

Л.І. Мещеряков, канд. техн. наук

(Україна, Дніпропетровськ, Національний гірничий університет)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСІЙНИХ ФУНКЦІЙ

Згідно з існуючими вимогами до ідентифікації технологічних процесів (ТП) та гірничих електромеханічних комплексів (ГЕМК) енергоінформаційні сигнали, що знімаються з датчиків (потужності, струму, напруги, $\cos j$ та ін.), являють собою випадкові процеси, які можна розглядати як деяку ув'язану генеральну сукупність випадкових величин, залежних від однієї або декількох змінних. Застосування статистичних мір зв'язку до використовуваного випадкового процесу обумовлює формування таких діагностичних оцінок, що повною мірою можуть відображати внутрішню приховану структурну взаємодію складових цих випадкових процесів при нескінченно великому числі всіляких сполучень за значенням аргументу часу t . При цьому використання дисперсійних числових характеристик ідентифікованих випадкових сигналів (процесів) дозволяє відкрити траєкторні особливості внутрішньої взаємодії та структурні нелінійні зв'язки, що забезпечує можливість дослідження динамічних структур ГЕМК як об'єктів керування [1, 2].

Одномірні кореляційні функції та їхні регресійні залежності, отримані за умовними математичними очікуваннями, адекватні базовому визначенню і добре описують лінійні системи. Однак реально гірничі ТП і ГЕМК є нелінійними системами і апроксимація їх лінійними моделями вносить істотні похибки. Тому їх ідентифікацію необхідно здійснювати на основі формальних методів розробки нелінійних динамічних моделей, а саме: за допомогою дисперсійних функцій, що дозволяють розкрити внутрішні нелінійні зв'язки. При цьому одномірна дисперсійна (автодисперсійна) функція випадкового сигналу входу $U(t)$ визначається як невідповідна функція двох аргументів $q_{Muu}(t, v)$, що для кожної пари значень t, v дорівнює дисперсії умовного математичного очікування відповідних перетинів сигналу:

$$q_{Muu}(t, v) = M \left[M(U_t | U_v) - MU_t \right]^2, \quad (1)$$

де $M(U_t | U_v)$ – умовне математичне очікування значення U_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t відносно значення u_n цієї ж функції при іншому довільному значенні аргументу n ; MU_t – математичне очікування генеральної вибірки сигналу входу $U(t)$.

Нормоване значення одномірної дисперсійної функції (рис. 1) визначиться як

$$h_{Muu}^2(t, n) = \frac{q_{Muu}(t, v)}{DU_t}, \quad (2)$$

де $q_{Muu}(t, v)$ – одномірна автодисперсійна функція випадкового сигналу входу $U(t)$; DU_t – дисперсія генеральної вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$ [1 – 3].

Для отримання нових знань у даній предметній галузі через розширення інформаційного забезпечення автоматизованих систем керування (АСК) ТП ГЕМК перспективно використати в структурі дисперсійних функцій інші статистичні характеристики енергоінформаційних сигналів. При цьому можливі варіації одномірних автодисперсійних функцій випадкового сигналу входу $U(t)$ із заміною складової умовного математичного очікування на вищі умовні моментні оцінки, що визначить їх те ж не випадковими функціями двох аргументів, які для кожної пари значень t, v будуть дорівнювати дисперсіям умовних дисперсій $q_{Duu}(t, v)$, дисперсіям умовних асиметрій $q_{Auu}(t, v)$ та дисперсіям умовних ексцесів $q_{Euu}(t, v)$ відповідних перетинів сигналу:

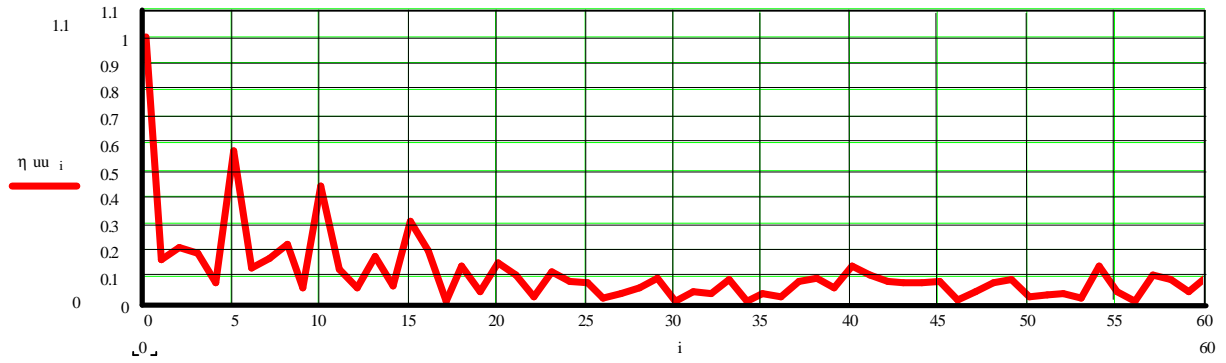
$$\begin{aligned} q_{Duu}(t, v) &= M \left[D(U_t | U_v) - DU_t \right]^2; \\ q_{Auu}(t, v) &= M \left[A(U_t | U_v) - AU_t \right]^2; \\ q_{Euu}(t, v) &= M \left[E(U_t | U_v) - EU_t \right]^2, \end{aligned} \quad (3)$$

