

УДК 681.518.52

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2025-1-21>

Леонід МЕЩЕРЯКОВ

доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0000-0002-9579-1970

Scopus Author ID: 57205282540

Володимир КУБАЄВ

доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0000-0001-6329-071X

Scopus Author ID: 6602411915

Борис МОРОЗ

доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0000-0002-5625-0864

Scopus Author ID: 57218242332

Геннадій ШВАЧИЧ

доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID: 0000-0002-9439-5511

Scopus Author ID: 56509642500

Бібліографічний опис статті: Мещеряков, Л., Куваєв, В., Мороз, Б., Швачич, Г. (2025). Удосконалення інформаційного забезпечення комп'ютерних систем на базі моментних функцій. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 156–161, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2025-1-21>

УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ МОМЕНТНИХ ФУНКЦІЙ

Постійно існуючі вимоги розширення інформаційного забезпечення комп'ютерних систем висувають на перший рівень доцільність пошуку та визначення нових, більш інформативних оцінок виявлення прихованих нелінійних зв'язків в сигналах, що використовуються. Це обумовлює поглиблення та розширення математичного забезпечення обробки цих сигналів. Одним з шляхів вирішення цієї задачі являється використання моментних функцій.

Метою роботи являється формування принципів розширення інформаційного забезпечення керування електромеханічних комплексів за рахунок визначення нових інформативних оцінок на основі асиметричних функцій.

Методологія вирішення поставленого завдання полягає в аналізі та структуруванні інформаційних масивів сигналів відповідно алгоритму асиметричних функцій для виділення прихованої в них знакової періодичності.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що було розроблено математичне забезпечення, яке полегшує виявляти приховані нелінійні зв'язки в інформативних випадкових сигналах, що дозволяє значно розширювати інформаційне забезпечення комп'ютерних систем.

Висновки. Розроблено математичний апарат інформаційних характеристик асиметричних функцій, що в силу своїх аналітичних та структурних особливостей мають чутливість до градієнта нелінійного зв'язку по горизонталі щільності розподілу ймовірностей значень сигналів з датчиків контролю оперативного технологічного та технічного станів гірничих електромеханічних комплексів і обумовлюють підви-

щення точності та достовірності визначення поточного стану останніх, що може бути використано для збільшення інформаційного забезпечення керування у відповідності сучасним вимогам інтегрованих задач автоматизованих систем керування технологічних процесів.

Ключові слова: математичний апарат інформаційних характеристик, супутні випадкові сигнали, чутливість до градієнта нелінійного зв'язку, електромеханічні комплекси, асиметричні функції.

Leonid MESHCHERIAKOV

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, meshcheriakov.l.i@nmu.one

ORCID: 0000-0002-9579-19701970

Scopus Author ID: 57205282540

Volodymyr KUAIEV

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, kuvaiev.v.m@nmu.one

ORCID: 0000-0001-6329-071X

Scopus Author ID: 6602411915

Borys MOROZ

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, moroz.b.i@nmu.one

ORCID: 0000-0002-5625-0864

Scopus Author ID: 57218242332

Hennadii SHVACHYCH

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho Ave., Dnipro, Ukraine, 49005, Shvachych.H.H@nmu.one

ORCID: 0000-0002-9439-5511

Scopus Author ID: 56509642500

To cite this article: Meshcheriakov, L., Kuvaiev, V., Moroz, B., Shvachych, H. (2025). Udoskonalennia informatsiinoho zabezpechennia kompiuternykh system na bazi momentnykh funktsii [Enhanced information security computer systems based on instant functions]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 156– 161, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2025-1-21>

ENHANCED INFORMATION SECURITY COMPUTER SYSTEMS BASED ON INSTANT FUNCTIONS

Constantly existing requirements for the expansion of information provision of computer systems bring to the fore the expediency of finding and defining new, more informative estimates for the detection of hidden nonlinear connections in the signals used. This determines the deepening and expansion of the mathematical support for the processing of these signals. One of the ways to solve this problem is the use of moment functions.

