

## ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СКЛАДНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ З ПОЗИЦІЙ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ

Давиденко В. А., Давиденко Л. В.

*Луцький національний технічний університет*

*Запропоновано процедуру комплексного оцінювання рівня енергоефективності складних виробничих систем, що спирається на побудову ієрархічної системи критеріїв оцінювання.*

**Постановка проблеми.** Питання підвищення рівня ефективності використання ПЕР є предметом досліджень на різних рівнях енерговикористання. Його вирішення можливе за умови структурованого та комплексного підходу до оцінювання рівня енергоефективності будь-яких виробничих об'єктів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Рівень енергоефективності складної виробничої системи (СВС) є функцією сукупності різних факторів, що впливають на її стан та визначають ефективність її функціонування. Одним із способів оцінювання рівня енергоефективності групи однотипних об'єктів є визначення рейтингу об'єкту на основі багатомірного порівняння [1] з урахуванням істотних показників енергоефективності. Проте, рівень енергоефективності СВС також залежить від рівня енергоефективності її ієрархічних рівнів; її вихідного стану та ефективності функціонування; ефективності використання природних ресурсів, устаткування, енергії; ефективності процесів оптимізації, планування та управління [2]:

$$V_{ef} = f \left\{ \begin{array}{l} (\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_j) \\ (V_{ef1}, V_{ef2}, \dots, V_m) \\ (V_{ef, \text{викор.рес.}}, V_{ef, \text{викор.устатк.}}, V_{ef, \text{викор.енергії}}) \\ (V_{ef, \text{стану}}, V_{ef, \text{функціонування}}) \\ (V_{ef, \text{оптимізації}}, V_{ef, \text{планування}}, V_{ef, \text{управління}}) \end{array} \right. , \quad (1)$$

Оцінювання рівня енергоефективності СВС на базі (1) дає змогу визначити найбільш "слабкі" місця в структурі СВС, скласти набір першочергових дій для його підвищення [2]. Такий підхід вимагає використання багатьох критеріїв, кількісну характеристику яких не завжди легко здійснити. Тому, виникає потреба пошуку способів оцінювання рівня енергоефективності, які б забезпечували можливість комплексного урахування критеріїв оцінювання згідно (1).

**Мета статті.** Підвищення результативності процедури оцінювання рівня енергоефективності СВС та інформативності отриманих результатів на основі комплексного урахування критеріїв оцінювання.

**Основні матеріали дослідження.** Для оцінювання рівня енергоефективності з урахуванням (1) доцільно виконати класифікацію можливих станів СВС та її об'єктів за окремими класифікаційними характеристиками енергоефективності. Класифікація об'єктів СВС, які описуються великою кількістю характеристик, є складною. Необхідним є використання спеціальних методів обробки інформації, які б забезпечували розв'язок багатокритерійної класифікації в просто-

рі великої розмірності. Для багатокритерійної класифікації існують спеціальні методи [3], що використовують вербальний опис градацій на шкалах критеріїв. Одним з них є метод багатокритерійної порядкової класифікації ПАКС (Послідовне Агрегування Класифіковуваних Станів) [4], що містить два етапи. На першому - здійснюється зниження розмірності ознакового простору шляхом побудови ієрархічної системи складових критеріїв, причому, складовий критерій кожного рівня визначає вибрану властивість, що агрегує вихідні характеристики. На другому – виконується розв'язок задачі класифікації станів об'єкту з використанням побудованих (агрегованих) критеріїв.

Нехай,  $G$  - властивість, що характеризує рівень енергоефективності;  $K = K_1, K_2, \dots, K_N$  - множина критеріїв (класифікаційних характеристик), за якими оцінюється стан об'єкту з точки зору вираженості властивості  $G$ ;  $X_q = \{x_q^k\}$  для  $q = 1, \dots, N$  - множина оцінок (шкала) за критерієм  $K_q$ , впорядкованих за зростанням характерності для властивості  $G$ ;  $|X_q| = S_q$ ,  $S_q$  - кількість градацій (значень оцінок) на шкалі критерію  $K_q$ ;  $Y = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_N$  - декартовий добуток шкал критеріїв, що визначає множину всіх можливих описів об'єктів, тобто, простір станів об'єктів, що підлягають класифікації;  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_M\}$  - множина класів розв'язків, оцінених за багатьма критеріями та впорядкованих за вираженістю властивості  $G$  [3].