де $D(U_t | U_v)$ – умовна дисперсія значення U_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t відносно значення u_n цієї ж функції сигналу при іншому довільному значенні аргументу n ; DU_t – дисперсія генеральної вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$; $A(U_t | U_v)$ – умовна асиметрія значення U_t сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t відносно значення u_n цієї ж функції при іншому довільному значенні аргументу n ; AU_t – асиметрія генеральної вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$; $E(U_t | U_v)$ – умовний ексцес значення U_t функції сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t відносно значення u_n цієї ж функції при іншому довільному значенні аргументу n ; EU_t – ексцес генеральної вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$.

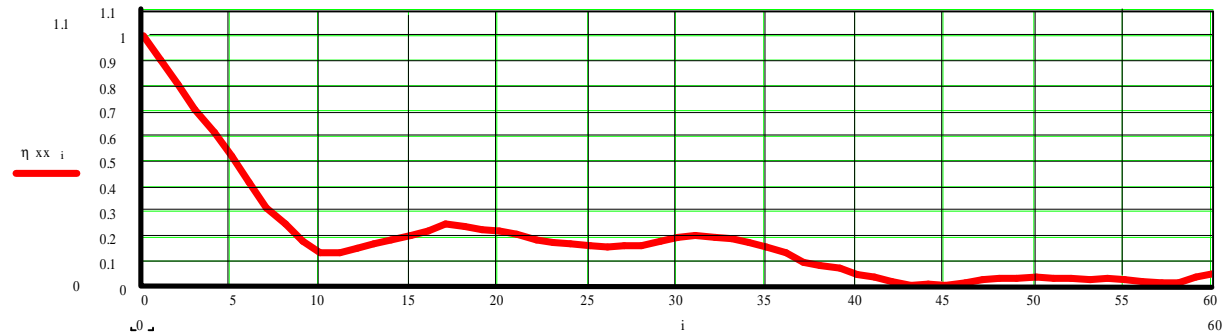
За структурою виразу (2) формуються нормовані значення можливих варіацій одномірних дисперсійних функцій вибірки випадкового сигналу входу, а саме:

$$h_{Duu}^2(t, n) = \frac{q_{Duu}(t, v)}{DU_t}; \quad h_{Auu}^2(t, n) = \frac{q_{Auu}(t, v)}{DU_t}; \quad h_{Euu}^2(t, n) = \frac{q_{Euu}(t, v)}{DU_t}, \quad (4)$$

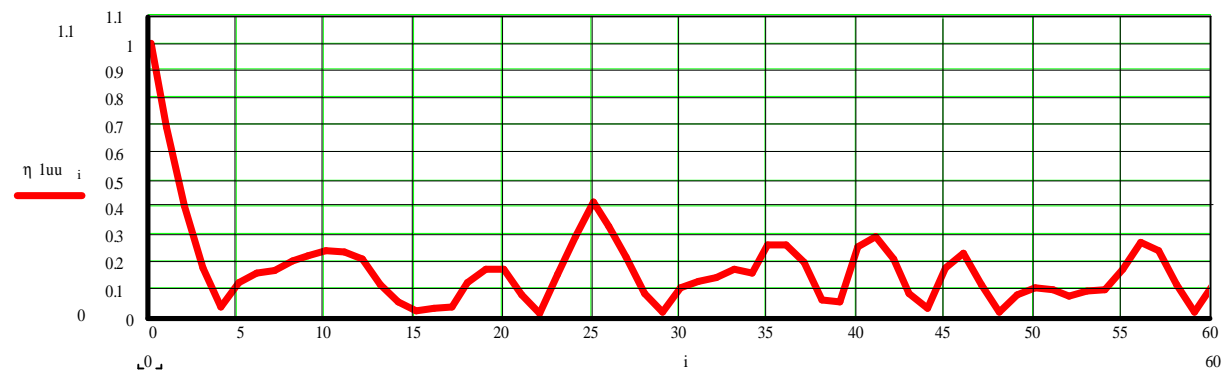
де $q_{Duu}(t, v)$ – одномірна автодисперсійна функція умовних дисперсій входу $U(t)$; $q_{Auu}(t, v)$ – одномірна автодисперсійна функція умовних асиметрій входу $U(t)$; $q_{Euu}(t, v)$ – одномірна автодисперсійна функція умовних ексцесів входу $U(t)$; DU_t – дисперсія генеральної вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$.



