

## ПРО ЯКІСТЬ КОНТЕНТУ ЕЛЕКТРОННИХ НАВЧАЛЬНИХ КУРСІВ У КОНТЕКСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ВІДПОВІДНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*Виконано порівняльний аналіз чотирьох методів багатокритеріального оцінювання. Проведено експерименти з оцінювання навчальних матеріалів за кожним із методів, за результатом яких виявлено слабкі та сильні сторони кожного з методів у процесі багатокритеріального оцінювання навчальних матеріалів.*

**Ключові слова:** управління якістю, критерії якості, якість навчального матеріалу, експертиза якості, багатокритеріальне оцінювання навчальних матеріалів, WSM, ANP, ELECTRE TRI, UTA.

### Вступ

Застосування середовища Інтернет як засобу навчального процесу у 90-ті роки повністю змінило концепцію дистанційного навчання у світі. Чисельність пропозицій дистанційних навчальних послуг, електронних матеріалів, навчальних електронних курсів постійно зростає. Сьогодні можна знайти достатньо велику кількість навчального матеріалу для будь-якої галузі діяльності людини. Упевнитись у цьому можна, переглянувши популярні Інтернет ресурси для онлайн навчання — Coursera, edX тощо. Ці ресурси пропонують так звані MOOC (масові відкриті онлайн-курси). Такі навчальні матеріали є вільнодоступними через мережу Інтернет і характеризуються інтерактивністю між користувачами курсу.

Будь-який навчальний матеріал має велику сукупність властивостей, які визначають його якість. Але з цієї сукупності характеристик для аналізу виділяють лише ті властивості, які в певний момент задовольняють особисті або суспільні потреби. Саме тому поняття якості навчального матеріалу завжди пов'язане зі ступенем задоволення потреб індивідууму чи суспільства.

Щоразу, коли доводиться стикатися з визначенням якості, виникають труднощі з вибором переліку властивостей і ознак, які потрібно розглядати, а також їх вимірюванням.

До поняття «якість» звертаються тоді, коли хочуть охарактеризувати або співвідношення властивостей, що відображають цінність навчального матеріалу, або співвідношення навчальних матеріалів між собою. Розглядаючи якість навчального матеріалу, основну увагу приділяють складу і співвідношенню його властивостей.

На сьогодні напрацьовано значну кількість методів багатокритеріальної оцінки альтернатив. В статті під альтернативами будуть розумітися навчальні матеріали (НМ) у контексті їх якості.

Головною метою статті є порівняльний аналіз відомих методів багатокритеріальної оцінки альтернатив у контексті оцінювання якості електронних навчальних курсів. Виявлення сильних і слабких сторін цих методів дасть можливість розробити новий метод оцінки якості електронних навчальних курсів у контексті реалізації відповідної інформаційної технології автоматизованої обробки даних.

У статті розглядається процес оцінювання НМ експертами у певній системі дистанційного навчання (СДН) [1]. СДН є веб-додатком, доступним у мережі Інтернет і який має певний набір НМ для навчання користувачів. Кожен учень протягом навчання по вибраному матеріалу може виставляти оцінку цьому матеріалу за певним набором запропонованих критеріїв. Кожний критерій має певну вагу, яка відображає значущість цього критерію на момент оцінки НМ.

Проводиться аналіз найпопулярніших методів багатокритеріальної оцінки. На вхід кожного методу подається множина НМ, множина критеріїв, за якими проводиться оцінка НМ, множина оцінок від експертів і ваги критеріїв (для тих методів, які використовують ваги). На виході маємо отримати множину НМ, відсортованих за певним показником. Ситуація, в якій має відбуватись

оцінювання НМ, критерії та ролі експертів розглядаються в роботі [2].

Порівняльний аналіз відібраних методів проводиться за такими аспектами:

— Уніфікація обчислень — можливість алгоритмізації, простота реалізації методу засобами комп'ютерних обчислень і швидкодія алгоритму.

— Ролі експертів — можливість участі у процесі оцінювання груп респондентів з різним рівнем кваліфікації за предметною галуззю.

— Корегування ваг критеріїв — можливість автоматичного коригування моделі оцінювання за зворотним зв'язком.

— Компенсування критеріями один одного — розуміється як можливість компенсувати недоліки одних критеріїв за рахунок надлишків інших.

