УДК 681.518.3(075.8)

Л. М.Щербак, м. Київ

ШУМОМЕТРІЯ ЯК НАПРЯМ ВИМІРЮВАНЬ ХАРАКТЕРИСТИК СТОХАСТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Abstract. Presented fundametntal problems of theory and practice noise measurement as a modern directions researches a wide range of noise signals. Substantiated used as a constructive models noise signal linear random process.

Вступ. Шумометрія як сучасний напрям досліджень широкого кола шумових явищ і процесів різної фізичної природи методами і засобами вимірювань (метрології) на сьогодні перебуває в стані розвитку і становлення.

Початок розвитку прикладного і практичного застосування методів шумометрії умовно можна віднести до 20-30-х років 20 століття, в період стрімкого розвитку електротехніки, електроніки та радіотехніки. Але теоретичні засади шумометрії були закладені значно раніше, в працях відомого вченого теорії ймовірності Якоба Бернуллі в кінці 17 і на початку 18 століть. Пізніше в 30-х роках 20 століття вченими Колмогоровим, Леві і Хінчіним були доведені граничні теореми безмежно подільних законів розподілу суми незалежних випадкових величин.

Термінологія шумометрії не є загальноприйнятою і тому потребує певного означення і тлумачення. Наведемо деякі з них базуючись на напрями досліджень теорії сигналів і систем. В технічній літературі шумовий сигнал не має чіткого означення, але при опису фізичних процесів в електронних системах шумовий сигнал розглядається як сумарний ефект дії значної кількості елементарних джерел. Прикладом таких шумових сигналів є дробовий шум. Математичною ідеалізацією шумових сигналів є випадкові процеси «білого» або «окрашеного» шумів.

На сьогодні шумові сигнали, як основний інформаційний об’єкт шумометрії, охоплює широкий діапазон різних сигналів. Наведемо наступне означення шумового сигналу.

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

Сигналами шумової діагностики є сигнали різної фізичної природи в тому числі вібраційні, віброакустичні, сигнали акустичної емісії, дробові, теплові і фліккер-шуми в електронних і радіоелектронних пристроях, аеродинамічні шуми турбін, компресорів і двигунів, електромагнітні шуми електричних машин, шумові процеси в трубопроводах та інші [1,…,9].

Процес формування і розповсюдження шумових сигналів як у досліджуємих фізичних середовищах так і технічних об’єктах і системах відображаються динамікою в часі і в просторі відповідними характеристиками таких сигналів.

Постановка завдання. Визначити основні проблеми шумометрії. На основі фізичного механізма формування шумових сигналів обґрунтувати їх математичну модель і основні характеристики.

Основні результати. З теорії вимірювань відомо [1], що фундаментальні проблеми теорії і практики шумометрії є наступні.

1. *Проблема гомоморфного відображення у часі і в просторі* шумових явищ, процесів об’єктів дослідження як інформаційного ресурсу у відповідні сигнали для подальшого отримання результата вимірювань.

2. *Проблема забезпечення єдності мір* для отримання результатів вимірювань у різних місцях простору і в різний час з метою порівняльного аналізу їх для прийняття рішень про верифікацію і рівні еквівалентності досліджуємих явищ і процесів.

3. *Проблема захисту вимірювальної інформації* полягає у використанні відповідних засобів і заходів захисту інформації під час формування, опрацювання, реєстрації та поданні замовнику результатів вимірювання з метою мінімалізації впливу як природних завад, так і навмисних загроз та несанкціонованого доступа до них.

Слід виділити два принципово протилежні напрями постановок актуальних і важливих на сьогодні задач шумометрії, а саме:

- класичні задачі зменшення впливу шумових сигналів при передаванні, прийманні, виявленні, перетворенні та опрацюванні сигналів при дії завад в телекомунікаційних та інших інформаційних системах;

- шумові сигнали є предметом досліджень, інформаційний ресурс яких у значній мірі доповнює відомі, а в ряді випадків визначає основні характеристики динаміки в часі і в просторі стану і режимів функціонування досліджуємих об’єктів .

Можна також відмітити наступну характерну особливість шумометрії про те, що незважаючи на різні постановки задач двох указаних напрямів досліджень, отримані результати вимірювань в повній мірі сприяли, сприяють і будуть сприяти у майбутньому розвитку, як кожного із окремих напрямів, так і у шумометрії в цілому.

На основі аналізу результатів науково-технічних публікацій, використання сучасних інформаційних вимірювальних технологій при дослідженнях шумових сигналів у різних проблемних областях, в тому числі [2,5,7,8,9], можна привести узагальнену структуру реалізації задач шумометрії, яка наведена на рис. 1.