The purpose of the work is the formation of the principles of expanding the information support for the control of electromechanical complexes due to the determination of new informative estimates based on asymmetric functions.

The methodology for solving the task consists in the analysis and structuring of information arrays of signals in accordance with the algorithm of asymmetric functions to highlight the hidden periodicities in them.

The scientific novelty of the obtained results lies in the fact that mathematical support was developed, which makes it easier to detect hidden nonlinear relationships in informative random signals, which allows to significantly expand the information support of computer systems.

Conclusions. A mathematical apparatus of informational characteristics of asymmetric functions has been developed, which, due to their analytical and structural features, are sensitive to the gradient of nonlinear communication along the horizontal density of the probability distribution of signal values from sensors for monitoring operational technological and technical states of mining electromechanical complexes and condition increasing the the accuracy and reliability of determining the current state of the latter, which can be used to increase the information support of management in accordance with the modern requirements of integrated tasks of automated control systems of technological processes.

Key words: mathematical apparatus of information characteristics, accompanying random signals, sensitivity to the gradient of nonlinear communication, electromechanical complexes, asymmetric functions.

Актуальність проблеми. Підвищення точності та надійності процесів в сучасних автоматизованих системах керування гірничих електромеханічних комплексів на даний час не забезпечуються в повному обсязі необхідною оперативною інформацією, що обумовлено як складною структурою та важкими умовами робочого функціонування обладнання в гірничий промисловості, так і недостатніми науковими дослідженнями в даному напрямі. На цьому і ґрунтується функціональне протиріччя між вимогою забезпечення оптимальної якості сучасного програмного керування технологічними процесами в гірничих електромеханічних комплексах та обмеженням необхідної та доступної для забезпечення цієї вимоги інформації. Таким чином, формується важлива наукова задача пошуку нових якісних оцінок інформаційних характеристик діагностичних сигналів, що супутні робочим режимам гірничих електромеханічних комплексів. Аналіз структур та інформаційних властивостей дисперсійних функцій дає підставу за аналогією з ними сформулювати та запропонувати до застосування при дослідженні динамічних та інформаційних характеристик нелінійних об'єктів в автоматизованих системах керування технологічними процесами гірничих електромеханічних комплексів нових функцій – асиметрійних (Мещеряков Л.І., 2019; Piwniak G. G., 2004; Мещеряков Л.І., 2017).

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Широко відомі одномірні кореляційні функції та їхні регресійні залежності, отримані за умовними математичними очікуваннями адекватні базовому визначенню і добре описують лінійні системи. Однак реально технологічні та технічні процеси, що протікають в гірничих електромеханічних комплексах є суттєво нелінійними, самі комплекси відповідно виступають як нелінійні, і апроксимація їх лінійними моделями вносить істотні похибки. Тому їх ідентифікацію доцільно здійснювати на базі класу моментних функцій, а саме за допомогою дисперсійних функцій, що дозволяють розкрити внутрішні нелінійні структури та зв'язки. Для розширення інформаційного забезпечення автоматизованих систем керування технологічними процесами гірничих електромеханічних комплексів перспективною являється ідея використати в структурі дисперсійних функцій і інші статистичні характеристики енергоінформаційних сигналів. При цьому можливі варіації одномірних автодисперсійних функцій випадкового сигналу входу $U(t)$ з заміною складової умовного математичного очікування на вищі умовні ймовірнісні оцінки, що визначить їх теж не випадковими функціями

двох аргументів, які для кожної пари значень t, v будуть дорівнювати відповідно дисперсіям умовних дисперсій, дисперсіям умовних асиметрій та дисперсіям умовних ексцесів відповідних перетинів сигналу.

Одномірна автодисперсійна функція $\theta_{uu}(t, v)$ як і одномірна автокореляційна функція $K_{uu}(t, v)$ відображає в собі внутрішню структуру та зв'язки випадкового сигналу входу $U(t)$. При цьому ступінь розбіжності цих функцій показує ступінь нелінійності внутрішньої структури сигналу входу $U(t)$, а міра цієї розбіжності може бути використана як критерій при заміні нелінійної екстраполяції випадкового сигналу входу $U(t)$ його лінійною моделлю. Це стосується і інших інформаційних сигналів – стану $X(t)$ та виходу $Y(t)$ (Мещеряков Л.І., 2017; Мещеряков Л.І., 2007).