— Тип даних (якісні дані, кількісні дані, змішанні дані) — можливість приведення якісних оцінок до кількісних для подальшої алгоритмізації.

— Спосіб виставляння оцінок — представлення результату у вигляді абсолютного значення або належності до категорії.

— Фактор часу — можливість врахування та впливу на результат нових об'ємів даних.

### Метод зваженої суми

Модель зваженої суми (Weighted sum model (WSM)) є найвідомішим і простим методом багатокритеріальної оцінки альтернатив [3]. Цей метод є компенсувальним, тобто «погані» оцінки компенсуються «добрими» оцінками. Використовується тільки тоді, коли всі об'єкти для оцінки мають однакову розмірність. Задача оцінювання альтернатив визначена на множині  $m$  альтернатив і на множині  $n$  критеріїв. Чим більше значення за певним критерієм, тим кращою вважається альтернатива серед інших за цим критерієм. Значення  $w_j$  відображає відносну вагу критерію  $C_j$  і  $a_{ij}$  є оцінкою альтернативи  $A_j$  за критерієм  $C_j$ . Інтегральна оцінка альтернативи  $A_i$  обчислюється за формулою

$$A_i = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij}, \quad i \in (1, m). \quad (1)$$

Найкращою вважається та альтернатива, що отримає найбільше значення за формулою (1).

Оцінки від одного експерта по трьох НМ за десятьма критеріями  $C_i$ ,  $i \in (1, 10)$  наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Оцінки від одного експерта по трьох НМ за 10 критеріями

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$
$w_j$	7	7	8	3	3	8	5	5	5	6
НМ <sub>1</sub>	2	5	7	3	7	5	8	6	2	9
НМ <sub>2</sub>	1	2	1	2	1	2	3	2	1	2
НМ <sub>3</sub>	2	3	4	2	2	3	4	3	3	2

Використовуючи формулу (1) та дані табл. 1, проведено обчислення оцінок кожного навчального матеріалу одного експерта. Результат ранжування у графічному вигляді показано на рис. 1.

Аналізуючи отримані дані, можна стверджувати, що навчальний матеріал 1 отримав найбільшу оцінку і займає перше місце в рейтингу, а навчальний матеріал 2 отримав найменшу оцінку і займає останнє місце в рейтингу.

Перевагою методу є простота застосування. Головними недоліками методу є неможливість врахування різних ролей експертів, відсутність можливості корегувати ваги критеріїв. Метод охарактеризовано за запропонованими критеріями і результат подано у табл. 2.

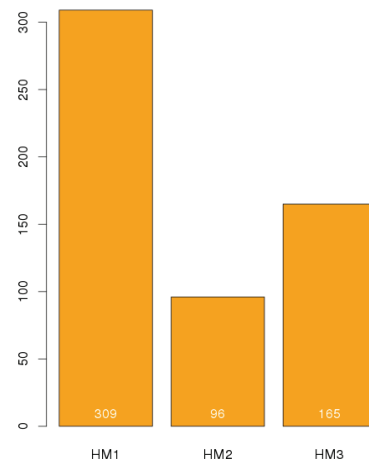


Рис. 1. Оцінки навчальних матеріалів за допомогою моделі зважених сум (WSM)

Характеристика методу зваженої суми

	Уніфікація обчислень	Ролі експертів	Корегування ваг критеріїв	Компенсування критеріями один одного	Тип даних	Спосіб виставлення оцінок	Фактор часу
Метод зваженої суми	Так	Ні	Ні	Компенсує	Змішанні дані	Абсолютна оцінка	Відсутній

### Метод аналізу ієрархій

Метод аналізу ієрархій (МАІ) призначений для вирішення багатокритеріальних задач з кінцевою множиною можливих векторів. Його застосування ґрунтується на експертній інформації про відносні важливості критеріїв у вигляді матриці парних порівнянь.

МАІ базується на багатокритеріальному описі проблеми. Запропоновував і детально описав його Т. Сааті в роботі [4]. У методі використовується дерево критеріїв, у якому спільні критерії поділяються на критерії часткового характеру. Для кожної групи критеріїв визначаються коефіцієнти важливості. Альтернативи також порівнюються між собою за окремими критеріями з метою визначення відносної важливості кожної з них. Засобом визначення коефіцієнтів важливості критеріїв або критеріальною цінністю альтернатив є попарне порівняння. Результат порівняння оцінюється за бальною шкалою. На основі таких порівнянь обчислюються коефіцієнти важливості критеріїв, оцінки альтернатив і знаходиться загальна оцінка як зважена сума оцінок критеріїв.

