**УДК 621.3.089**

***О. В. ПОЛЯРУС,*** д-р техн. наук, проф., зав. кафедри ХНАДУ,
***Є. О. ПОЛЯКОВ,*** аспірант ХНАДУ, Харків

# МЕТОД ВІДНОВЛЕННЯ СИГНАЛУ НА ВХОДІ ДАТЧИКА

В статті представлений новий метод підвищення достовірності даних вимірювань. Розглядається проблема відновлення сигналу на вході датчика з одночасною ідентифікацією датчика. Проведено математичне моделювання з використанням генетичного алгоритму, який мінімізує розроблений функціонал.

В статье представлен новый метод повышения достоверности данных измерений. Рассматривается проблема возобновления сигнала на входе датчика с одновременной идентификацией датчика. Проведено математическое моделирование с использованием генетического алгоритма, который минимизирует разработанный функционал.

This article presents a new method for improving the reliability of data measurements. In the paper the problem of the unknown input signal evaluation and the estimation of sensor characteristics is solved by using a genetic algorithm.

**Постановка задачі.** Для побудови якісної інформаційно-вимірювальної системи необхідною вимогою є отримання достовірної інформації з об’єкта, характеристики якого вимірюються. Для первинного перетворення вимірювальної інформації, як правило, використовують датчики різного типу. Багато датчиків є інерційними, що призводить до спотворення сигналів на їх виході. Наприклад, нестаціонарний сигнал на вході датчика може перетворюватись на стаціонарний на його виході і навпаки. Отже, створюються умови для прийняття невірного рішення на підставі результатів випробувань і з'являються сумніви щодо точності отриманої інформації. Таким чином, виникає завдання оцінки реального сигналу, що надходить на вхід вимірювального каналу, ми повинні мати уявлення про характеристики датчика.

**Аналіз літератури.** Подібна проблема відноситься до обернених задач [1-3]. В публікації [4] розглянуто різні способи опису сигналів і характеристики оптимальних систем їх обробки. Способи застосування генетичних алгоритмів для розв’язання інженерних задач – в [5]. В публікації [6] викладено питання теорії випадкових функцій.

**Мета роботи** – розробка методу відновлення сигналу на вході датчика за допомогою генетичного алгоритму. **Задача**: побудова моделі системи відновлення сигналу на вході датчика на основі генетичного алгоритму.

**Рішення задачі.** Спочатку будемо вважати, що сигнал на виході первинного перетворювача точно відомий, а імпульсна або передатна характеристика датчика невідома. При такій постановці, оцінити вхідний сигнал неможливо. Таким чином, виникає необхідність використання апріорної інформації про деякі характеристики датчика. Зокрема, ми вважаємо, що форма імпульсного відгуку може бути записана як функція загального вигляду, наприклад,

$$h(t) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left( \frac{m}{l} \right)^m t^{2m-1} \exp\left( -\frac{mt^2}{l} \right), \ t > 0, \ l > 0, \ m \geq 0.5, \qquad (1)$$

де $m, l$ - невідомі параметри, які характеризують форму імпульсного відгуку.

Випадковий вхідний сигнал може бути розкладений в ряд Карунена - Лоева [4]. Реалізація вхідного сигналу в n-мірному представленні:

$$x(t) = \sum_{i=1}^{n} a_i \psi_i(t). \qquad (2)$$

У виразі (2) випадкові коефіцієнти $a_i$ цього ряду невідомі, а функції $\psi_i(t)$ є ортонормованими базисними і вибираються дослідником. Реалізація вихідного сигналу лінійного перетворювача визначається рівнянням згортки

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) x(t - \tau) d\tau + n(t), \qquad (3)$$

де $h(t)$ - імпульсна характеристика датчика, і $n(t)$ - адитивний випадковий процес (шум), який ми приймаємо як білий гаусівський шум.

Беручи до уваги (1) і (2), вираз (3) можна записати наступним чином

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \sum_{i=1}^{n} a_i \psi_i(t - \tau) d\tau + n(t). \qquad (4)$$

У виразі (4) нам відомий вихідний сигнал $y(t)$ і функції $\psi_i(t)$. Цей вираз включає n+2 невідомих параметрів, серед них коефіцієнти $a_i$ є випадковими. Скорочення їх числа можливо у випадку, коли форма вхідного сигналу $x(t)$ проста.

