

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЗВО НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Вознюк Я. Ю., Тішков Б. О.

Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана
[*fehebo84@gmail.com*](mailto:fehebo84@gmail.com)

У сучасних умовах цифрова трансформація вищої освіти виступає ключовим чинником підвищення ефективності діяльності закладів вищої освіти (ЗВО), зростання конкурентоспроможності та інноваційного потенціалу. Впровадження цифрових рішень охоплює не лише технічну модернізацію, а й трансформацію педагогічних підходів, структури управління та взаємодії учасників освітнього процесу. Оцінювання ефективності цифровізації є складним і багатоаспектним завданням, що вимагає врахування як кількісних, так і якісних параметрів. У зв'язку з цим доцільним є застосування інструментарію нечіткої логіки та нечітких множин.

Запропонована модель оцінювання ефективності цифровізації побудована на основі методу, який дозволяє працювати з нечітко окресленими характеристиками через застосування лінгвістичних змінних.

Структурно модель включає сім кроків:

1. Визначення функціональних підсистем освітньої діяльності ЗВО (фінансово-економічна – X_1 , навчально-наукова – X_2 , інформаційно-технічна – X_3 , кадрова – X_4 , маркетингова – X_5) [1].

2. Вибір релевантних показників для кожної підсистеми.

Для кожної з п'яти базових підсистем виділені відповідні множини показників.

Фінансово-економічна підсистема: обсяг фінансування, витрати на обладнання, частка бюджетного фінансування досліджень.

Навчально-наукова: кількість програм, грантів, частка курсів з цифровими методами.

Інформаційно-технічна: можливості LMS, рівень автоматизації управління, частка аудиторій з мультимедійним обладнанням.

Кадрова: наукові публікації, міжнародна мобільність, патенти, студентське навантаження.

Маркетингова: участь у рейтингах, цифрова стратегія, маркетингові витрати, працевлаштування випускників.

3. Нормування показників до єдиного діапазону.

Мін-макс нормування використовується у випадках, коли вищі значення показника вважаються кращими та проводиться за формулою [2]:

$$z_i = \frac{(x_i - x_{\min})}{x_{\max} - x_{\min}}. \quad (1)$$

Зворотне мін-макс нормування використовується у випадках, коли нижчі значення показника вважаються кращими здійснюється за формулою:

$$z_i = \frac{(x_{\max} - x_i)}{x_{\max} - x_{\min}}. \quad (2)$$

4. Формування лінгвістичних змінних.

Для кожного з показників побудовані функції належності з використанням терм-множин ДН – дуже низький, Н – низький, С – середній, В – високий, ДВ – дуже високий, які позначаються: $S_{i*} = \{s_{i*}^1, s_{i*}^2, s_{i*}^3, s_{i*}^4, s_{i*}^5\} = \{s_{i*}^1 = \text{"ДН"}, s_{i*}^2 = \text{"Н"}, s_{i*}^3 = \text{"С"}, s_{i*}^4 = \text{"В"}, s_{i*}^5 = \text{"ДВ"}\}$,

де s_{i*}^p – p -й лінгвістичний терм i -ї змінної, $p = \overline{1,5}$, $i = \overline{1,5}$;

i – наскрізний номер входних лінгвістичних змінних.

Далі створена база правил для інтеграції цих термів у результуючий показник за наступною шкалою К – критичний, НЗ – незадовільний, З – задовільний, П – позитивний, які позначаються: $G = \{g^1, g^2, g^3, g^4\} = \{g^1 = \text{"П"}, g^2 = \text{"З"}, g^3 = \text{"НЗ"}, g^4 = \text{"К"}\}$,

де g^k – k -й лінгвістичний терм вихідної змінної R , $k = \overline{1,4}$.

5. Побудова функцій належності.

У моделюванні з використанням нечіткої логіки побудова функцій належності є одним із ключових етапів, оскільки саме вони визначають, наскільки значення входу належить до того чи іншого лінгвістичного терму. Найчастіше використовуються наступні типи функцій [3]:

Трикутна функція належності:

$$\mu^{s_{i*}^p}(X_i) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & x \geq c \end{cases} \quad (3)$$

де a, b, c — параметри трикутника (ліва межа, вершина, права межа).

