлений и его приложение в радиотехнике. К.: Наук. Думка. 1973. – 192 с.

11. *Марченко Б.Г., Щербак Л.М.* Линейные случайные процессы и их приложения. – К.: Наук. думка. 1975. – 144 с.

Поступила 27.08.2018р.