

УДК 681.5.015

А.М. Сільвестров<sup>1</sup>, Г.І. Кривобока<sup>2</sup>, Р.В. Захарченко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «КПІ імені І.Сікорського», Київ

<sup>2</sup>Національний університет харчових технологій, Київ

<sup>3</sup>Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

## ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРОВАНОГО МЕТОДУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

Розглянуто новий метод ідентифікації об'єктів за наявності випадкових похибок у вимірах вхідних і вихідних сигналів. Підтверджено можливість отримання не зміщених ефективних оцінок параметрів об'єкта запропонованим методом.

**Ключові слова:** ідентифікація, оцінювання, адаптивне керування.

### Вступ

Отримання адекватних моделей об'єктів керування здійснюються на основі теорії ідентифікації. При ідентифікації в умовах недостатньої апріорної інформації про об'єкт та похибки вимірювань вхідних  $X$  та  $Y$  вихідних сигналів методи регресійного аналізу є малоефективними. Тому актуальним є дослідження нових методів, які малочутливі до рівня апріорного опису властивостей сигналів.

### Основна частина

Інтегрований метод найменших квадратів (ІМНК) забезпечує зменшення розкиду значень функціоналу, не зменшуючи його чутливості в зоні екстремуму. Це можливо зробити для незглажених  $X$ ,  $Y$  шляхом додаткового усереднення на множині квазістатистично незалежних функціоналів, близьких до середньоквадратичного [1]. Такими функціоналами можуть бути зсунуті у часі  $t$  на інтервал  $\theta$  середні добутки  $\frac{1}{T} \int_0^T \varepsilon(t) \cdot \varepsilon(t+\theta) dt$ , де  $\varepsilon(t)$  – нев'язка між  $Y$  і моделлю  $X\beta$ . Усереднюючи їх на інтервалі  $[-\tau_1, \tau_1]$  отримуємо функціонал:

$$I = \frac{1}{2} \int_{-\tau_1}^{\tau_1} \eta(\theta) \int_0^T \varepsilon(t) \cdot \varepsilon(t+\theta) dt d\theta, \quad (1)$$

де  $\eta(\theta)$  – функція ваги.

Необхідною умова  $I$  по  $\beta_k$ ,  $k = \overline{1, n}$  є:

$$\frac{\partial I}{\partial \beta_k} = 0. \quad (2)$$

З виразу (2) для дискретних у часі вимірів витікає система нормальних рівнянь:

$$A \cdot \hat{\beta} = B, \quad (3)$$

де  $A$  – матриця  $n \times n$  з елементами  $a_{ik}$ ;  $B$  – матриця-стовпчик  $n \times 1$  з елементами  $b_k$ ,

$$a_{ij} = \sum_{k=m}^{N_1} \sum_{l=-m}^m \eta(l) \cdot [x_i(k) \cdot x_j(k+l) + x_i(k+l) \cdot x_j(k)], \quad (5)$$

$$b_j = \sum_{k=m}^{N_1} \sum_{l=-m}^m \eta(l) \cdot [y(k+l) \cdot x_j(k) + y(k) \cdot x_j(k+l)]. \quad (6)$$

Вибір вагової функції  $\eta(m)$  функціоналу (1) в класі багаторазових адаптивних систем ідентифікації [2] виконується за зовнішнім показником якості роботи підсистеми верхнього рівня. Вагова функція  $\eta(m)$  знаходиться у класі симетричних відносно  $m = 0$  фінітних функцій:

$$\eta(m) = (1 + |m|)^\theta \cdot \left(1 - \cos\left(\pi |m| / m_{кр}\right)\right)^\gamma, \quad (7)$$

де  $\theta \in (\pm \infty)$ ,  $\gamma \in (0, \infty)$ ,  $m_{кр}$  – визначається за умови додатної визначеності матриці  $A$ .

Розв'язок системи (3) дає оцінку вектора  $\beta$ :

$$\hat{\beta} = A^{-1} \cdot B.$$

Для дослідження роботи методу ІМНК використано модель в середовищі Simulink (рис. 1).

