

випадкових відхилень, що накладаються на детермінований усереднений процес, дає можливість оцінити кількісно максимально можливі амплітуди коливань, обумовлені випадковим, обмеженим зверху, розкидом гідродинамічних коефіцієнтів сил опору.

**Висновки.** За усталеного руху пульпи розв'язання диференційного рівняння із змінними коефіцієнтами визначає форми (моди) і частоти головних коливань підйомного трубопровода. Зміна знака дійсної частини комплексного кореня фундаментальної матриці розв'язку з від'ємного на додатний відповідає критичній швидкості течії газорідинної суміші в ерліфті.

Подальші дослідження планується зосередити на визначенні розподілу складного напружено-деформованого динамічного стану ерліфтного ставу за різних значень гідродинамічних коефіцієнтів сил опору.

1. Феодосьев В.И. *Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов.* – М.: Наука, 1973. – 400 с. 2. Меркин Д.Р. *Введение в механику гибкой нити.* – М.: Наука, 1980. – 240 с. 3. Spanos P-T.D., Chen T.W. *Vibration of marine riser systems // Trans. ASME. J. Energy Resour. – Technol, 1980. – № 4. – С. 203–213.*

УДК 681.325

С.І. МЕЛЬНИЧУК, М.І. КОЗЛЕНКО

Івано-Франківський інститут менеджменту та економіки  
“Галицька академія”

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШУМІВ КАНАЛУ ПРИ ПЕРЕДАВАННІ ДАНИХ СПОСОБОМ ЗМІНИ ЕНТРОПІЇ РОЗПОДІЛУ ЙМОВІРНОСТЕЙ СТАНІВ

© Мельничук С.І., Козленко М.І., 2006

*Проаналізовано вплив шуму каналу на інформаційні сигнали  
в системах передачі інформації, що реалізуються на основі використання  
широко смугових сигналів зі змінною ентропією розподілу ймовірностей станів.*

*Influence of noise of channel is analysed on informative signals in the systems of information transfer,  
that will be realized on the basis of the use of spread spectrum signals with variable entropy of  
probability distribution of being*

Для реалізації розподілених автоматизованих систем контролю та керування важливим компонентом, який впливає на надійність, завадозахищеність та ефективність їхнього функціонування, є канали обміну даними. На виробництві автоматизовані системи керування традиційно ґрунтуються на використанні провідникових інформаційних каналів, для збільшення ефективності яких застосовують різноманітні методи ущільнення та розділення потоків даних. Системи автоматизованого контролю характеризуються розподіленістю джерел інформації, що зумовлює використання, крім традиційних, оптичних каналів, радіоканалів тощо.

Одним з перспективних способів реалізації інформаційних каналів для автоматизованих систем є застосування широко смугових випадкових сигналів, зокрема методу, який ґрунтується на використанні сигналів зі змінною ентропією розподілу ймовірностей станів [1, 2].

Ентропія розподілу ймовірностей станів сигналу-носія, який формується на основі випадкового процесу, відповідає сигналу інформаційного повідомлення.

Виділення корисної інформації під час оброблення, тобто прийняття рішення про наявність чи відсутність корисного сигналу в каналі обміну даними у разі найпростішої маніпуляції або вимірювання параметра корисного сигналу за умов шуму або багатопозиційної модуляції базується на динамічному оцінюванні ентропії розподілу ймовірностей станів отриманого сигналу.

Ентропію розподілу ймовірностей станів дискретного сигналу загалом визначають за таким виразом [3]:

$$H_{x(t)} = -\sum_{j=1}^m p(X_j) \cdot \log_2(p(X_j)), \quad (1)$$

де  $H_{x(t)}$  – ентропія випадкового сигналу  $x(t)$ ;  $j$  – порядковий номер стану;  $X_j$  – значення стану з порядковим номером  $j$ ;  $p(X_j)$  – ймовірність появи стану  $X_j$ ;  $m$  – загальна кількість дискретних станів сигналу.

Вважають, що  $0 \cdot \log_2(0) = 0$ .

У процесі оброблення значення ентропії визначають шляхом статистичного оцінювання, на підставі апостеріорних даних.

Сигнал  $x(t)$  в точці приймання є адитивною сумою корисного сигналу  $s(t)$  та шуму  $n(t)$ :

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

Ентропію  $x(t)$ , яка фактично є випадковим процесом, аналізують статистично за кінцевим проміжком часу вибірових значень з прийнятого сигналу, що утворюють класичну статистичну вибірку [3]. Кількість елементів  $n$  у вибірці підбирають так, щоб час вибірки був меншим від часу символного інтервалу, крім того, кількість елементів вибірки має бути достатньою для адекватного оцінювання з прийнятною похибкою.

