

В. П. Лисечко<sup>1</sup>, К. А. Трубочанінова<sup>2</sup>, О. С. Жученко<sup>2</sup>, Г. В. Шубіна<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

<sup>2</sup> Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

## БАГАТОРІВНЕВА ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ МНОЖИННОГО ДОСТУПУ З КОДОВИМ РОЗДІЛЕННЯМ

**Анотація.** **Актуальність.** Для оцінювання ефективності системи множинного доступу з кодовим розділенням, зокрема на основі ансамблів різноенергетичних складних сигналів, необхідна узагальнена модель, яка впорядковує рівневі показники ефективності та задає функціональні зв'язки між ними. **Об'єкт дослідження:** показники ефективності та функціональні зв'язки між ними в системі множинного доступу з кодовим розділенням. **Мета статті:** розробити багаторівневу функціональну модель показників ефективності системи множинного доступу з кодовим розділенням на основі апарату системного та функціонального аналізу та показати можливість одержання узагальненої оцінки ефективності системи множинного доступу з кодовим розділенням. **Результати дослідження.** Розроблено багаторівневу функціональну модель показників ефективності системи множинного доступу з кодовим розділенням, яка визначає правила функціонально-рівневої декомпозиції. У межах моделі показники впорядковуються за ступенем узагальнення оцінок ефективності, кожному ступеню узагальнення відповідає рівень моделі, а зв'язки між показниками визначаються функціоналами відповідних рівнів. Кожен рівень моделі формує одну числову оцінку ефективності, а за наявності кількох функціоналів у межах одного рівня показник ефективності цього рівня визначається їх композицією. **Висновки.** Запропоновано варіант рівневої будови моделі з виділенням енергетичного, структурного, потужнісно-каналного та системного рівнів. Енергетичний рівень пов'язано з показником енергетичної справедливості, структурний рівень - з показником структурної ефективності, потужнісно-каналний рівень - з відношенням енергії корисного сигналу до сумарної енергії завад множинного доступу та шуму, а системний рівень - з узагальненим показником ефективності системи.

**Ключові слова:** комп'ютерна система; складний сигнал; показник ефективності; багаторівнева функціональна модель; функціонал; енергетичний рівень; структурний рівень; потужнісно-каналний рівень; системний рівень.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Оцінювання ефективності системи множинного доступу з кодовим розділенням належить до задач аналізу складної системи, ефективність функціонування якої характеризується сукупністю взаємопов'язаних показників. Для системи множинного доступу з кодовим розділенням, зокрема на основі ансамблів різноенергетичних складних сигналів, такі показники можуть відображати структурно-енергетичні властивості ансамблю сигналів, властивості каналу зв'язку та інші параметри, істотні для конкретної задачі оцінювання. Тому потрібна багаторівнева функціональна модель, яка впорядковує такі показники, визначає функціональні зв'язки між ними та дає змогу одержати узагальнений показник ефективності для систем множинного доступу з кодовим розділенням на основі ансамблів як різноенергетичних, так і різноенергетичних складних сигналів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Перспективним напрямом розвитку надширококутних систем доступу є застосування імпульсних складних сигналів. Прямим наслідком розвитку надширококутних систем доступу з імпульсними сигналами є перехід до систем множинного доступу з кодовим розділенням, що дасть змогу забезпечити гарантований одночасний доступ певної кількості користувачів. Для такого переходу потрібні відповідні ансамблі імпульсних складних сигналів. У [1] запропоновано ансамблі періодичних імпульсних послідовностей з мінімальною енергетичною взаємодією, для яких при довірливих часових зсувах відбувається не більше одного суміщення імпульсів. Характерною особливістю таких

ансамблів є конструктивна різноенергетичність, що ускладнює пряме оцінювання ефективності ансамблів різноенергетичних сигналів через різні внески заважачих сигналів у завади множинного доступу для окремого користувача. У [2] для оцінювання ефективності ансамблів різноенергетичних складних сигналів запропоновано застосовувати еквівалентні перетворення, які дозволяють наближено представити ансамбль різноенергетичних складних сигналів умовним ансамблем різноенергетичних сигналів, еквівалентним вихідному ансамблю за сумарною енергією сигналів, що забезпечує можливість застосування існуючих співвідношень для оцінки ефективності ансамблів різноенергетичних сигналів до ансамблів різноенергетичних сигналів.