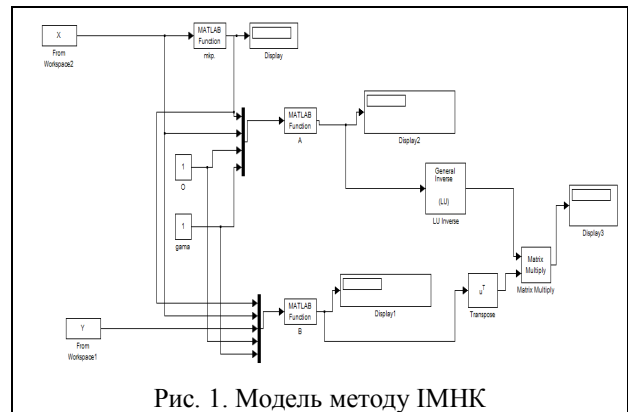


Рис. 1. Модель методу ІМНК

**Тестування ІМНК.** Для тестування ІМНК згенеровано множини вхідних  $(x_1, x_2)$  та вихідних  $(y)$  сигналів моделі  $y(t) = \beta_1 x_1(t) + \beta_2 x_2(t) + e_y(t)$  для 1000 вимірів, де  $\beta_1 = \beta_2 = 1$ ;  $\phi \approx 30^\circ$ ,  $t = k\Delta t$  ( $k = \overline{1, N}$ );  $N = 1000$ ;  $\Delta t = 0.001 T$ ;  $x_1(t) = \sin \omega t + e_1(t)$ ;  $x_2(t) = \sin(\omega t + \phi) + e_2(t)$ ;  $\omega = 2\pi / T$ ;  $e_y, e_1, e_2$  – 10% «білий шум».

Коефіцієнти вагової функції обрано з врахуванням типу шуму, тобто «білого шуму»:  $\theta = -2$ ,  $\gamma = 0.1$ . Графік вагової функції  $\eta(l, \theta, \gamma)$  подано на рис. 2.

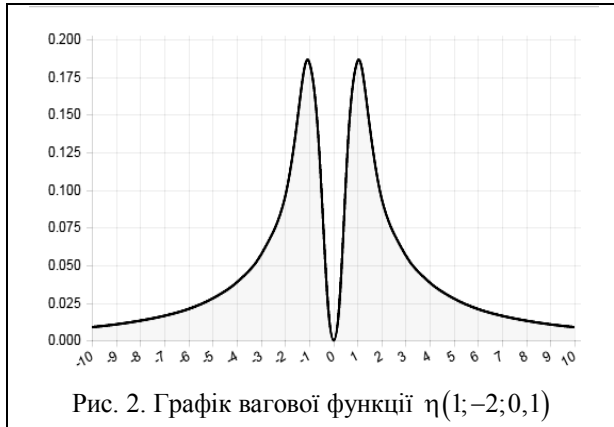


Рис. 2. Графік вагової функції  $\eta(l; -2; 0,1)$

За допомогою ІМНК отримано модель  $\hat{y}(t) = 0.98x_1(t) + 1.05x_2(t)$ , де оцінки 0.98 та 1.05 близькі до істинних одиничних. У середовищі MS Excel, отримано модель  $\hat{y}(t) = 0.76x_1(t) + 0.75x_2(t)$  із суттєво заниженими оцінками 0.76 та 0.75 істинних одиничних коефіцієнтів.

**Використання ІМНК для визначення моделі зерносушарки (рис. 3).** Задача полягала в оцінюванні коефіцієнтів прямих і перехресних передаточних функцій  $V_{11}(p)$ ,  $V_{12}(p)$ ,  $W_{11}(p)$ ,  $W_{12}(p)$ ,  $V_{22}(p)$ ,  $V_{21}(p)$ ,  $W_{22}(p)$ ,  $W_{21}(p)$ , як ланок першого порядку.