Проведемо порівняльний аналіз трьох навчальних матеріалів за методом МАІ. Початкові дані такі:

*Мета:* ранжування навчальних матеріалів за оцінками.

*Критерії:* змістовність викладок, зрозумілість викладок, якість оформлення, адаптованість до електронного навчання, покриття навчального матеріалу тестами, використання мультимедійного контенту, відповідність сучасному рівню розвитку науки, відповідність навчальній дисципліні, грамотність, якість формулювання тестів.

*Альтернативи:* 3 навчальні матеріали.

Попарне порівняння виконано за 10 критеріями з метою виявлення відношення між ними (табл. 3). За наявності декількох експертів така процедура виконується кожним експертом окремо.

Таблиця 3

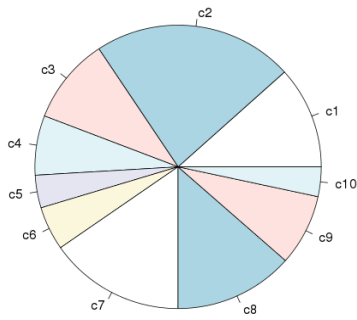
Попарне порівняння критеріїв

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$
$C_1$	1	0,25	2	3	5	2	0,33	0,5	2	5
$C_2$	4	1	4	2	5	4	3	2	1	5
$C_3$	0,5	0,25	1	1	3	2	2	1	1	3
$C_4$	0,33	0,5	1	1	1	2	0,33	0,5	1	2
$C_5$	0,2	0,2	0,33	1	1	0,5	0,25	0,33	0,5	1
$C_6$	0,5	0,25	0,5	0,5	2	1	0,25	0,33	0,5	2
$C_7$	3	0,33	0,5	3	4	4	1	2	2	4
$C_8$	2	0,5	1	2	3	3	0,5	1	3	4
$C_9$	0,5	1	1	1	2	2	0,5	0,33	1	2
$C_{10}$	0,2	0,2	0,33	0,5	1	0,5	0,25	0,25	0,5	1

За формулою (2) розраховано вектор  $X$  відносних ваг критеріїв, показаний на діаграмі (рис. 2):

$$x_j = \frac{\sum_{k=0}^i a_{kj}}{\sum_{l=0}^j a_{il}}, \quad (2)$$

де  $a_{ij}$  — елемент матриці  $A$ , оцінка альтернативи  $A_j$  за критерієм  $C_j$  (табл. 3).



$$X = (0,12, 0,23, 0,1, 0,07, 0,04, 0,05, 0,15, 0,14, 0,08, 0,03)$$

Рис. 2. Вектор  $X$  відносних ваг критеріїв

Розраховано власні вектори, за формулою 2, для трьох навчальних матеріалів за 10 критеріями. Результати подано у вигляді графіків (рис. 3).