У математичній постановці задачу оцінки невідомих коефіцієнтів $a_i$ зведемо до проблеми мінімізації функціонала

$$J(a_1, ..., a_n, ...) = \int_{-\infty}^{\infty} [y(t) - \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \sum_{i=1}^{n} a_i \psi_i(t - \tau) d\tau - n(t)]^2 dt \qquad (5)$$

для кожної реалізації вхідного сигналу і шуму. Реалізація сигналу і шуму моделюється на комп'ютері. Вираз (5) містить різницю між відомим вихідним сигналом і його апроксимацією представленою сумою.

Функціонал (5) містить $n+2$ невідомих параметрів: n коефіцієнтів ряду (2) і коефіцієнти (m,l) функції (1). Отже, треба мінімізувати функцію багатьох параметрів. Досвід показує, що такі задачі найкраще розв'язуються за допомогою глобальних методів випадкового пошуку, наприклад, генетичних алгоритмів [5] у випадках, коли відсутні вимоги щодо отримання результатів в реальному масштабі часу. За допомогою цього алгоритму нами були отримані всі необхідні коефіцієнти, тобто фактично розв'язана задача ідентифікації датчика (оцінка імпульсної характеристики датчика), а також завдання "сліпої" обробки сигналів, тобто оцінки сигналу на вході перетворювача. Визначимо достовірність запропонованого методу. З цією метою будемо використовувати математичну модель датчика (1) і приклад реалізації вхідного сигналу (рис.1), який можна розглядати як стандартний для цього завдання.

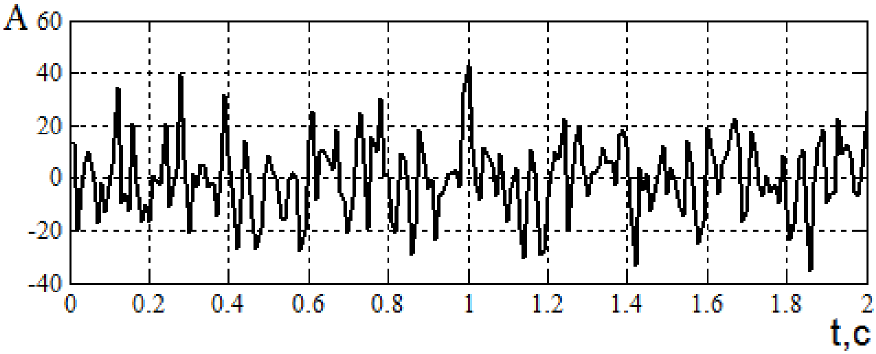


Рис. 1. Приклад вхідного сигналу

Як ортонормовані функції, ми вибираємо тригонометричні за аналогією з узагальненим рядом Фур'є. В заданій моделі вхідного сигналу вони є відомими. Сигнал $y(t)$ обчислюється за допомогою рівняння згортки.

Інтегральною характеристикою достовірності отриманих результатів будемо вважати кут між модельним і перерахованим сигналом $x_r(t)$ [6].

$$\varphi = \arccos \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x(t) x_r(t) dt}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt} \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} x_r^{\,2}(t) dt}}. \qquad (6)$$

Після знаходження глобального мінімуму (5) визначаємо коефіцієнти ряду Карунена-Лоева і параметри імпульсної характеристики (1), а потім реалізацію вхідного сигналу. Отже, можна визначити кут між заданим і перерахованим сигналами.

Точність розрахунку сигналу генетичним алгоритмом залежить від багатьох факторів, наприклад, кількості коефіцієнтів, відношення сигнал-шум і параметрів генетичного алгоритму.

На рисунку 2 приведена залежність кута від співвідношення сигнал-шум при різній кількості коефіцієнтів ряду. Кут між реальним вхідним сигналом і розрахованим характеризує точність відновлення сигналу на вході датчика. Якщо цей кут дорівнює 0°, то точність є абсолютною, якщо 90° – то модельний та перерахований сигнали є ортогональними. Для оцінки точності відновлення сигналу розраховувався також коефіцієнт кореляції між зазначеними сигналами.