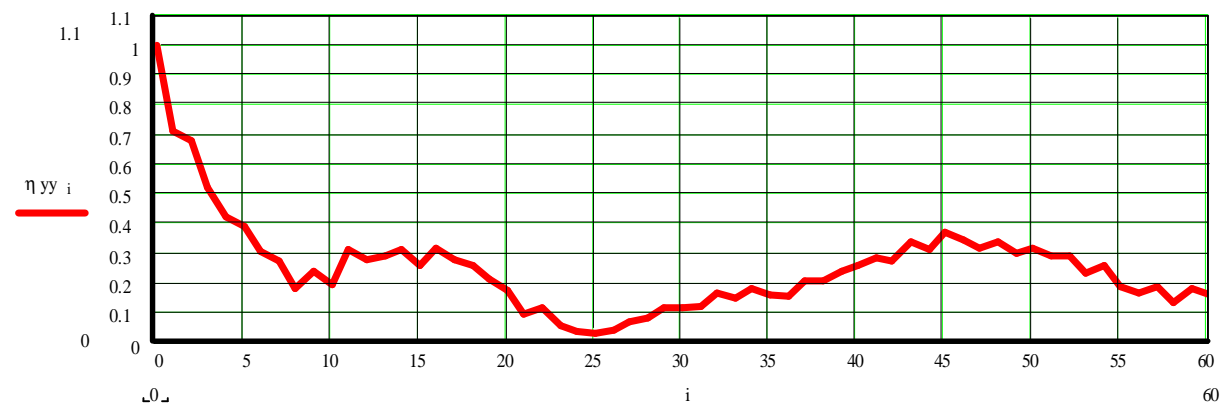
a



б



в



г

Рис. 1. Експериментальні автодисперсійні функції сигналів режимно-технологічних параметрів бурових комплексів типу ЗІФ-1200МР: *a* – навантаження H на ПРІ; *б* – витрат промивальної рідини Q ; *в* – окружної швидкості обертання ПРІ w ; *г* – механічної швидкості процесу буріння V

Одномірна автодисперсійна функція $q_{uu}(t, \nu)$, див. рис. 1, як і одномірна автокореляційна функції $K_{uu}(t, \nu)$, відображає в собі внутрішню структуру і зв'язки випадкового сигналу входу $U(t)$. При цьому ступінь розбіжності цих функцій показує ступінь нелінійності внутрішньої структури сигналу входу $U(t)$, а міра розбіжності цих оцінок може бути використана як критерій при заміні нелінійної екстраполяції випадкового сигналу входу $U(t)$ його лінійною моделлю. Це стосується й інших інформаційних сигналів – стану $X(t)$ та виходу $Y(t)$.

Більш ефективною інформаційною оцінкою для задач АСК ГЕМК є одномірна взаємодисперсійна функція $q_{Myu}(t, \nu)$. Визначається вона як невинуваткова функція двох аргументів і для кожної пари значень t і ν дорівнює дисперсії умовного математичного очікування перетину одного випадкового сигналу відносно перетину іншого (рис. 2). Для сигналів виходу $Y(t)$ і входу $U(t)$ ця функція запишеться так:

$$q_{Myu}(t, \nu) = M \left[M(Y_t | U_\nu) - MY_t \right]^2, \quad (5)$$

де $M(Y_t | U_\nu)$ – умовне математичне очікування значення Y_t випадкової функції сигналу виходу $Y(t)$ при довільному значенні аргументу t відносно значення u_n випадкової функції сигналу входу $U(n)$ при його довільному значенні заданого аргументу n ; MY_t – математичне очікування генеральної вибірки сигналу виходу.