Оцінювання ефективності системи множинного доступу з кодовим розділенням не вичерпується оцінюванням структурно-енергетичних властивостей ансамблів різноенергетичних складних сигналів. Для одержання узагальненої оцінки ефективності системи необхідна побудова узагальненої моделі, яка відображає функціональні зв'язки між окремими показниками ефективності. Для цього скористаємось апаратом системного та функціонального аналізу [3–5], що дозволяє представити такі зв'язки у виді багаторівневої функціональної моделі показників ефективності системи множинного доступу з кодовим розділенням [6, 7].

**Метою роботи** є розробка багаторівневої функціональної моделі показників ефективності системи множинного доступу з кодовим розділенням, що дає можливість одержання узагальненої оцінки ефективності системи множинного доступу з кодовим розділенням.

## Основний матеріал

Розглянемо показники ефективності системи множинного доступу з кодовим розділенням як числові величини, що визначаються функціоналами, тобто відображеннями множин, елементами яких є числові величини, функції, функціонали, вектори або матриці, у числову величину.

Якщо задати функціональні зв'язки між показниками, визначивши одні показники через інші шляхом композиції функціоналів, якими задаються ці показники, то множину таких показників можна впорядкувати за ступенем узагальнення одержуваних оцінок ефективності й поставити цим ступеням у відповідність рівні багаторівневої моделі показників ефективності, причому таке впорядкування будемо називати функціонально-рівневою декомпозицією.

Багаторівневу функціональну модель показників ефективності системи множинного доступу з кодовим розділенням визначимо як упорядковану за ступенем узагальнення оцінок ефективності множину рівнів, кожному з яких поставлено у відповідність функціонали показників ефективності.

Установимо, що кожен рівень багаторівневої функціональної моделі визначає одну оцінку ефективності, яка є числовою величиною. Якщо в межах рівня задано кілька функціоналів показників ефективності, то показник ефективності рівня визначається композицією таких функціоналів без обмежень щодо виду композиції.

Для моделі з кількістю рівнів  $N$  номер рівня позначимо як  $h = 1, 2, \dots, N$ , причому номер рівня  $N$  відповідає найвищому рівню моделі. Показник ефективності рівня з номером  $h$  визначимо через функціонал  $F_h$ . Для першого, тобто найнижчого, рівня показник ефективності визначимо через вектор параметрів, які надходять на цей рівень безпосередньо:

$$P_1 = F_1(C_1),$$

де  $P_1$  - показник ефективності рівня 1;  $F_1$  - функціонал рівня 1, яким задається показник ефективності рівня  $P_1$ ;  $C_1$  - вектор вхідних параметрів, які надходять на рівень 1 безпосередньо. Для рівнів з номерами  $h = 2, 3, \dots, N$  показник ефективності  $P_h$  визначимо через функціонал  $F_h$ , вхідний параметр  $Q_h$ , який визначається показником ефективності попереднього рівня  $h - 1$ , та вектор вхідних параметрів  $C_h$ , які надходять на рівень  $h$  безпосередньо:

$$P_h = F_h(Q_h, C_h), h = 2, 3, \dots, N,$$

де  $h$  - номер рівня моделі,  $h = 2, 3, \dots, N$ ;  $P_h$  - показник ефективності рівня  $h$ ;  $F_h$  - функціонал рівня  $h$ , яким задається показник ефективності  $P_h$ ;  $Q_h$  - вхідний параметр рівня  $h$ , який визначається показником ефективності попереднього рівня  $h - 1$ ;  $C_h$  - вектор вхідних параметрів, які надходять на рівень  $h$  безпосередньо;  $N$  - кількість рівнів моделі.