Метою статті являється формування принципів розширення інформаційного забезпечення керування гірничих електромеханічних комплексів та автоматизованих систем ними на основі інформаційних характеристик асиметрійних функцій, що пропонуються.

Виклад основного матеріалу. При формалізації задач керування складними гірничих електромеханічних комплексів досить перспективною інформаційно потужною оцінкою виступає одномірна асиметрійна функція (функція асиметрії) випадкового сигналу $U(t)$, що визначається як не випадкова функція двох аргументів $\gamma_{Mu}(t, v)$, яка для кожної пари значень t і v дорівнює асиметрії умовного математичного очікування відповідних перетинів значень сигналу $U(t)$ за виразом

$$\gamma_{Mu}(t, v) = \frac{1}{\sigma_{uu}^3} M[M(U_t | U_v) - MU_t]^3, \quad (1)$$

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_v цієї ж функції при іншому довільному значенні аргументу v ; MU_t – математичне очікування генеральної вибірки сигналу входу $U(t)$; σ_{uu} – середнє квадратичне відхилення вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$.

Відповідно нормоване значення оцінки одномірної асиметрійної функції визначається формулою

$$\lambda_{Mu}^3(t, v) = \frac{\gamma_{Mu}(t, v)}{AU_t}, \quad (2)$$

де $\gamma_{Mu}(t, v)$ – одномірна автоасиметрійна функція випадкового сигналу входу $U(t)$; AU_t – асиметрії генеральної вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$.

Для розширення інформаційного забезпечення автоматизованих систем керування технологічними процесами в гірничих електро-механічних комплексах перспективне використати і в структурі асиметрійних функцій інших статистичних характеристик енергоінформаційних сигналів. Так можливі варіації одномірних автоасиметрійних функцій випадкового сигналу входу $U(t)$ з заміною складової умовного математичного очікування на вищі умовні оцінки, що визначать їх теж не випадковими функціями двох аргументів, які для кожної пари значень t і v будуть дорівнювати відповідно асиметрії умовних дисперсій, асиметрії умовних асиметрій та асиметрії умовних ексцесів відповідних перетинів значень сигналу входу

$$\begin{aligned}\gamma_{Duu}(t, v) &= \frac{1}{\sigma_{Duu}^3} M[D(U_t | U_v) - DU_t]^3, \\ \gamma_{Auu}(t, v) &= \frac{1}{\sigma_{Auu}^3} M[A(U_t | U_v) - AU_t]^3, \\ \gamma_{Euu}(t, v) &= \frac{1}{\sigma_{Euu}^3} M[E(U_t | U_v) - EU_t]^3,\end{aligned}\quad (3)$$

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_v цієї ж функції сигналу при іншому довільному значенні аргументу v ; DU_t – дисперсія генеральної вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$; $A(U_t | U_v)$ – умовна асиметрія значення U_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t відносно значення u_v цієї ж функції при іншому довільному значенні аргументу v ; AU_t – асиметрія генеральної вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$; $E(U_t | U_v)$ – умовний ексцес значення U_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t відносно значення u_v цієї ж функції при іншому довільному значенні аргументу v ; EU_t – ексцес генеральної вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$; σ_{uu} – середнє квадратичне відхилення вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$.