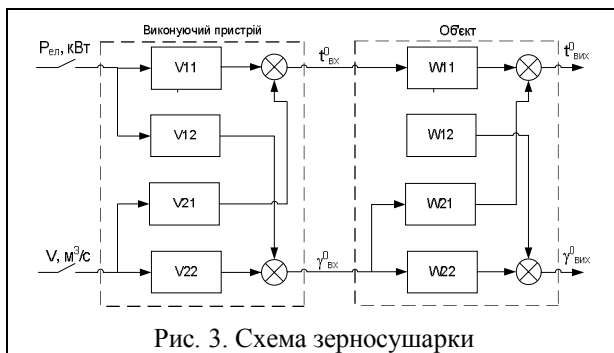


Рис. 3. Схема зерносушарки

Тоді з рівнянь виду:

$$\frac{dy}{dt}(t_n) = -\frac{1}{\tau}y(t_n) + \frac{k}{\tau}x(t_n), \quad n = 0, 1, 2, \dots, N.$$

за методом ІМНК визначались  $-1/\tau$ ,  $k/\tau$ .

В результаті активного експерименту отримано:

$$\begin{aligned} V_{11}(p) &= \frac{6.7}{490 \cdot p + 1}; & V_{12}(p) &= \frac{-0.9}{310 \cdot p + 1}; \\ W_{11}(p) &= \frac{0.6}{380 \cdot p + 1}; & W_{12}(p) &= \frac{-0.58}{525 \cdot p + 1}; \\ V_{21}(p) &= \frac{-28}{160 \cdot p + 1}; & V_{22}(p) &= \frac{-8.7}{150 \cdot p + 1}; \\ W_{21}(p) &= \frac{-0.3}{337 \cdot p + 1}; & W_{22}(p) &= \frac{0.4}{390 \cdot p + 1}. \end{aligned}$$

Отримані значення коефіцієнтів передаточних функцій дають можливість побудувати розв'язку каналів керування і, взагалі, автономне оптимальне керування процесом сушіння зерна.

## Висновки

Таким чином, запропонований метод ІМНК для побудови моделей об'єктів керування, в умовах недостатньої апріорної інформації про об'єкт дослідження, дає можливість не збільшуючи числа вимірювань, тобто складність і вартість натурального експерименту, отримати прості локальні моделі. Запропонований метод дозволяє об'єднати в єдину для всього діапазону змінних об'єкта ідентифікаційну аналітичну залежність, тобто в повну математичну модель, за допомогою вагових функцій – аналогів частотних фільтрів, без суттєвого ускладнення.

Подальше вдосконалення цього методу можливе в плані оптимізації структури вагових функцій, щоб за меншого числа  $n$  вони краще наближались до сигнум-функцій, що є аналогами ідеальних фільтрів.

## Список літератури

1. Островерхов М.Я. Системи і методи ідентифікації електротехнічних об'єктів / М.Я. Островерхов, А.М. Сильвестров, О.М. Скринник, К.: НАУ, 2016. – 324 с.
2. Сильвестров А.Н. Идентификация и оптимизация автоматических систем / А.Н. Сильвестров, П.И. Чинаев, М.: Энергоатомиздат, 1987. – 200 с.
3. Зеленський К.Х., Ігнатенко В.М., Коц О.П. Комп'ютерні методи прикладної математики. — К.: Академ-періодика, 2002. – 480 с.
4. Методи теорії автоматичного управління / Под. ред. Н.Д. Егунова. – М.: МІТУ ім. Баумана, 2000. – 748 с.

Надійшла до редколегії .02.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, професор П.І. Бідюк, НТУ України «КПІ ім. І. Сікорського», Київ.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИИ

А.Н. Сильвестров, Г.И. Кривобока, Р.В. Захарченко

*Рассмотрен новый метод идентификации объектов при наличии случайных погрешностей в измерениях входных и выходных сигналов. Подтверждена возможность получения несмещенных эффективных оценок параметров объекта.*

**Ключевые слова:** идентификация, оценивание, адаптивное управление.

## RESEARCH OF THE INTEGRATED METHOD OF AUTHENTICATION

A.M. Silvestrov, G.I. Kryvoboka, R.V. Zaharchenko

*The new method of authentication of objects is considered at presence of random error terms in measuring of entrance and output signals. Possibility of receipt of the undisplaced effective estimations of parameters of object is confirmed by the offered method.*

**Keywords:** identification, assessment, adaptive management.