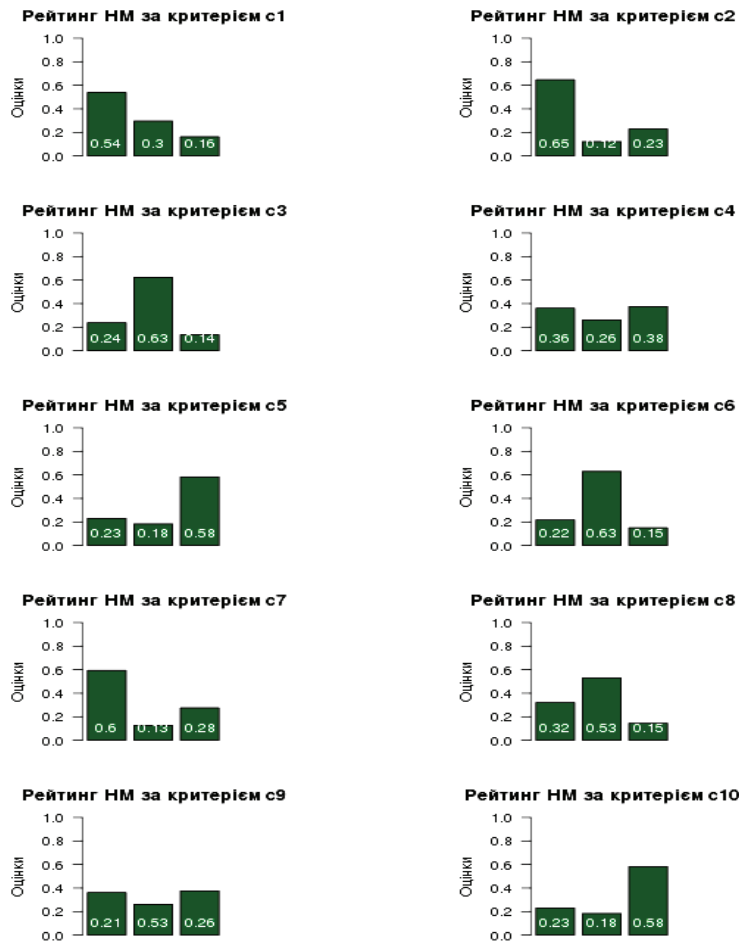


Рис. 3. Рейтинг трьох навчальних матеріалів за 10 критеріями згідно методу МАІ

Розраховано остаточний рейтинг навчальних матеріалів множенням матриці  $C$  з оцінками експертів за критеріями (табл. 4) на вектор  $X$  з відносними вагами критеріїв та отримано вектор  $Y$ .

$$Y = C \cdot X. \tag{3}$$

Таблиця 4

Матриця з оцінками експертів за критеріями

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$
HM <sub>1</sub>	0,54	0,65	0,24	0,36	0,23	0,22	0,60	0,32	0,21	0,23
HM <sub>2</sub>	0,30	0,12	0,63	0,26	0,18	0,63	0,13	0,53	0,53	0,18
HM <sub>3</sub>	0,16	0,23	0,14	0,38	0,58	0,15	0,28	0,15	0,26	0,58

Вектор  $Y$ : 0,12, 0,23, 0,10, 0,07, 0,04, 0,05, 0,15, 0,14, 0,08, 0,03.

В результаті отримаємо остаточний рейтинг для трьох НМ (рис. 4).

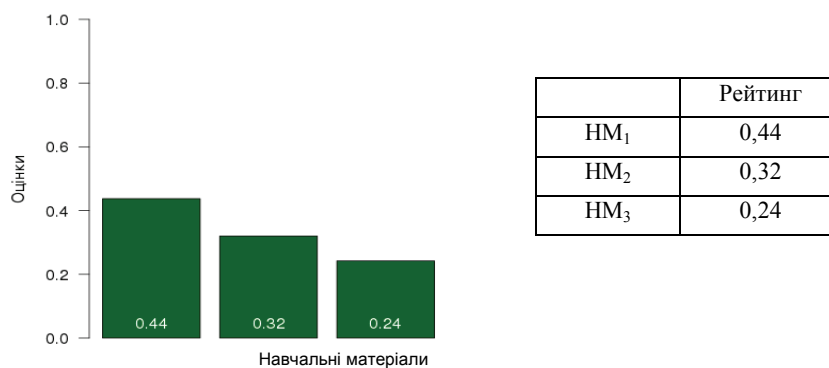


Рис. 4. Остаточний рейтинг навчальних матеріалів за методом МАІ

МАІ знайшов широке практичне застосування завдяки своїй простоті та наочності. За результатом детального дослідження МАІ були виявлені такі суттєві недоліки:

1. Неузгодженість оцінок, пов'язана з труднощами оцінки відношень складних об'єктів — 1-й вид неузгодженості;
2. Неузгодженість 2-го виду, пов'язана із запропонованою дискретною шкалою для оцінки об'єктів;
3. Різке збільшення кількості оцінок зі збільшенням набору об'єктів. Не рекомендується набір об'єктів більше 9;
4. Перерахунок відношень значущості об'єктів в їх важливість здійснюється наближеним методом. Охарактеризуємо метод за обраними критеріями (див. табл. 6).

Таблиця 6

#### Характеристика методу аналізу ієрархій

	Уніфікація обчислень	Ролі експертів	Корегування ваг критеріїв	Компенсування критеріями один одного	Тип даних	Спосіб виставлення оцінок	Фактор часу
Метод аналізу ієрархій	Ні	Ні	Ні	Компенсує	Змішанні дані	Порівняльна оцінка	Відсутній

#### Метод ELECTRE TRI

На відміну від попередніх методів, в яких виконувалось ранжування альтернатив, метод ELECTRE TRI призначений для розподілу альтернатив  $A_i$  за критеріями  $C_j$  по заданих категоріях  $B_k$ , де  $k \in (1, p + 1)$ .