На практиці найчастіше як вимірник внутрішнього зв'язку нелінійних сигналів в обмеженому інтервалі $0 - 1$ використовується нормована одномірна дисперсійна функція. Вона знаходиться як дисперсійне відношення випадкових значень сигналів виходу $Y(t)$ і входу $U(\nu)$ при довільних значеннях їх аргументів t і ν , тобто

$$h_{Myu}^2(t, \nu) = \frac{q_{Myu}(t, \nu)}{s_y(t)s_u(t)}, \quad (6)$$

де $q_{Myu}(t, \nu)$ – одномірна взаємодисперсійна функція випадкової функції вибірки сигналу виходу $Y(t)$ відносно вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$; $s_y(t), s_u(t)$ – середні квадратичні відхилення генеральних вибірок відповідно до випадкових сигналів виходу $Y(t)$ і входу $U(t)$ [1, 4, 5].

Також пропонуються до застосування й інші ефективні інформаційні характеристики варіацій одномірних взаємодисперсійних функцій випадкових сигналів входу $U(t)$ і виходу $Y(t)$, які формуються через вищі умовні теоретичні моменти, що визначають теж невинуваткові функції двох аргументів, які для кожної пари значень t, ν будуть дорівнювати відповідно дисперсіям умовних дисперсій $q_{Dyu}(t, \nu)$,