Кожен стан об'єкту описується набором оцінок за критеріями  $K_1, \dots, K_N$  та представляється у вигляді кортежу (векторної оцінки):

$$y_j = (y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{jN}), \quad (2)$$

де  $y_{jq} \in X_q$ ,  $j = 1, \dots, S$  та загальна кількість комбінацій оцінок за  $N$  критеріями, що мають по  $S_q$  градацій на своїх шкалах, складає:

$$S = |Y| = \prod_{q=1}^N S_q . \quad (3)$$

Множину векторних оцінок  $Y_i$  доцільно ототожнювати з класом  $C_i$ . Необхідно побудувати відображення множини допустимих станів об'єктів  $Y^a$  на множину класів  $C$ :

$$F : Y^a \rightarrow C, \quad (4)$$

тобто, необхідно рознести всі можливі комбінації оцінок до заданих класів  $C_1, C_2, \dots, C_M$ , що задовольняють властивість непротиріччя:

$$y_i \in Y_i, y_j \in Y_j, (y_i, y_j) \in Q \Rightarrow (C_i, C_j) \in Q_C \Rightarrow i \leq j, \quad (5)$$

тобто, об'єкт з більш характерним для властивості  $G$  набором оцінок не може належати до класу, що відповідає меншій вираженості властивості  $G$  [3].

Зважаючи на багатогранність задачі (1), спочатку необхідно визначитися з глибиною та напрямком дослідження: усвідомити для якого рівня проводиться оцінювання; з'ясувати перелік можливих підзадач. Це забезпечить правильне формування базових характеристик енергоефективності та їх вербальних оцінок; об'єднання базових характеристик в складові критерії та побудову ієрархічної системи критеріїв.

Виходячи з постановки задачі, формується набір базових класифікаційних характеристик енергоефективності, які мають вербальні оцінки. Спираючись на досвід ОПР, базові характеристики об'єднуються в складові критерії, що також мають вербальні порядкові шкали [3] з невеликою кількістю градацій. ОПР визначає кількість, склад та зміст критеріїв кожного рівня ієрархії процедури агрегування характеристик.

Критерії повинні мати такі шкали оцінок, які будуть відображати агреговані властивості об'єктів та будуть зрозумілими ОПР при класифікації. Початкову множину альтернатив доцільно описувати базовими показниками, що мають шкали з двома або трьома вербальними оцінками 0,1,2, де 0 - краща оцінка, 1 - середня, 2 - гірша. Використання більшої кількості оцінок ускладнює розуміння процедури агрегування.

Для зниження розмірності вихідного простору класифікаційних характеристик необхідно є побудова ієрархічної системи критеріїв, в якій різні комбінації вихідних характеристик агрегуються в менші набори нових ознак - складових критеріїв. Процедура побудови шкали складових критеріїв складається з послідовних однотипних блоків. Кожний блок класифікації  $i$ -го рівня ієрархії складається з одного складового критерію і деякого набору його ознак. Як об'єкти класифікації виступають всі градації оцінок на шкалі ознак. Градація шкали кожного складового критерію є комбінацією оцінок вихідних класифікаційних характеристик, які він агрегує. Класами рішень  $i$ -го рівня виступають градації оцінок на шкалі складового критерію. В блоці класифікації  $(i+1)$ -го рівня ієрархії складові критерії  $i$ -го рівня вважаються ознаками, множина градацій оцінок яких є новими об'єктами класифікації в скороченому ознаковому просторі, а класами рішень будуть градації оцінок на шкалі складового критерію  $(i+1)$ -го рівня, і так доти, доки не залишиться складовий критерій верхнього рівня, шкала оцінок якого утворює впорядковані класи рішень  $C_1, \dots, C_q$ , де  $q$  - число класів [4].