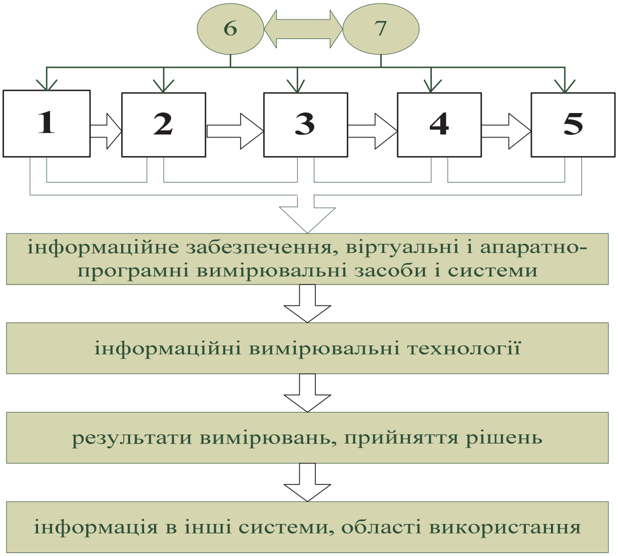

Рис. 1. Узагальнена структура реалізації задач шумометрії :
1 - досліджені явища, об'єкти і процеси, інформація для вимірювань; 2- фізичні і математичні моделі, характеристики в часі і в просторі шумових сигналів; 3 - фізичні методи, варіанти реалізації сенсорних засобів (первинних вимірювальних перетворювачів); 4- методи, варіанти реалізації засобів формування фізичних мір одиниць величин вимірювань, отримання даних вимірювань; 5- статистичні методи опрацювання даних вимірювань, обгрунтування ймовірносних мір (мір невизначеності) результатів вимірювань; 6- еквівалентне джерело завад; 7- методи і варіанти реалізації засобів захисту інформації для вимірювань

Одним із основних завдань при дослідженні шумових сигналів, яке по суті об'єднує вирішення наведених вище проблем шумометрії, є обґрунтування фізичної та відповідно математичної моделі сигналу. У більшості випадків така модель враховує основні властивості, характерні особливості, апріорні дані, фізичний механізм формування сигналу.

У більшості випадків обґрунтування математичної моделі шумового сигналу починається з такого виразу [2,3,7,8]

$$\xi_n(\omega,t) = \sum_{i=1}^{n} \zeta_i(\omega) h_i(\tau_i,t), \ \omega \in \Omega, t \in T, \qquad (1)$$

який відображає наступний фізичний механізм формування досліджуваного сигналу.

Будь який фізичний процес відбувається у часі і в просторі. Тому, якщо представити вираз (1) у виді

$$\xi_n(\omega;\boldsymbol{r}_j;t)=\sum_{i=1}^{n}\zeta_i(\omega;\boldsymbol{r}_i;\tau_i)h_i(\boldsymbol{r}_j,\boldsymbol{r}_i;\tau_i,t),\boldsymbol{r}_i,\boldsymbol{r}_j\in G\ , \qquad (2)$$

то такий вираз більш точно описує фізичний механізм прийому шумового сигналу в просторовій точці, у загальному випадку $\boldsymbol{r}_j=(x_j,y_j,z_j)\in G\subseteq R^3$, в момент спостереження часу $t\in T$.

Складова $\zeta_i(\omega;r_i;\tau_i)$ описує випадкову інтенсивність елементарного імпульсу збурення, який сформований дією енергетичного впливу в момент часу τ_i в просторовій точці $r_i=G$ у виді випадкової величини $\xi_i(\omega;\boldsymbol{r}_i;\tau_i)\in R$. Невипадкова функція $h_i(r_j;\boldsymbol{r}_i;\tau_i,t)$ - описує функціональну залежність розповсюдження в досліджуваному середовищі елементарного імпульсу, який сформований в момент τ_i в точці простору r_i, в просторову точку $\boldsymbol{r}_j\in G$ в момент спостереження $t\in T$.

Слід відмітити фізичні розмірності складових компоненти для наступних двох випадків :

а) при умові, що вхідна величина первинного вимірювального перетворювача (сенсора, давача) і вихідна мають одну розмірність, наприклад, В або А, то $\zeta_i(\bullet)$ має розмірність цієї величини, а $h_i(\bullet)$ - безрозмірна функція;

б) якщо вказані величини перетворення мають різні розмірності, наприклад, вхідна – Па, вихідна B, то $\zeta_i(\bullet)$ – має розмірність вхідної величини - Πa, а $h_i(\bullet)$ - розмірність $B/\Pi a$.