Можна сказати, що в цьому методі множина категорій  $B_k$  являє собою двовірну область, яка визначається з одного боку індексами критеріїв  $C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_m$ , а з іншого — векторами  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{p-1}, b_p, b_{p+1}$  шкал оцінки, так званими «профілями» критеріїв (рис. 5).

Таким чином, по кожному критерію  $C_j$  розглядається вісь значимості, яка поділена «профілем» критерію на інтервали. Причому такий «профіль» може бути нерівномірним та індивідуальним для кожного критерію. Прикладом такого «профілю» є відома шкала оцінювання ECTS.

Метод ELECTRE TRI розподіляє альтернативи по категоріях за двома кроками:

— *побудова рангових відношень  $S$* , які характеризують розташування альтернативи відносно меж категорій;

— *процес використання відношень  $S$*  для розміщення кожної альтернативи за певними категоріями.

*Побудова рангових відношень  $S$* . Позначимо:

$b_k$  — вектор верхньої межі категорії  $B_k$ , також  $b_k \in i$  нижньою межею категорії  $B_{k+1}$ ;

$a_i$  — вектор оцінок альтернативи  $A_i$ ;  $C_j(x)$  — значення критерія  $C_j$  по вектору  $x$ .

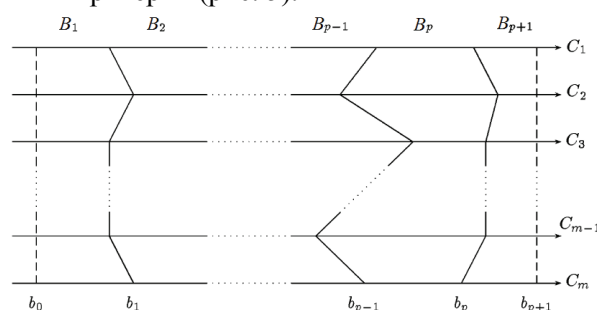


Рис. 5. Представлення множини категорій  $B_k$

Рангове відношення  $S$  визначає нульову гіпотезу, припущення  $H_0 = a_i S b_k$ , що означає « $a_i$  не гірше за  $b_k$ ». Відповідною альтернативною гіпотезою буде  $H_a = b_k S a_i$ , що означає « $b_k$  не гірше за  $a_i$ ». Такі припущення обмежуються по осі значимості кожного критерію, використовуючи псевдо-критерії [3].

Псевдокритерії будуються на визначенні порогів індивідуальності  $q_j(b_k)$  і переваг  $p_j(b_k)$  між критеріями. Вони обчислюються для фактора невизначеності процесу оцінювання  $C_j(a_i)$  [5]. Так за критерієм  $C_j$  поріг індивідуальності  $q_j(b_k)$  визначає найбільшу різницю  $C_j(a_i) - C_j(b_k)$ , що зберігає індивідуальність між  $a_i$  і  $b_k$ , а поріг переваги  $p_j(b_k)$  є найменшою різницею  $C_j(a_i) - C_j(b_k)$  сумісною з перевагою  $a_i$  над  $b_k$ .

Існує два параметри переваг між критеріями, які утворюють відношення  $S$ :

— множина вагових коефіцієнтів ( $w_1, w_2, \dots, w_m$ ) — використовуються в тесті на підтвердження  $H_0$ , коли обчислюється відносний вплив сукупності критеріїв на користь твердження  $a S b_k$ ;

— множина порогів вето ( $v_1(b_k), v_2(b_k), \dots, v_m(b_k)$ ) — використовуються в тесті на скасування  $H_0$ ;  $v_j(b_k)$  є найменшою різницею  $C_j(b_k) - C_j(a_i)$ , несумісною з твердженням  $a S b_k$ .

ELECTRE TRI формує рейтинг відношень  $S$  за допомогою індексу  $\sigma(a_i, b_k) \in [0, 1]$  (відповідно  $\sigma(b_k, a_i)$ ) є ступінню довіри до твердження  $a_i S b_k$  (відповідно  $b_k S a_i$ ),  $\forall a_i \in A, \forall b_k \in B$ .