Для побудови шкали складового критерію доцільно скористатися методом стратифікації кортежів [5], який є евристичним методом конструювання по-

рядкової шкали для складового критерію і заснований на перетині багатовимірною ознакового простору паралельними гіперплощинами (стратифікація кортежів) [4]. Кожний шар (страта), що складається з однотипних комбінацій базових показників, представляє одну з оцінок складового критерію. Число перетинів (оцінок) визначається ОПР. Кожний шар утворюється як комбінація кортежів оцінок шкал  $X_1$ , сума яких фіксована. Для здійснення класифікації за рівнем енергоефективності на основі оцінювання за деякими класифікаційними характеристиками необхідним є введення градації шкали критеріїв - кращі, гірші та проміжні оцінки, причому, в результаті агрегування всі можливі комбінації кращих оцінок дають одну кращу оцінку, гірших - одну гіршу, а решта - одну середню оцінку. Схеми формування градацій шкали для складових критеріїв наведено на рис. 1.

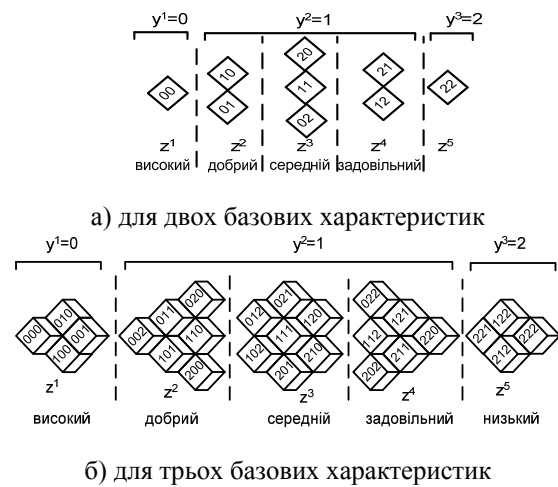


Рисунок 1 - Формування градацій шкали

Здійснимо побудову ієрархічної системи критеріїв для класифікації можливих станів системи водопостачання згідно (1): рівень ефективності енерговикористання визначається рівнем енергоефективності стану та енергоефективності функціонування об'єкту. ОПР вибрано 16 базових характеристик енергоефективності, для кожної з яких сформовано шкалу з трьох оцінок  $\{0,1,2\}$ , що мають відповідний вербальний опис: K1 - зношеність обладнання; K2 - відповідність проектних рішень; K3 - рівень використання потужності встановленого насосного обладнання; K4 - рівень оснащення приладами обліку електроенергії; K5 - рівень оснащення пристроями регулювання продуктивності насосних агрегатів; K6 - герметичність обладнання; K7 - рівень оснащення приладами обліку води; K8 - ступінь використання продуктивності насосного обладнання; K9 - витрати на технологічні потреби; K10 - рівень втрат води; K11 - рівень питомого електроспоживання процесу водопостачання; K12 - рівень питомого електроспоживання насосних станцій; K13 - ступінь використання потужності працюючих насосних агрегатів насосних станцій; K14 - ступінь управління режимом електроспоживання; K15 - управління режимом роботи насосних станцій; K16 - планування режиму роботи.

Введемо складові критерії першого рівня  $Y_{efk1}, \dots, Y_{efkm}$ , які агрегуватимуть певні базові характеристики. Агреговані критерії першого рівня послідовно агрегуємо у критерії другого рівня  $Y_{ef1}, \dots, Y_{efk}$ . Порядок агрегування, зміст агрегованих характеристик та їх шкалу оцінок наведено в таблиці 1.

Верхній рівень складає критерій  $Y_{ef}$ , який є результатом агрегування критеріїв другого рівня і характеризує рівень енергоефективності системи водопостачання за приналежністю до певного класу енергоефективності  $C_i$ , яка визначається на основі отриманої оцінки складового критерію верхнього рівня.