За представленими структурами виразів (3) формуються нормовані значення можливих варіацій оцінок одномірних автоасиметрійних функцій випадкового сигналу входу $U(t)$ відповідно за формулами

$$\begin{aligned}\lambda_{Duu}^3(t, v) &= \frac{\gamma_{Duu}(t, v)}{AU_t}, \\ \lambda_{Auu}^3(t, v) &= \frac{\gamma_{Auu}(t, v)}{AU_t}, \\ \lambda_{Euu}^3(t, v) &= \frac{\gamma_{Euu}(t, v)}{AU_t},\end{aligned}\quad (4)$$

де $\gamma_{Duu}(t, v)$ – одномірна автоасиметрійна функція умовних дисперсій входу $U(t)$; $\gamma_{Auu}(t, v)$ – одномірна автоасиметрійна функція умовних асиметрій входу $U(t)$; $\gamma_{Euu}(t, v)$ – одномірна автоасиметрійна функція умовних ексцесів входу $U(t)$; AU_t – асиметрія генеральної вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$.

Очевидно, що значно більш цінною інформативною оцінкою є одномірна взаємоасиметрійна функція, що визначається як не випадкова функція декількох аргументів $\gamma_{yuu}(s, v, t)$ і яка для кожної пари значень t, v і s дорівнює асиметрії умовного математичного очікування перетину одного випадкового сигналу щодо перетинів інших сигналів. Наприклад, для векторів значень сигналів виходу $Y(s)$ і входу $U(t)$ функція відобразиться таким чином

$$\gamma_{Myu}(s, t) = \frac{1}{\sigma_y^3} M[M(Y_s | U_t) - MY_s]^3, \quad (5)$$

де $M(Y_s | U_t)$ – умовне математичне очікування значення Y_s випадкової функції вибірки сигналу виходу $Y(s)$ при довільному значенні аргументу s відносно значення u_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при його довільному значенні заданого аргументу t ; MY_s – математичне очікування генеральної вибірки сигналу виходу $Y(s)$; σ_{uu} – середнє квадратичне відхилення вибірки випадкового сигналу входу $U(t)$.

Інші варіації одномірних взаємоасиметрійних функцій випадкових сигналів входу $U(t)$ і виходу $Y(t)$, які визначені через вищі умовні оцінки, що пропонуються до застосування, визначають теж не випадкові функції двох аргументів, які для кожної пари значень t і v будуть дорівнювати відповідно вже взаємозв'язку через асиметрії умовних дисперсій, умовних асиметрій та умовних ексцесів відповідних перетинів різних сигналів (наприклад входу і виходу) будуть відображатися виразами

$$\begin{aligned}\gamma_{Dyu}(s, t) &= \frac{1}{\sigma_{Dy}^3} [D(Y_s | U_t) - DY_s]^3, \\ \gamma_{Ayu}(s, t) &= \frac{1}{\sigma_{Ay}^3} [A(Y_s | U_t) - AY_s]^3, \\ \gamma_{Eyu}(s, t) &= \frac{1}{\sigma_{Ey}^3} [E(Y_s | U_t) - EY_s]^3,\end{aligned}\quad (6)$$

де $D(Y_s | U_t)$ – умовна дисперсія значення Y_s випадкової функції вибірки сигналу виходу $Y(s)$ при довільному значенні аргументу s відносно значення u_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t ; DY_s – дисперсія генеральної вибірки випадкового сигналу виходу $Y(s)$; $A(Y_s | U_t)$ – умовна

асиметрія значення Y_s випадкової функції вибірки сигналу виходу $Y(s)$ при довільному значенні аргументу s відносно значення u_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t ; AY_s – асиметрія генеральної вибірки випадкового сигналу виходу $Y(s)$; $E(Y_s | U_t)$ – умовний ексцес значення Y_s випадкової функції вибірки сигналу виходу $Y(s)$ при довільному значенні аргументу s відносно значення u_t випадкової функції вибірки сигналу входу $U(t)$ при довільному значенні аргументу t ; EY_s – ексцес генеральної вибірки випадкового сигналу виходу $Y(s)$; σ_y – середнє

квадратичне відхилення вибірки випадкового сигналу виходу $Y(s)$.

В якості практичних прикладів інформаційних властивостей оцінок, що пропонуються для інтелектуального діагностування оперативного стану складних гірничих електромеханічних комплексів представлені типові інформаційні характеристики отриманих нормованих асиметричних функцій експериментальних сигналів активної потужності, що споживається, привідними електродвигунами бурових комплексів, при різних технологічних та технічних режимах процесу буріння (рис. 1).