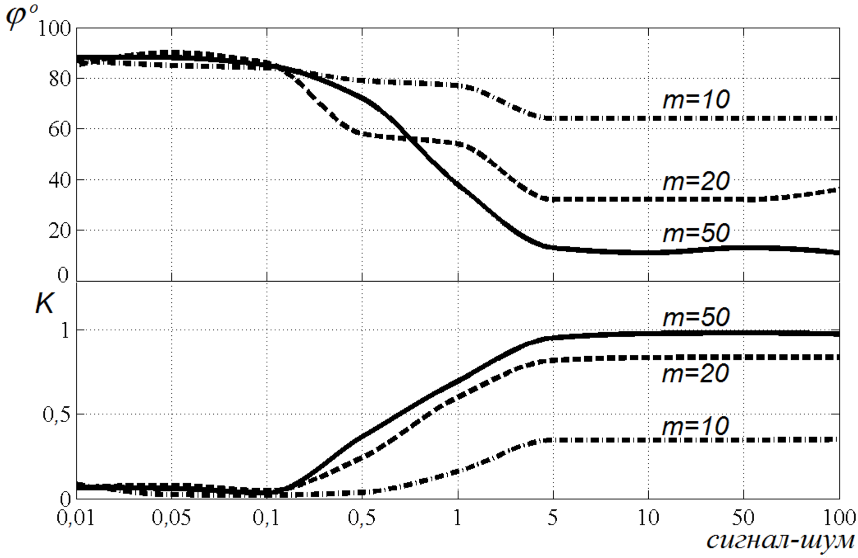


Рис. 2. Залежність кута $\varphi$ і коефіцієнта кореляції K між реалізаціями вхідного і перерахованого сигналів від співвідношення сигнал-шум

Після досягнення певного числа коефіцієнтів ряду (2) збільшення точності розрахунку не відбувається. З одного боку, збільшення кількості коефіцієнтів підвищує точність представлення вхідного сигналу, а з іншого боку виникають проблеми знаходження глобального, (а не якогось локального) екстремуму, а це знижує точність відновлення сигналу.

При співвідношенні сигнал-шум, що дорівнює п’яти, розрахунок має високу точність Якщо кількість коефіцієнтів перевищує 50 – коефіцієнт кореляції наближається до 1, а кут – приблизно до 10 градусів, що вказує на високу точність відновлення сигналу.

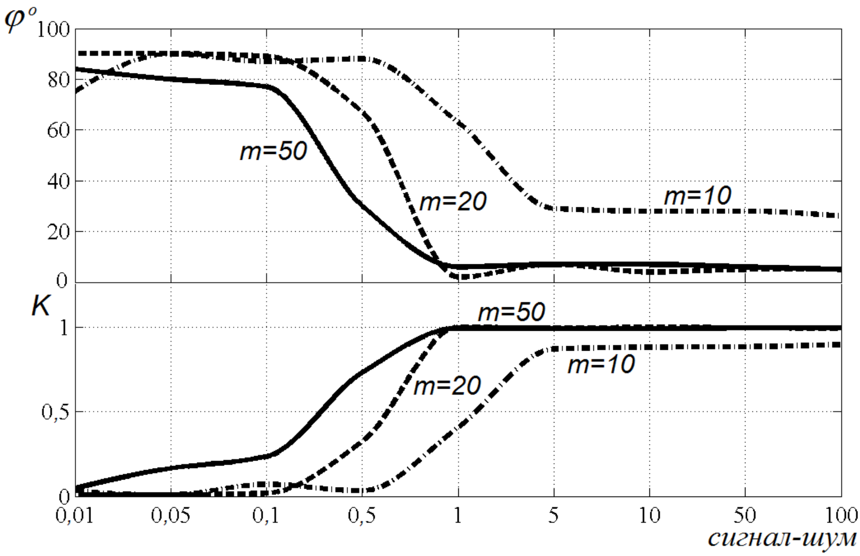


Рис. 3. Залежність кута $\varphi$ і коефіцієнта кореляції K між відомою і перерахованою імпульсною характеристикою датчика від співвідношення сигнал-шум

Знайдені невідомі параметри $m,l$ характеризують форму імпульсного відгуку (1). Порівнюючи отриману імпульсну характеристику з заданою, можна оцінити точність її відновлення. Оскільки коефіцієнти, що описують випадковий процес на вході датчика, і коефіцієнти імпульсної характеристики входять до складу функціонала (5), то кількість коефіцієнтів випадкового процесу може чинити значний вплив на точність відновлення імпульсної характеристики.