Аналіз таких складових у виразі (2), як $\xi_n(\omega;\boldsymbol{r}_j;t)=\in R,\omega\in\Omega;\boldsymbol{r}_j\in G;t\in T$ при фіксованих просторових координатах у загальному вигляді майже не проводиться, використовуються різні додаткові обмеження, певної міри ідеалізації, тому вираз (1), як правило використовується для подальшого узагальнення. При цьому у більшості випадків при доведенні граничних теорем приймається умова, що число елементарних імпульсів зростає і прямує $n\to\infty$.

До конструктивних моделей при фіксованих просторових координатах точок збурення і прийому шумового сигналу відносять модель лінійного випадкового процесу у виді [7].

$$\xi(\omega,t)=\int_0^{\infty}h(\tau,t)\zeta(\omega,\tau)d\tau,\omega\in\Omega,t\in T\ , \qquad (3)$$

де $\zeta(\omega,\tau)$ - стаціонарний процес білого шума, а $h(\tau,t)$ - імпульсна перехідна функція лінійного формуючого фільтра.

Лінійний випадковий процес виду (3) широко використовується у задачах теорії і практики шумометрії [2,5,7,8]. В задачах теорії модель (3) базується на теорії випадкових процесів з незалежними приростами, які найбільш дослідженні в класі випадкових процесів і мають широке практичне застосування у різних предметних областях, включаючи статистичну радіофізику, радіоелектроніку, гідроакустику, та ін. Закони розподілу таких процесів є безмежно подільними, що нерозривно пов'язані з безмежно подільними законами сум незалежних випадкових величин. Похідна однорідного процесу з незалежними приростами є стаціонарний процес білого шуму, як випадкового процесу з незалежними значеннями. Практичне використання у задачах шумометрії стаціонарного процесу білого шуму з гауссовим законом розподілу добре відоме [1,3,6,…,9].

Слід відмітити, що процеси білого шуму з іншими законами розподілу менш дослідженні. Це по суті інформаційний ресурс шумометрії, який має нерозкриті потенційні можливості дослідження негаусових сигналів. Теоретичним базисом таких досліджень є випадкові процеси і поля з незалежними приростами і безмежно подільними законами розподілу. Ефективність таких досліджень підтверджено отриманими результатами кумулянтного аналізу негаусових шумових сигналів [2,5].

Важливим для практичного використання в задачах комп'ютерного моделювання реалізацій випадкових процесів є застосування в якості алгоритма моделювання – виразу (3), як основи так званих методів формуючого лінійного фільтра, породжую чого (білого) процеса, та ін. [2,5,7,8].

Для лінійних випадкових процесів отримана багатовимірна характеристична функція, що дає змогу провести аналіз таких процесів як у рамках кореляційної теорії, так і з визначенням вищих моментних функцій.

Модель (3) може бути використана для узагальнення на багатовимірний випадок, а саме лінійний векторний випадковий процес, характеристики яких можуть бути виміряні з використанням просторово розвинених сенсорних антенних граток інформаційно-вимірювальних систем (ІВС). Лінійний векторний випадковий процес має загальний вид

$$\Xi_n(\omega,t) = (\xi_1(\omega,t),.....,\xi_n(\omega,t)),\ \omega \in \Omega, t \in T, \tag{4}$$

де кожна компонента $\{\xi_1(\omega,t), i = \overline{i,n}\}$, описується виразом (3), тобто

$$\xi_i(\omega,t) = \int_0^\infty h_1(\tau,t)\zeta(\omega,\tau)\,d\tau. \tag{5}$$

Модель (4) описує векторний випадковий процес, який поступає на вхід багатоканальної ІВС. На вхід кожного окремого каналу такої ІВС поступає лінійний випадковий процес, отриманий лінійною фільтрацією формуючого фільтра з імпульсною перехідною функцією $h_i(\tau,t), i = \overline{i,n}$.

Таким чином формування шумового сигналу виду (4) можна проілюструвати наступною структурною схемою, яка представлена на рис. 2.

Логарифм характеристичної функції лінійного векторного випадкового процесу $\Xi_n(\omega,t)$ виду (4) описується виразом (6), де числові величини $\mu,\sigma>0$ і $L(x)$– пуассонівська спектральна функція у формі Леві, визначають безмежно подільний закон розподілу однорідного випадкового процесу з незалежними приростами $\eta(\omega,t),t>0$, а стаціонарний процес $\zeta(\omega,t)$ є відповідною похідною процесу $\eta(\omega,t)$, як процес з незалежними значеннями. Для неперервного процесу $\eta(\omega,t)$ похідна $\zeta(\omega,t)$ є узагальненою похідною як математична (нереалізована) ідеалізація. На практиці реалізуються білі шуми з дискретним часом.