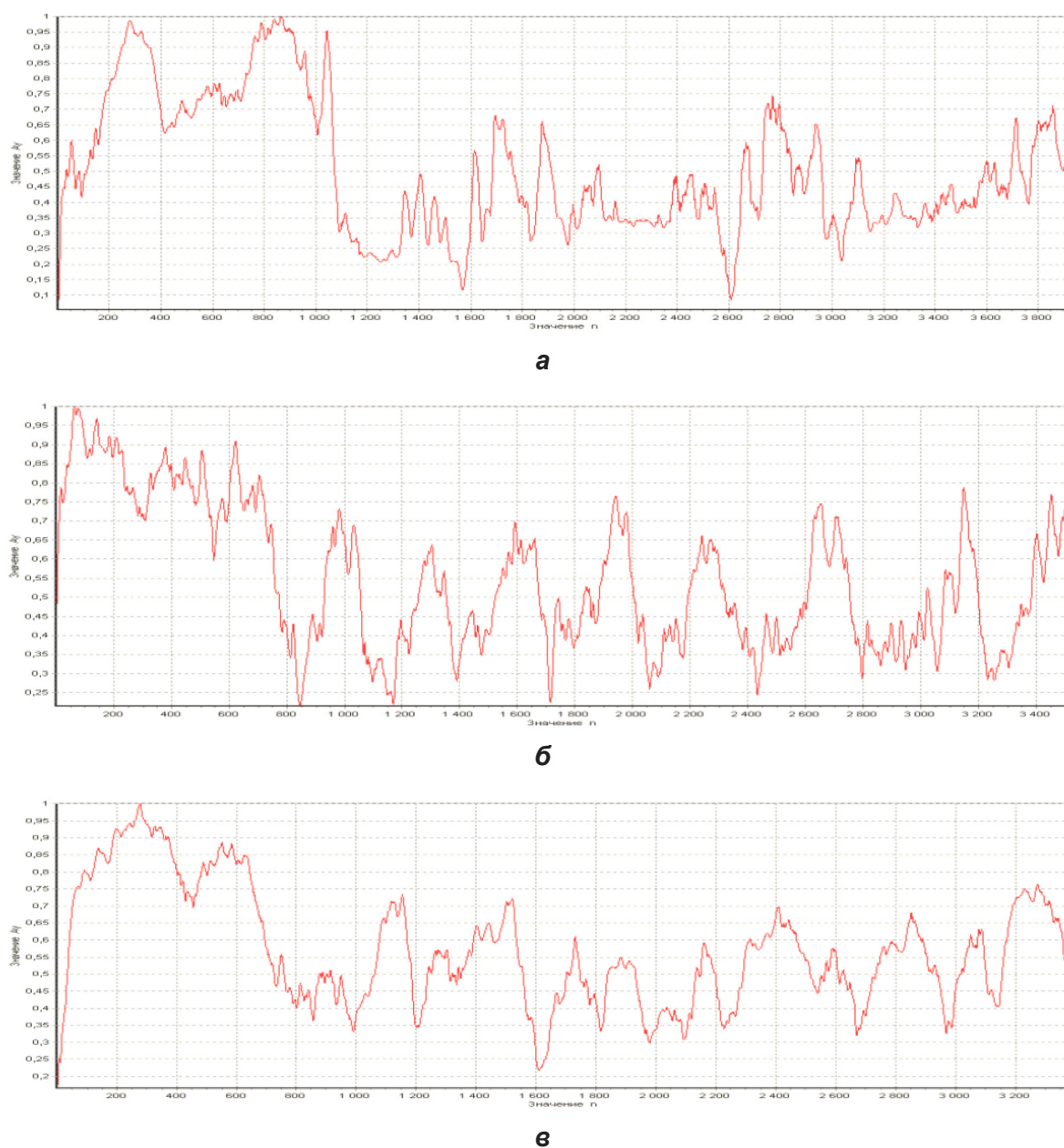


Рис. 1. Автоасиметричні функції сигналу витрат потужності приводу бурового комплексу типу ЗИФ-1200МР: а – вихід на сталий робочий режим буріння; б – виникнення стану підвищеного зносу алмазної коронки в прижоговій ситуації на фоні вібрацій; в – стан буріння з різною швидкістю шпинделя станка