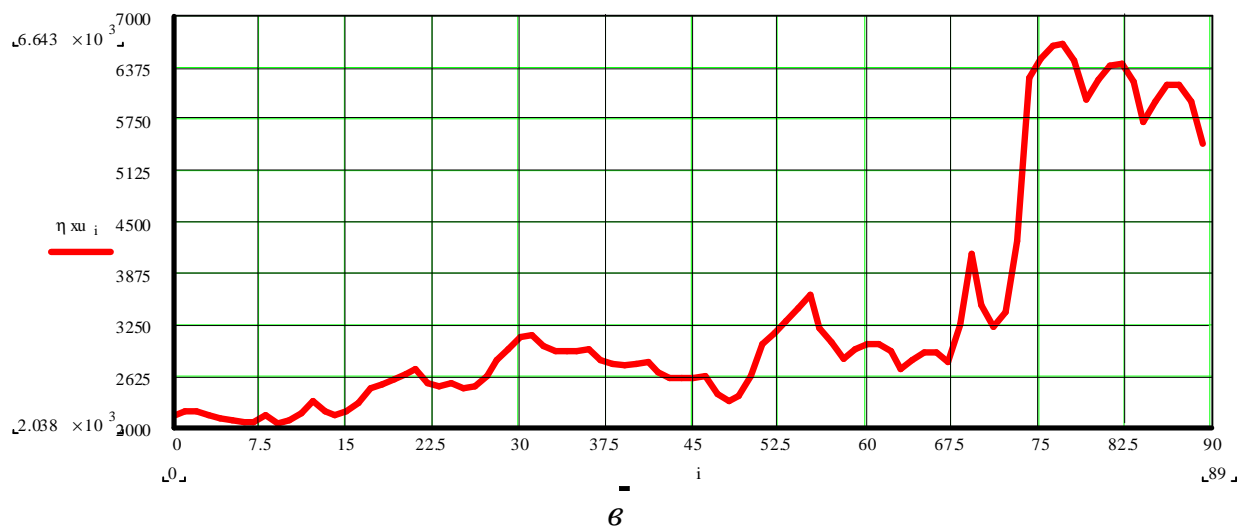
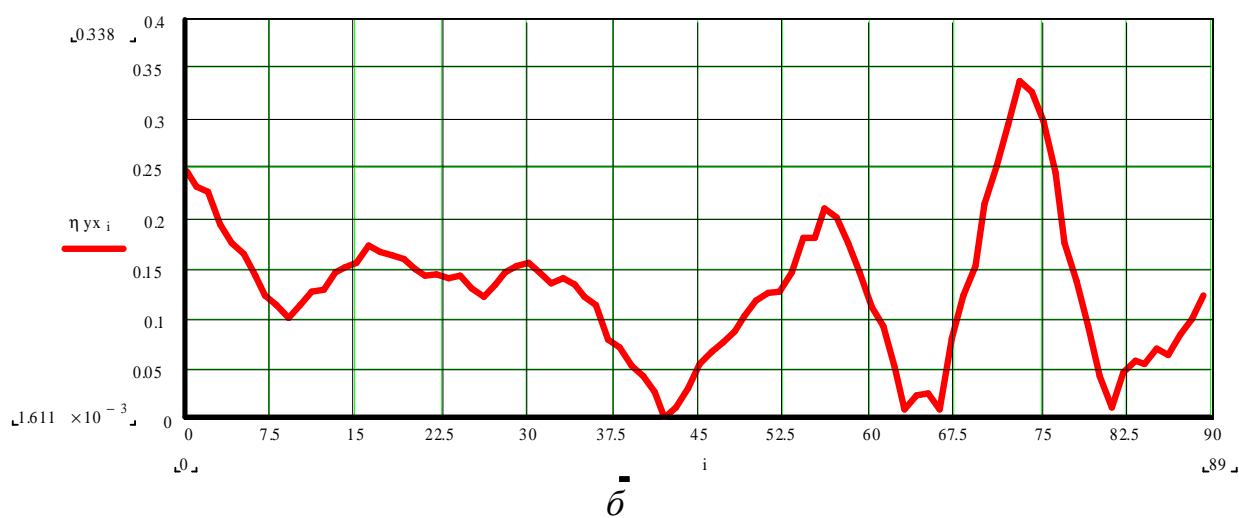
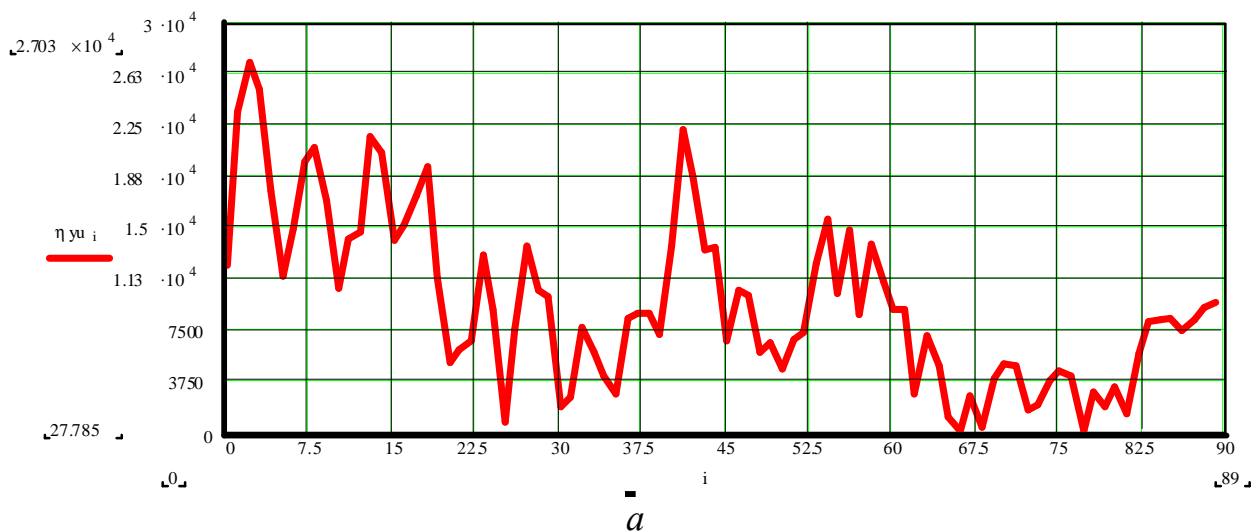


Рис. 2. Експериментальні взаємодисперсійні функції сигналів режимно-технологічних параметрів бурових комплексів типу ЗІФ-1200МР:

- a – механічної швидкості буріння V і навантаження на ПРІ H – (h_{yu}_i) ,
- b – витрат промивальної рідини Q і навантаження H на ПРІ – (h_{yx}_i) ,
- v – механічної швидкості буріння V і витрат промивальної рідини Q – (h_{xv}_i)

дисперсіям умовних асиметрій $q_{Ayu}(t, v)$ та дисперсіям умовних ексцесів $q_{Eyu}(t, v)$ відповідних перетинів сигналу та будуть відображатися такими рівняннями:

$$\begin{aligned} q_{Dyu}(t, v) &= M \left[D(Y_t | U_v) - DY_t \right]^2; \\ q_{Ayu}(t, v) &= M \left[A(Y_t | U_v) - AY_t \right]^2; \\ q_{Eyu}(t, v) &= M \left[E(Y_t | U_v) - EY_t \right]^2, \end{aligned} \quad (7)$$