Фактично, кожна вибірка є однією  $k$ -ю реалізацією  $^k x(t)$  (сумою реалізацій  $^k s(t)$  та  $^k n(t)$ ) дискретного випадкового процесу  $x(t)$ , значення якого набуватимуть  $m$  станів  $X_j$ ,  $j=1, 2, \dots, m$ . Значення  $^k x(t_i)$  сигналу  $^k x(t)$  для вибірки беруть в моменти часу  $t, i=1, 2, \dots, n$ .

Для оцінювання деякої теоретичної ймовірнісної характеристики випадкової величини (процесу) [4] допустимо замінити входження до алгоритму розрахунку цієї характеристики теоретичних параметрів випадкової величини (процесу) на відповідні статистичні оцінки (метод підстановки).

Для оцінювання ймовірності появи стану сигналу  $X_j$  використано відносну частоту як прийнятну статистичну оцінку ймовірності, що визначають з такого виразу [3]:

$$h(X_j) = \frac{n_j}{n}, \text{ для кожного } j=1, 2, \dots, m, \quad (3)$$

де  $n_j$  – кількість елементів у вибірці, що набули стану  $X_j$ .

Відповідно, замінивши в формулі (1) теоретичну ймовірність її оцінкою, можна отримати вираз для статистичної оцінки ентропії окремої  $k$ -ї вибірки за кінцевим проміжком часу:

$$\hat{H}_{k_{x(t)}} = -\sum_{j=1}^m h(X_j) \cdot \log_2(h(X_j)), \quad (4)$$

Отже, кінцевий сигнал  $H_{x(t)}(t)$  формують як часову залежність ентропії на основі динамічного оцінювання окремих вибірок.

Із використанням згаданого способу передавання даних одним з ефективних типів сигналів є такі широкопasmові шумоподібні сигнали, стани яких мають розподіл ймовірностей близький до нормального. Сигнали такого типу є одними з найкращих з погляду енергетичної ефективності, оскільки за певної дисперсії (потужності змінної складової) мають максимальну ентропію, тобто потенційну можливість передати найбільшу кількість інформації.

Тобто, для згаданих сигналів та адитивного білого шуму, які є нормально розподіленими випадковими процесами, ентропію можна розраховувати за співвідношенням [3]:

$$H_{x(t)} = \log_2 \sqrt{2\pi e \sigma^2}, \quad (5)$$

де  $\sigma^2$  – дисперсія випадкового процесу.

Вираз (5) описує диференційну ентропію неперервного нормального розподілу. Для нормальних розподілів ентропія дискретного сигналу прямує до диференційної ентропії неперервного із збільшенням числа дискретних станів і зменшенням інтервалу квантування.

Відповідно, статистичну оцінку ентропії  $k$ -ї реалізації у цьому випадку за кінцевим проміжком часу доцільно визначати так:

$$\hat{H}_{k, x(t)} = \log_2 \sqrt{2\pi e S^2}, \quad (6)$$

де  $S^2$  – статистична незміщена прийнятна оцінка дисперсії, отримана аналізом відповідної реалізації випадкового процесу за кінцевим проміжком часу, яку також можна отримати зі значень вибірки так [3]:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x(t_i) - \bar{x})^2, \quad (7)$$

де  $\bar{x}$  – вибіркове середнє за кінцевим проміжком часу, яке, своєю чергою, визначають [3]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x(t_i) \quad (8)$$

За цим способом сигнал-носії  $s(t)$  на боці передавання формують так, щоб його ентропія залежно від часу  $H_{s(t)}(t)$  відображала інформаційне повідомлення. За відсутності шуму в каналі ентропію в точці приймання описують аналітичним виразом:

$$H_{x(t)}(t) = H_{s(t)}(t) = \log_2 \sqrt{2\pi e \sigma_{s(t)}^2(t)}, \quad (9)$$

де  $\sigma_{s(t)}^2(t)$  – дисперсія корисного сигналу-носія.

Згідно з визначенням стаціонарності процесу [5] досліджувані процеси мають нестационарний характер, що підтверджує залежність їхньої дисперсії від часу.

За наявності в каналі тільки білого нормального шуму  $n(t)$  та відсутності корисного сигналу-носія ентропію в точці приймання аналітично можна описати так:

$$H_{x(t)}(t) = H_{n(t)}(t) = \log_2 \sqrt{2\pi e \sigma_{n(t)}^2(t)}, \quad (10)$$

де  $\sigma_{n(t)}^2(t)$  – дисперсія шуму.