Таблиця 1 - Агрегування базових характеристик енергоефективності

| Базові характеристики | I рівень агрегування |  |              | II рівень агрегування |                             |              | Верхній рівень агрегування |                           |       |
|-----------------------|----------------------|--|--------------|-----------------------|-----------------------------|--------------|----------------------------|---------------------------|-------|
|                       | Складовий критерій   | Зміст складового критерію                | Шкала оцінок | Складовий критерій    | Зміст складового критерію   | Шкала оцінок | Складовий критерій         | Зміст складового критерію | Класи |
| K1                    | $Y_{efk1}$           | Технічна ефективність стану              | {0,1,2}      | $Y_{ef.стану}$        | Ефективність стану          | {0,1,2}      | $Y_{ef.стану}$             | Рівень енергоефективності | C1    |
| K2                    |                      |  |              |                       |                             |              |                            |                           |       |
| K3                    | $Y_{efk2}$           | Енергетична ефективність стану           | {0,1,2}      |                       |                             |              |                            |                           |       |
| K4                    |                      |  |              |                       |                             |              |                            |                           |       |
| K5                    | $Y_{efk3}$           | Технологічна ефективність стану          | {0,1,2}      |                       |                             |              |                            |                           | C2    |
| K6                    |                      |  |              |                       |                             |              |                            |                           |       |
| K7                    |                      |  |              |                       |                             |              |                            |                           |       |
| K8                    | $Y_{efk4}$           | Технологічна ефективність функціонування | {0,1,2}      | $Y_{ef.функц.}$       | Ефективність функціонування | {0,1,2}      | $Y_{ef.функц.}$            | Рівень енергоефективності | C3    |
| K9                    |                      |  |              |                       |                             |              |                            |                           |       |
| K10                   |                      |  |              |                       |                             |              |                            |                           |       |
| K11                   | $Y_{efk5}$           | Енергетична ефективність функціонування  | {0,1,2}      | C4                    |                             |              |                            |                           |       |
| K12                   |                      |  |              |                       |                             |              |                            |                           |       |
| K13                   |                      |  |              |                       |                             |              |                            |                           |       |
| K14                   | $Y_{efk6}$           | Ефективність організації режиму роботи   | {0,1,2}      | C5                    |                             |              |                            |                           |       |
| K15                   |                      |  |              |                       |                             |              |                            |                           |       |
| K16                   |                      |  |              |                       |                             |              |                            |                           |       |

Оцінювання рівня енергоефективності виконується не лише за складовим критерієм верхнього рівня агрегування, градації оцінок по шкалі якого (високий, достатньо високий, середній, низький, дуже низький або незадовільний) визначають 5 впорядкованих класів рішень  $C_1, \dots, C_5$ , а й за критеріями другого рівня, для яких отримують аналогічні градації шкали оцінювання, та за критеріями першого рівня.

**Висновки.** Задачу комплексного оцінювання рівня енергоефективності СВС слід розглядати як задачу багатокритерійної класифікації за певними базовими характеристиками, які мають вербальні оцінки, що агрегуються в складові критерії вищих рівнів ієрархічної системи класифікаційних критеріїв. Це дозволяє на основі градацій шкали їх оцінок виявити належність об'єкту до одного з класів, впорядкованих за рівнем енергоефективності по кожному критерію, що не лише забезпечує визначення рівня енергоефективності СВС та її об'єктів, а й сприяє виявленню недоліків у функціонуванні СВС та її об'єктів.

#### Список використаних джерел

1. Розен В. П. Комплексне оцінювання рівня енергоефективності водогосподарств як складних виробничих систем / В. П. Розен, Л. В. Давиденко, В. А. Давиденко // "Промелектро". – 2010. - №6. – С. 20-24.
2. Давиденко Л. В. Оцінювання рівня енергоефективності об'єктів складних енерготехнологічних систем як задача багатомірного порівняння / Л. В. Давиденко, В. А. Давиденко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. Випуск 116 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ. - 2011.- С.76-78.
3. Ларичев О. И. Вербальный анализ решений / О. И. Ларичев – М.: Наука, 2006. – 181 с.

4. Петровский А. Б. Интерактивная процедура снижения размерности признакового пространства в задачах многокритериальной классификации / А. Б. Петровский, Г. В. Ройзензон // Труды ИСА РАН. – 2008. – Т.35. – С. 43-53.

5. Глотов В. А. Векторная стратификация / В. А. Глотов, В. В. Павельев. – М.: Наука, 1984. – 94 с.

#### Аннотация

### ОЦЕНКА УРОВНЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ С ПОЗИЦИЙ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

Давыденко В. А., Давыденко Л. В.

*Предложена процедура комплексной оценки уровня энергоэффективности сложных производственных систем, которая базируется на построении иерархической системы критериев оценивания.*

#### Abstract

### ASSESSMENT LEVEL ENERGY EFFICIENCY OF COMPLEX MANUFACTURING SYSTEMS WITH POSITION CLASSIFICATION MULTICRITERIAL

V. Davydenko, L. Davydenko

*The procedure of an integrated assessment of the level of energy efficiency of complex manufacturing systems, which is based on the construction of a hierarchical system of evaluation criteria.*