де $D(Y_t | U_v)$ – умовна дисперсія значення Y_t випадкової функції вибірки сигналу виходу $Y(t)$ при довільному значенні аргументу t відносно значення u_n випадкової функції вибірки сигналу входу $U(n)$ при довільному значенні аргументу n ; DY_t – дисперсія генеральної вибірки випадкового сигналу виходу $Y(t)$; $A(Y_t | U_v)$ – умовна асиметрія значення Y_t випадкової функції вибірки сигналу виходу $Y(t)$ при довільному значенні аргументу t відносно значення u_n випадкової функції вибірки сигналу входу $U(n)$ при довільному значенні аргументу n ; AY_t – асиметрія генеральної вибірки випадкового сигналу виходу $Y(t)$; $E(Y_t | U_v)$ – умовний ексцес значення Y_t випадкової функції вибірки сигналу виходу $Y(t)$ при довільному значенні аргументу t відносно значення u_n випадкової функції вибірки сигналу входу $U(n)$ при довільному значенні аргументу n ; EY_t – ексцес генеральної вибірки випадкового сигналу виходу $Y(t)$.

Нормовані значення можливих варіацій одномірних взаємодисперсійних функцій випадкових сигналів входу $U(t)$ і виходу $Y(t)$ будуть представлені відповідно формулами вигляду:

$$h_{Dyu}^2(t, v) = \frac{q_{Dyu}(t, v)}{s_y(t)s_u(t)}; \quad h_{Ayu}^2(t, v) = \frac{q_{Ayu}(t, v)}{s_y(t)s_u(t)}; \quad h_{Eyu}^2(t, v) = \frac{q_{Eyu}(t, v)}{s_y(t)s_u(t)}, \quad (8)$$

де $q_{Dyu}(t, v)$ – одномірна взаємодисперсійна функція умовних дисперсій випадкової функції вибірки сигналу виходу $Y(t)$ відносно випадкового сигналу входу $U(t)$; $q_{Ayu}(t, v)$ – одномірна взаємодисперсійна функція умовних асиметрій випадкової функції вибірки сигналу виходу $Y(t)$ відносно випадкового сигналу входу $U(t)$; $q_{Eyu}(t, v)$ – одномірна взаємодисперсійна функція умовних ексцесів випадкової функції вибірки сигналу виходу $Y(t)$ відносно випадкового сигналу входу $U(t)$; $s_y(t), s_u(t)$ – середнє квадратичне відхилення вибірок випадкових сигналів виходу $Y(t)$ і входу $U(t)$.

Таким чином, при формалізації задач ідентифікації та керування в АСК ГЕМК оцінки одномірних автодисперсійних функцій $q_{uu}(t, \nu)$, $q_{Duu}(t, \nu)$, $q_{Auu}(t, \nu)$, $q_{Euu}(t, \nu)$ та взаємодисперсійних функцій $q_{Myu}(t, \nu)$, $q_{Dyu}(t, \nu)$, $q_{Ayu}(t, \nu)$, $q_{Eyu}(t, \nu)$ характеризують ступені розсіювання відповідно умовного математичного очікування $M(Y_t | u_\nu) = y_M(u_\nu)$, умовної дисперсії $D(Y_t | u_\nu) = y_D(u_\nu)$, умовної асиметрії $A(Y_t | u_\nu) = y_A(u_\nu)$ та умовного ексцесу $E(Y_t | u_\nu) = y_E(u_\nu)$ при всій безлічі можливих значеннях t і ν , що відображує можливість адекватної апроксимації нелінійних систем лінійними моделями.

Список літератури

1. Мещеряков Л.И. Дисперсионные алгоритмы идентификации в информационно-аналитических системах техногенной безопасности // Сб. науч. тр. НГА. – 2001. – №12, т. 1, – С. 233–239.
2. Дудля М.А., Карпенко В.М., Гриняк О.А., Цзян Гошен. Автоматизація процесу буріння: Монографія. – Д.: Національний гірничий університет, 2005. – 207 с.
3. Diagnostyka urzadzen wiertniczych / G.G. Piwniak, M. Kaliski, A. Zieba, L.J. Mieszczerjakow, M.A. Dudla. – Krakow, Dniepropietrowsk, 2004. – 174 с.
4. Мещеряков Л.И. Математические основы построения дисперсионных диагностических моделей горных электромеханических систем // Вибрации в техн. и технол. – 2002. – №1 (22). – С.41-44.
5. Мещеряков Л.И. Базова форма дисперсійної моделі гірничих технологічних комплексів // Сб. науч. тр. НГУ. – 2004. – №20. – С. 209–214.