Вхідний параметр  $Q_h$  визначається показником ефективності попереднього рівня  $h - 1$ :

$$Q_h = P_{h-1}, h = 2, 3, \dots, N,$$

де  $Q_h$  - вхідний параметр рівня  $h$ ;  $P_{h-1}$  - показник ефективності рівня  $h - 1$ .

Оскільки показник ефективності  $P_h$  рівня  $h$  визначається показником ефективності  $P_{h-1}$  попереднього рівня  $h - 1$  та вектором  $C_h$ , то є справедливим спрощений вираз:

$$P_h = F_h(P_{h-1}, C_h), h = 2, 3, \dots, N.$$

Отже, для рівня  $h$  визначено показник ефективності  $P_h$  через функціонал  $F_h$ , вхідний параметр  $Q_h$  та вектор вхідних параметрів  $C_h$ , які можуть надходити на рівень безпосередньо.

Введена вище багаторівнева функціональна модель показників ефективності задає правила функціонально-рівневої декомпозиції: показники впорядковуються за ступенем узагальнення оцінок ефективності, кожному ступеню узагальнення ставиться у відповідність рівень моделі, а зв'язки між показниками задаються функціоналами відповідних рівнів. Кожен рівень моделі визначає одну оцінку ефективності як числову величину, а за наявності кількох функціоналів у межах одного рівня показник ефективності цього рівня задається композицією таких функціоналів без обмежень щодо виду композиції.

Кількість рівнів моделі може бути визначена потребами розв'язання задач оцінки ефективності, синтезу або оптимізації з урахуванням мінімально необхідного рівня деталізації, достатнього для розв'язання відповідної задачі. Для відображення структурно-енергетичних властивостей ансамблів складних сигналів, впливу каналу зв'язку та одержання узагальненої оцінки ефективності системи множинного доступу з кодовим розділенням, з урахуванням уведених у роботу показника енергетичної справедливості та показника структурної ефективності, виділимо енергетичний, структурний, потужнісно-каналний та системний рівні, що утворюють чотирирівневу модель показників ефективності. Відповідність між рівнями, показниками ефективності та функціоналами чотирирівневої моделі визначимо співвідношеннями:

$$P_1 = P_{EN}, F_1 = F_{EN}, P_2 = P_{STR}, F_2 = F_{STR}, \\ P_3 = P_{CHP}, F_3 = F_{CHP}, P_4 = P_{SYS}, F_4 = F_{SYS},$$

де  $P_{EN}$  - показник ефективності енергетичного рівня;  $F_{EN}$  - функціонал енергетичного рівня;  $P_{STR}$  - показник ефективності структурного рівня;  $F_{STR}$  - функціонал структурного рівня;  $P_{CHP}$  - показник ефективності потужнісно-каналного рівня;  $F_{CHP}$  - функціонал потужнісно-каналного рівня;  $P_{SYS}$  - показник ефективності системного рівня;  $F_{SYS}$  - функціонал системного рівня.

Функціональні зв'язки між рівнями чотирирівневої моделі запишемо у виді:

$$P_{EN} = F_{EN}(C_{EN}), P_{STR} = F_{STR}(P_{EN}, C_{STR}),$$

$$P_{CHP} = F_{CHP}(P_{STR}, C_{CHP}), P_{SYS} = F_{SYS}(P_{CHP}, C_{SYS}),$$

де  $C_{EN}$ ,  $C_{STR}$ ,  $C_{CHP}$ ,  $C_{SYS}$  - вектори параметрів, які надходять безпосередньо відповідно на енергетичний, структурний, потужнісно-каналний та системний рівні. Вектори параметрів  $C_{EN}$ ,  $C_{STR}$ ,  $C_{CHP}$  визначимо як

$$C_{EN} = ((E_1, E_2, \dots, E_L), L), \\ C_{STR} = (L, R_{max}^2), C_{CHP} = (N),$$

де  $N$  - параметр потужнісно-каналного рівня, що визначається моделлю каналу зв'язку;  $L$  - об'єм ансамблю;  $R_{max}^2$  - максимальне по ансамблю значення квадрата взаємної кореляції;  $E_i$  - енергія  $i$ -го сигналу ансамблю,  $i = 1, 2, \dots, L$ .