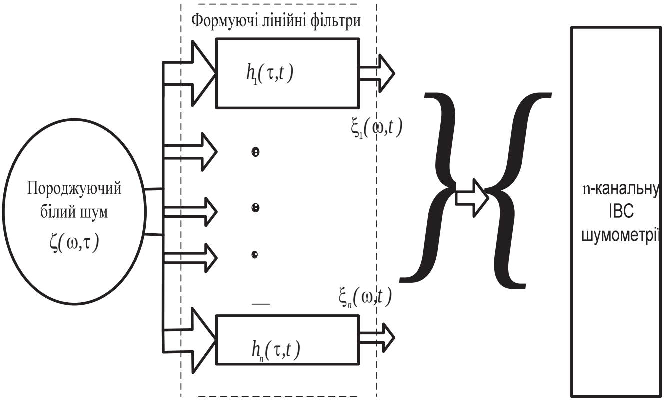

Рис. 2. Структурна схема формування вхідного n-канального лінійного векторного випадкового процесу

$$ln(u_1,...,u_u;t)=i\mu\sum_{k=1}^{n}\int_{0}^{\infty}h_k(\tau,t)dt-\frac{\sigma^2}{2}+\sum_{k=1}^{n}\sum_{m=1}^{n}u_k u_m\int_{0}^{\infty}\int_{0}^{\infty}h_k(\tau,t)h_m(\tau,t)dt+$$

$$+\int_{|x|>0}^{\infty}\int_{0}^{\infty}[exp(ix\sum_{k=1}^{n}u_k h_k(\tau,t)-1-\frac{ix}{1+x^2}\sum_{k=1}^{n}u_k h_k(\tau,t)]\,dL(x)d\tau.$$

Узагальнення моделі (3) наприклад, з використанням виразу (2) при обґрунтуванні лінійного випадкового поля із змінними просторовими координатами може бути використане в перспективних задачах шумометрії при реалізації інформаційних вимірювальних технологій 1D, 2D і 3D для статистичного оцінювання просторово-часових і спектральних характеристик шумових сигналів (полів) [1].

Висновки. Наведені фундаментальні проблеми теорії і практики шумометрії, як сучасного напряму досліджень шумових сигналів різної фізичної природи. Обґрунтування математичної моделі шумового сигналу у вигляді лінійного випадкового процесу (вектора, поля) дає можливість об'єднати вирішення сформульованих проблем шумоетрії

1. *Бабак В.П., Бабак С.В., Єременко В.С., та ін.* Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем: Підручник / За ред. чл.-кор. НАН України Бабака В.П. / 2-е вид., перероб. І доп. – К.: Ун-т новітніх технологій; НАУ, 2017. – 496с.
2. *Бабак В.П., Бабак С.В., Берегун В.С. та ін.* Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики: Монографія / За ред.. чл..-кор. НАН України Бабака В.П./ – К., 2015. – 512с.
3. *Бендат Дж.* Теории случайных шумов и их применееия. Пер. с анг. – М., Наука, 1965. – 404с.
4. *Ван-дер-Зил А.* Флуктуации в радиотехнике и физике. Пер. с анг. – М., Энергонздат 1958. – 263с.
5. *Красильников А.И.* Модели шумовых сигналов в системах диагностики теполэнергетического оборудования – К. Ин-тут ТТФ НАНУ, 2014. – 112с.
6. *Леви П.* Стохатические процессы и брауновское движения. Пер. с анг. –М., Наука 1972. – 376с.
7. *Марченко Б.Г.* Метод стохастических интегральных представлений и его приложения в радиотехнике. – К., Наук. думка, 1973. – 192с.
8. *Марченко Б.Г., Щербак Л.Н.* Линейные случайные процессы и их приложения. – К., Наук. думка, 1975. – 144с.
9. *Райс С.С.* Теория шумов. – в кн. «Теория электрических сигналов (под ред. Н.А. Железнова) Пер с анг. – М., ИЛ, 1953. – 288с.

Поступила 27.04.2017р.

УДК 621.396

Г.В. Пилипенко, аспірант, ОНАЗ ім. О.С. Попова

СИНТЕЗ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ БУФЕРА МАРШРУТИЗАТОРА

Для реалізації лінгвістичних правил на ЕОМ дуже важливою є задача вибору виду та параметрів функцій належності за допомогою яких формалізуються нечіткі множини. У режимі слідкування за навантаженням, що змінюється повільно необхідно забезпечити максимальну точність функціонування блока обчислення нечіткої метрики.

Кількість термів нечіткої системи маршрутизації, за допомогою яких здійснюється оцінка лінгвістичних змінних (вхідні та вихідні параметри нечіткої системи, завантаження буфера Y, швидкість зміни (перша похідна) завантаження буфера $\dot{Y}$, прискорення (друга похідна) завантаженості буфера $\ddot{Y}$, рішення m, доцільно прийняти рівною 2.