Трапецієподібна функція належності:

$$\mu^{s_{i*}^p}(X_i) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ 1, & b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases} \quad (4)$$

де a, b, c, d — параметри трапеції.

Гаусова функція належності (опціонально):

$$\mu^{s_{i*}^p}(X_i) = e^{-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2}, \quad (5)$$

де c — центр;

σ — ширина (стандартне відхилення).

Вибір функцій належності:

Для простоти реалізації та інтерпретації використовуються трикутні або трапецієподібні функції.

6. Формування бази нечітких знань у вигляді правил типу "якщо – то".

Результат позитивного загального рівня ефективності освітньої діяльності ЗВО в аналітичній формі, можна сформулювати наступним чином:

$$\mu^{\Pi}(X_1 \dots X_5) = \mu^{DB}(X_1) \cdot \mu^{DB}(X_2) \cdot \mu^{DB}(X_3) \cdot \mu^{DB}(X_4) \cdot \mu^{DB}(X_5) \vee \\ \mu^B(X_1) \cdot \mu^B(X_2) \cdot \mu^{DB}(X_3) \cdot \mu^B(X_4) \cdot \mu^B(X_5) \vee \\ \mu^C(X_1) \cdot \mu^{DB}(X_2) \cdot \mu^B(X_3) \cdot \mu^{DB}(X_4) \cdot \mu^B(X_5), \quad (6)$$

де через $\vee$ – позначається операція логічної диз'юнкції, така що

$$\mu^{s_i^p}(X_i) \vee \mu^{s_{i+1}^p}(X_{i+1}) = \max(\mu^{s_i^p}(X_i), \mu^{s_{i+1}^p}(X_{i+1}));$$

· $(\wedge)$ – логічна кон'юнкція

$$\mu^{s_i^p}(X_i) \wedge \mu^{s_{i+1}^p}(X_{i+1}) = \min(\mu^{s_i^p}(X_i), \mu^{s_{i+1}^p}(X_{i+1})).$$

Аналогічним чином, відповідно до сформованих наборів правил, визначаються результати для решти сформованих термів.

Це дозволяє уникати різких переходів між оцінками і забезпечує гнучкість при роботі з неповними або нечіткими вхідними даними.

7. Проведення логічного виведення та визначення інтегрального показника.

Запропонована модель є уніфікованою і може застосовуватись для: внутрішнього моніторингу цифровізації ЗВО; порівняльного аналізу ефективності цифровізації між різними ЗВО; ухвалення управлінських рішень на основі інтегрального показника цифрової ефективності.

Інтегральна оцінка дозволяє відслідковувати динаміку цифровізації, виявляти слабкі ланки та коригувати розвиток цифрової інфраструктури.

Запропонована нечітка модель оцінювання ефективності цифровізації є потужним інструментом підтримки прийняття рішень у сфері вищої освіти. Вона поєднує формалізований підхід до багатовимірного аналізу з експертною логікою та адаптивністю до різних умов. Модель враховує мультикритеріальний характер цифровізації та забезпечує об'єктивне оцінювання інтегрального рівня цифрової трансформації.

Список літератури

- 1.Вознюк Я. Концептуальні положення впровадження та забезпечення цифрової освітньої діяльності закладів вищої освіти. *Modeling the development of the economic systems*. 2024. № 4. С. 281–289. URL: <https://doi.org/10.31891/mdes/2024-14-37> (дата звернення: 01.05.2025).
- 2.Henderi H. Comparison of Min-Max normalization and Z-Score Normalization in the K-nearest neighbor (kNN) Algorithm to Test the Accuracy of Types of Breast Cancer. *IJIIS: International Journal of Informatics and Information Systems*. 2021. Vol. 4, no. 1. P. 13–20. URL: <https://doi.org/10.47738/ijiis.v4i1.73> (date of access: 01.05.2025).
- 3.Sutikno T., Subrata A. C., Elkhateb A. Evaluation of Fuzzy Membership Function Effects for Maximum Power Point Tracking Technique of Photovoltaic System. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 109157–109165. URL: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3102050> (date of access: 18.05.2025).