З урахуванням визначення векторів  $C_{EN}$ ,  $C_{STR}$ ,  $C_{CHP}$  функціональні зв'язки чотирирівневої моделі запишемо так:

$$\begin{aligned} P_{EN} &= F_{EN}(E_1, E_2, \dots, E_L, L), \\ P_{STR} &= F_{STR}(P_{EN}, L, R_{max}^2), \\ P_{CHP} &= F_{CHP}(P_{STR}, N), \\ P_{SYS} &= F_{SYS}(P_{CHP}, C_{SYS}) \end{aligned}$$

або безпосередньо через показники енергетичної справедливості  $\gamma_{en}^{(-)}$  та структурної ефективності  $\gamma_{str}^{(+)}$  та відношення енергії корисного сигналу до сумарної енергії завад множинного доступу та шуму SINR:

$$\begin{aligned} P_{EN} &= \gamma_{en}^{(-)}, P_{STR} = \gamma_{str}^{(+)}, \\ P_{CHP} &= F_{CHP}(\gamma_{str}^{(+)}, N) = \text{SINR}, \\ P_{SYS} &= F_{SYS}(P_{CHP}, C_{SYS}), \end{aligned}$$

Функціональний зв'язок між показниками структурної ефективності  $\gamma_{str}^{(+)}$  та енергетичної справедливості  $\gamma_{en}^{(-)}$ , а також SINR визначається таким чином:

$$\begin{aligned} \gamma_{str}^{(+)} &= F_{STR}(\gamma_{en}^{(-)}, L, R_{max}^2) = \frac{LR_{max}^2}{\gamma_{en}^{(-)}}, \\ \text{SINR} &= \frac{1}{\gamma_{str}^{(+)} + N}, N = \frac{E_N}{E_{eq}^{(+)}}, \end{aligned}$$

де  $E_N$  - енергія шуму;  $E_{eq}^{(+)}$  - енергія сигналу рівноенергетичного еквівалентного ансамблю. При цьому зв'язок показників ефективності з енергетичним еквівалентним об'ємом  $L_{eq}^{(-)}$ , структурним еквівалентним об'ємом  $L_{eq}^{(+)}$ , енергіями сигналів ансамблю  $E_i$ , енергією сигналу рівноенергетичного еквівалентного ансамблю  $E_{eq}^{(+)}$  та енергією шуму  $E_N$  має вид:

$$\begin{aligned} \gamma_{en}^{(-)} &= \frac{L_{eq}^{(-)}}{L}, \quad \gamma_{str}^{(+)} = L_{eq}^{(+)} R_{max}^2, \quad L_{eq}^{(-)} = \frac{(\sum_{i=1}^L E_i)^2}{\sum_{i=1}^L E_i^2}, \\ L_{eq}^{(+)} &= \frac{L^2 \sum_{i=1}^L E_i^2}{(\sum_{i=1}^L E_i)^2}, \quad L_{eq}^{(+)} L_{eq}^{(-)} = L^2, \quad E_{eq}^{(+)} = \frac{\sum_{i=1}^L E_i}{L_{eq}^{(+)}}. \end{aligned}$$

Таким чином, наведені співвідношення визначають чотирирівневу функціональну модель показників ефективності системи множинного доступу з кодовим розділенням, у якій поставлено у відповідність: енергетичному рівню - показник енергетичної справедливості, який відображає зосередження сумарної енергії ансамблю в обмеженій кількості сигналів ансамблю; структурному рівню - показник структурної ефективності, який відображає наближену оцінку величини нормованих завад множинного доступу; потужнісно-каналному рівню - відношення енергії корисного сигналу до сумарної енергії завад множинного доступу та шуму, яке є композицією функціоналів енергетичного та структурного рівнів; системному рівню - функціонал, що визначає показник ефективності системного рівня відповідно до поставленої задачі і є композицією функціоналів енергетичного, структурного та потужнісно-каналного рівнів.