Для ідеального випадку необхідно вважати, що шум є стаціонарним процесом. Тобто його дисперсія, ентропія та інші характеристики інваріантні відносно часу.

За наявності в каналі як шуму  $n(t)$ , так і сигналу  $s(t)$ , за умови їхньої некорельованості дисперсію сумарного сигналу в точці приймання визначають за виразом [5]:

$$\sigma_{x(t)}^2(t) = \sigma_{s(t)}^2(t) + \sigma_{n(t)}^2, \quad (11)$$

де  $\sigma_{x(t)}^2(t)$  – дисперсія суми сигналу та шуму;  $\sigma_{n(t)}^2$  – дисперсія шуму (постійна величина, незалежна від часу)

Відповідно, ентропія сигналу та шуму в точці приймання:

$$H_{x(t)}(t) = \log_2 \sqrt{2\pi e (\sigma_{s(t)}^2(t) + \sigma_{n(t)}^2)} \quad (12)$$

Сигнал інформаційного повідомлення після демодулятора визначають як різницю між ентропією сумарного сигналу  $x(t)$  та ентропією шуму  $n(t)$ :

$$I_r(t) = H_{x(t)}(t) - H_{n(t)} = \frac{1}{2} \log_2 \left( 1 + \frac{\sigma_{s(t)}^2(t)}{\sigma_{n(t)}^2} \right). \quad (13)$$

Фактично  $I_r(t)$  – однополярна змінна складова сигналу інформаційного повідомлення після демодулятора, яка набуває значення від 0, що відповідає нульовій ентропії сигналу-носія, до  $I_{rmax}$ , що відповідає максимальній ентропії сигналу-носія в каналі. Постійну складову (10), що є ентропією шуму каналу, сумісної ентропії (12) відкидають як таку, що не містить корисної інформації.

З погляду впливу потужності шумів на параметри корисного сигналу на виході демодулятора, з (9), (10), (12) та (13) можна зробити такі висновки:

1. За наявності в каналі шумів кінцевий сигнал на виході демодулятора  $H_{x(t)}(t)$  не містить випадкової складової у вигляді білого шуму. Такий сигнал складається з корисної складової, що відображає повідомлення  $I_r(t)$  та постійної складової, яка дорівнює ентропії шумів каналу. Треба зауважити, що шумів на виході демодулятора немає тільки в ідеальному випадку. В реальних умовах постійна складова  $H_{n(t)}(t)$  (10) міститиме випадкову флуктуацію, обумовлену нестационарністю шумів каналу [6] та похибкою статистичного оцінювання.

2. Збільшення потужності шумів у каналі приводить до зменшення амплітуди і, як наслідок, зниження потужності сигналу інформаційного повідомлення  $I_r(t)$ .

3. Амплітуда сигналу інформаційного повідомлення  $I_r(t)$  залежить від співвідношення сигнал-шум на вході приймального пристрою (13).

4. Під час передавання повідомлення як неперервної функції часу шум призводить до нелінійних спотворень сигналу на виході демодулятора, величина яких залежить від потужності шуму.

Отже, реалізація розподілених автоматизованих систем контролю та керування на основі інформаційних каналів з використанням випадкових сигналів із змінною ентропією розподілу ймовірностей станів істотно знижує вплив завад, які за цим методом характеризуються нестационарністю шумів каналу, а також дає змогу ефективніше використовувати задіяну спектральну смугу за рахунок використання шумоподібних сигналів.

*1. Заявка на пат. а200508893. Спосіб передавання та приймання інформації на основі широкосмугових сигналів, що формуються процесами зі змінною ентропією розподілу ймовірностей станів / С.І. Мельничук, М.І. Козленко. 2. Козленко М.І., Мельничук С.І. Формування та обробка широкосмугових сигналів на основі випадкових процесів зі змінною ентропією розподілу ймовірностей станів // Наукові вісті інституту менеджменту та економіки "Галицька академія". – Івано-Франківськ, 2006. – № 1(9). 3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1977. – 832 с. 4. Дронов С.В. Многомерный статистический анализ.: Учеб. пособие. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2003. – 213 с. 5. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М.: Сов. радио, 1966. – 680 с. 6. Мельничук С.І., Козленко М.І. Дослідження статистичних характеристик випадкових сигналів провідникових та радіоканалів обміну даними розподілених систем контролю // Вісн. Хмельницького нац. ун-ту. – 2005. – № 4, ч. 1, т. 2. – 270 с.*