Не важко побачити виявлені аналітикою автоасиметричних функцій приховані коливальні нелінійні зв'язки в структурі сигналів, що розглядаються. Безумовно, виникає потреба подальшого, більш детального вже спектрального аналізу даних сигналів з формуванням по достовірним експериментальним вибіркам інформативного простору ознак та найефективніших вирішальних правил компоненту задач розпізнавання стану об'єктів, що досліджуються.

Висновки. Таким чином, розроблено математичний апарат інформаційних характеристик

асиметричних функцій, що в силу своїх аналітичних та структурних особливостей мають чутливість до градієнта нелінійного зв'язку по горизонталі щільності розподілу ймовірностей значень сигналів з датчиків контролю оперативного технологічного та технічного станів гірничих електромеханічних комплексів і обумовлюють підвищення точності та достовірності визначення останніх, що може бути використано для збільшення інформаційного забезпечення керування у відповідності сучасним вимогам інтегрованих задач автоматизованих систем керування технологічними процесами.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Piwniak G. G., Kaliski M., Zieba A., Mieszczerekow L. J., Dudla M. A. Diagnostyka urzadzen wiertniczych. Krakow, Dniepropietrowsk, 2004. 174 с.
2. Мещеряков Л. І. Аналітичне та програмне забезпечення енергетичного діагностування гірничих комплексів на основі моментних функцій / Л. І. Мещеряков, О. М. Галушко, О. І. Сироткіна, С. Д. Приходченко. *Гірнича електромеханіка та автоматика: Науково-технічний збірник*, 2019. вип. 101. С. 29–38.
3. Мещеряков Л. І. Статистичні моментні зв'язки інформаційних сигналів в системах розпізнавання / Л. І. Мещеряков, Н. П. Уланова, Л. В. Карманова, А. Л. Ширін. *Гірнича електромеханіка та автоматика: Науково-технічний збірник*, 2017. вип. 99. С. 46–51.
4. Мещеряков Л. І. Інтелектуальна діагностика бурових комплексів. Сб. науч. трудов НГАУ. Дніпропетровськ, 2007. № 29. С. 132–141.

REFERENCES:

1. Piwniak, G. G., Kaliski, M., Zieba, A., Mieszczerekow, L. J., Dudla M. A. (2004). Diagnostyka urzadzen wiertniczych. Krakow, Dniepropietrowsk, 174 с.
2. Meshcheryakov, L. I. (2019). Analytychne ta proqramne zabezpechennia enerhetychnoho diahnostuvannia hirnychkykh kompleksiv na osnovi momentnykh funktsii [Analytical and program for ensuring energy diagnostics of hydraulic complexes based on moment functions]/ L. I. Meshcheryakov, O. M. Galushko, O. I. Sirotkina, S. D. Prihodchenko. *Girnych electrical engineering and automation: Scientific and technical collection*, VIP. 101. P. 29–38. [in Ukrainian].
3. Meshcheryakov, L. I. (2017). Statystychni momentni zviazky informatsiinykh syhnaliv v systemakh rozpiznavannia [Statistical momentary connections of information signals in recognition systems]/ L. I. Meshcheryakov, N. P. Ulanova, L. V. Karmanova, A. L. Shirin / *Girnych electrical engineering and automation: Scientific and technical collection*, VIP. 99. P. 46–51. [in Ukrainian].
4. Meshcheryakov, L. I. (2007). Intelktualna diahnostyka burovyykh kompleksiv [Intelligent diagnostics of drilling complexes]. L. I. Meshcheryakov. Sat. science works of NSAU. Dnipropetrovsk, No. 29. P. 132–141. [in Ukrainian].