Рисунок 3 характеризує точність розрахунку імпульсної характеристики датчика в залежності від співвідношення сигнал-шум.

Звернемо увагу на те, що точність розрахунку імпульсної характеристики датчика в цілому вища, ніж точність реконструкції вхідного сигналу. Приймемо, що при значеннях коефіцієнта кореляції, які не перевищують 0,8, ми не будемо довіряти результатам обчислень. При зазначених умовах, як показують розрахунки, достатньо буде 10 коефіцієнтів. Це спричинено наявністю апріорної інформації про форму імпульсної характеристики.

Час розрахунку імпульсної характеристики датчика та реалізації вхідного сигналу залежить від багатьох факторів. Вони включають в себе складність вхідного сигналу і форми імпульсної характеристики, а також апріорну інформацію про них. Збільшення числа коефіцієнтів призводить до збільшення часу обчислень, наприклад, так як показано на рисунку 4 (обчислення проводились на комп'ютері з двоядерним процесором тактовою частотою 2 Hz і об'ємом оперативної пам'яті 2 Гб).

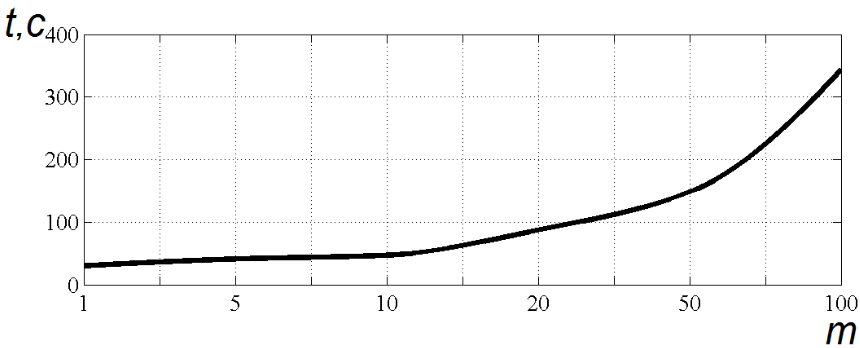


Рис. 4. Залежність часу розрахунку глобального екстремуму функціонала (5) від числа випадкових коефіцієнтів

**Висновок.** Результати моделювання показують високий рівень точності реконструкції вхідного сигналу і імпульсної характеристики датчика. Однак, це займає деякий час через особливості стохастичного пошуку екстремуму в генетичних алгоритмах. Це ускладнює застосування методу для динамічних об'єктів. Для підвищення точності розрахунків ми повинні мати апріорну інформацію про вид імпульсної характеристики датчика.


**Список літератури:** **1.** *Чинков, В.Н.* Оптимальный метод дискретизации сигналов по минимуму погрешности восстановления [Текст] / Український метрологічний журнал. – 2010. -№1. – С. 22-30. **2.** *Горячкин, О.В.* Методы слепой обработки сигналов и их применение в системах электросвязи [Текст] / *О.В. Горячкин*. - // Электросвязь. - 2006. - N 7. - С. 22-24. **3.** *Abed-Meraim, K.* Blind System Identification [Текст] / *K. Abed-Meraim, W. Hua, Y. Liu* // IEEE Proceeding. - 1997. - vol.85. – P.1308-1322. **4.** *Френкс Л.* Теория сигналов. М.: Сов. радио, 1974. – 344с. 5. *Mitsuo Gen, Runwei Cheng*. Genetic algorithms and engineering optimization- New York: A Wiley-Interscience Publication, 2000. – 495 p. **6.** *И.И. Гихман, А.В. Скороход,* Введение в теорию случайных процессов.- М.: Наука, 1965.



Стаття представлена д.т.н. проф. НТУ ХПІ Щаповим П.Ф.

*Надійшла в редакцію 10.09.11*