ної задачі і є композицією функціоналів енергетичного, структурного та потужнісно-каналного рівнів. Отже, модель упорядковує введені в роботу показники ефективності за рівнями та задає функціональний перехід між рівневими показниками, що створює основу для подальшого визначення мінімально необхідного рівня деталізації в межах уведеної чотирирівневої моделі при розв'язанні задач оцінки ефективності, синтезу або оптимізації.

## Висновки

Запропоновано багаторівневу функціональну модель показників ефективності системи множинного доступу з кодовим розділенням з виділенням енергетичного, структурного, потужнісно-каналного та системного рівнів. У межах моделі задано відповідність між рівнями, показниками ефективності та функціоналами, а також встановлено функціональні зв'язки між показниками ефективності рівнів моделі.

Встановлено основні правила побудови багаторівневої функціональної моделі: кожен рівень моделі визначає одну оцінку ефективності, яка є числовою величиною; показник ефективності рівня задається функціоналом відповідного рівня; для найнижчого рівня показник ефективності визначається через вектор параметрів, які надходять на зазначений рівень безпосередньо; для рівнів, наступних після найнижчого, показник ефективності визначається через показник ефективності попереднього рівня та вектор параметрів, які надходять на відповідний рівень безпосередньо; якщо в межах одного рівня задано кілька функціоналів, показник ефективності зазначеного рівня визначається композицією таких функціоналів без обмежень щодо виду композиції.

У багаторівневій функціональній моделі показників ефективності системи множинного доступу з кодовим розділенням поставлено у відповідність: енергетичному рівню - показник енергетичної справедливості, який відображає зосередження сумарної енергії ансамблю в обмеженій кількості сигналів ансамблю; структурному рівню - показник структурної ефективності, який відображає наближену оцінку величини нормованих завад множинного доступу; потужнісно-каналному рівню - відношення енергії корисного сигналу до сумарної енергії завад множинного доступу та шуму, яке є композицією функціоналів енергетичного та структурного рівнів; системному рівню - функціонал, що визначає показник ефективності системного рівня відповідно до поставленої задачі і є композицією функціоналів енергетичного, структурного та потужнісно-каналного рівнів.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів стосовно даного дослідження, в тому числі фінансового, особистісного характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в даній статті.

**Використання засобів штучного інтелекту.** Автори підтверджують, що не використовували технології штучного інтелекту при створенні представленої роботи.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Indyk S. V., Lysechko V. P., Zhuchenko O. S., Kitov V. S. The Formation Method of Complex Signals Ensembles by Frequency Filtration of Pseudo-Random Sequences with Low Interaction in the Time Domain. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020. No. 4. P. 7–14. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-4-1>
2. Zhuchenko O., Panchenko S., Lysechko V., Indyk S. Methodology of Equivalent Transformations of Unequal-Energy Complex Signal Ensembles in Code-Division Multiple Access Systems. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2026. Вип. 62. С. 337–345. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2026-62-38>. URL: <https://cit.lntu.edu.ua/index.php/cit/article/view/884>.
3. Ладанюк А. П., Смітюх Я. В., Власенко Л. О., Заєць Н. А., Ельперін І. В. Системний аналіз складних систем управління : навчальний посібник. Київ : НУХТ, 2013. 274 с. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/13508>
4. Ніколасв О. Г., Рвачова Т. В., Соловійов О. І. Функціональний аналіз : навчальний посібник. Харків : Національний аерокосмічний університет “ХАІ”, 2020. URL: <https://dspace.library.khai.edu/xmlui/handle/123456789/8128>.
5. Мокін Б. І., Мокін В. Б., Мокін О. Б. Функціональний аналіз, адаптований до прикладних задач в галузі інформаційних технологій : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2020. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/34634>
6. Panchenko S. V., Lysechko V. P., Zhuchenko O. S., Indyk S. V. Multi-Level Functional Model of Performance Indicators for Ultra-Wideband Code Division Multiple Access Systems. *Сучасні наукові парадигми: інтеграція знань і технологій : матеріали науково-практичної конференції, м. Вінниця, 26–27 грудня 2025 р. Одеса : Видавництво «Молодий вчений», 2025. С. 121–123. URL: <https://molodyvchanyi.ua/omp/index.php/conference/catalog/view/164/2843/5903-1>.*
7. Лисечко В. П., Жученко О. С., Індик С. В. Система показників ефективності ансамблів різноенергетичних складних сигналів для надширокопосмугових систем множинного доступу з кодовим розділенням. Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління : тези доповідей шістнадцятої міжнародної науково-технічної конференції, 29–30 квітня 2026 р. : у 5 т. Т. 5 : секція 6. Баку ; Харків ; Жиліна, 2026. С. 65–68. DOI: <https://doi.org/10.32620/ICT.26.15>.

Received (Надійшла) 14.02.2026

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.04.2026

Publication date (Дата публікації) 22.05.2026

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

**Лисечко Володимир Петрович** – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;

**Volodymyr Lysechko** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [lysechko@kart.edu.ua](mailto:lysechko@kart.edu.ua); ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0002-1520-9515>.

**Трубчанінова Карина Артурівна** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна;

**Karyna Trubchaninova** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Transport Communication, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [tka2@ukr.net](mailto:tka2@ukr.net); ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0003-2078-2647>.

**Жученко Олександр Сергійович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна;

**Oleksandr Zhuchenko** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Transport Communication, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [n030201@gmail.com](mailto:n030201@gmail.com); ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0003-3275-810X>.

**Шубіна Галина Валеріївна** – навчальний відділ, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;

**Halyna Shubina** – Education Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [gshubina105@gmail.com](mailto:gshubina105@gmail.com); ORCID Author ID: <https://orcid.org/0009-0006-9895-7987>.

**Multi-level functional model of performance indicators of a code division multiple access system**

Volodymyr Lysechko, Karyna Trubchaninova, Oleksandr Zhuchenko, Halyna Shubina

**Abstract. Relevance.** To evaluate the efficiency of a code division multiple access system, in particular one based on ensembles of different-energy complex signals, a generalized model is needed. Such a model orders level performance indicators and defines functional relations between them. **Object of research:** performance indicators and functional relations between them in a code division multiple access system. **Purpose of the article:** to develop a multi-level functional model of performance indicators of a code division multiple access system using the tools of system analysis and functional analysis, and to show the possibility of obtaining a generalized efficiency estimate for a code division multiple access system. **Research results.** A multi-level functional model of performance indicators of a code division multiple access system has been developed. The model defines the rules of functional-level decomposition. Within the model, indicators are ordered by the degree of generalization of efficiency estimates, each degree of generalization corresponds to a model level, and relations between indicators are defined by the functionals of the corresponding levels. Each model level forms one numerical efficiency estimate. If several functionals are defined within one level, the performance indicator of this level is defined by their composition. **Conclusions.** A variant of the level structure of the model is proposed with energy, structural, power-channel and system levels. The energy level is related to the energy fairness indicator, the structural level is related to the structural efficiency indicator, the power-channel level is related to the ratio of useful signal energy to the total energy of multiple access interference and noise, and the system level is related to the generalized system performance indicator.

**Keywords:** computer system; complex signal; performance indicator; multi-level functional model; functional; energy level; structural level; power-channel level; system level.