*Процес використання.* Оскільки розміщення альтернатив за категоріями не є прямою дією відношення  $S$ , то для цього потрібні додаткові операції. Цей процес потребує, щоби відношення  $S$  було «дефазифіковане», використовуючи так звану  $\lambda$ -відсіч: твердження  $a_i S b_k$  (відповідно  $b_k S a_i$ ) є дійсним якщо  $\sigma(a_i, b_k) \geq \lambda$  (відповідно  $\sigma(b_k, a_i) \geq \lambda$ ). Тут  $\lambda$  є межею відсікання і визначає, хто переважає  $a_i$  чи  $b_k$ , причому  $\lambda \in [1/2, 1]$ .

- $\sigma(a_i, b_k) \geq \lambda$  і  $\sigma(b_k, a_i) \geq \lambda \Rightarrow a_i S b_k \wedge b_k S a_i \Rightarrow a_i S b_k$ , тобто  $a_i$  є індивідуальним по відношенню до  $b_k$ ;
- $\sigma(a_i, b_k) \geq \lambda$  і  $\sigma(b_k, a_i) < \lambda \Rightarrow a_i S b_k \wedge \neg(b_k S a_i) \Rightarrow a_i \succ b_k$ , тобто  $a_i$  переважає по відношенню до  $b_k$ ;
- $\sigma(a_i, b_k) < \lambda$  і  $\sigma(b_k, a_i) \geq \lambda \Rightarrow \neg(a_i S b_k) \wedge b_k S a_i \Rightarrow b_k \succ a_i$ , тобто  $b_k$  переважає по відношенню до  $a_i$ ;
- $\sigma(a_i, b_k) < \lambda$  і  $\sigma(b_k, a_i) < \lambda \Rightarrow \neg(a_i S b_k) \wedge \neg(b_k S a_i) \Rightarrow a_i S b_k$ , тобто  $a_i$  непорівнянна із  $b_k$ .

Відмітимо, що  $b_0$  і  $b_{p+1}$  визначаються наступним чином  $b_{p+1} \succ a_i \wedge a_i S b_0, \forall a_i \in A$ .

Основою процесу використання є процедура, при якій вектор оцінок  $a_i$  альтернативи  $A_i$  порівнюється із профілем для визначення категорії, до якої буде призначена альтернатива  $A_i$ . Існують дві процедури призначення:

*Песимістична* (або кон'юнктивна) процедура:

1. Послідовно порівняти  $a_i$  до  $b_k$ , для  $k = p, p-1, \dots, 0$ ;
2. Якщо  $b_k$  є першим профілем, таким що  $a_i S b_k$ , тоді  $A_i$  призначається категорії  $B_{k+1}$  ( $a_i \rightarrow B_{k+1}$ ).

*Оптимістична* (або диз'юнктивна) процедура:

1. Послідовно порівняти  $a_i$  до  $b_k$ , для  $k = 1, 2, \dots, p+1$ ;
2. Якщо  $b_k$  є першим профілем, таким що  $b_k \succ a_i$ , тоді  $A_i$  призначається категорії  $B_k$  ( $a_i \rightarrow B_k$ ).

Якщо  $b_{k-1}$  і  $b_k$  означають нижчу і верхню межу профілю категорії  $B_k$ , то песимістична процедура призначає альтернативу  $A_i$  до найвищої категорії  $B_k$  так, що  $a_i$  переважає  $b_{k-1}$ , тобто  $a_i S b_{k-1}$ . Коли ця процедура використовується із  $\lambda = 1$ , альтернатива  $A_i$  може бути призначена категорії  $B_k$ , тільки якщо  $C_j(a_i) \geq C_j(b_k)$  за кожним критерієм (правило кон'юнкції).

Оптимістична процедура призначає  $A_i$  до найменшої категорії  $B_k$ , для якої найменший профайл  $b_k$  переважає над  $a_i$ , тобто  $b_k \succ a_i$ . Коли ця процедура використовується з  $\lambda = 1$ , то альтернатива  $a_i$  може бути призначена категорії  $B_k$  тільки коли  $C_j(b_k) > C_j(a_i)$ , як найменше за одним критерієм (правило диз'юнкції). Коли  $\lambda$  зменшується, то правила кон'юнкції і диз'юнкції послаблюються.

Проведемо оцінку трьох курсів за методом ELECTRE TRI. Оцінки від одного експерта по трьох навчальних матеріалах за десятьма критеріями наведені в табл. 7.

Таблиця 7

Оцінки від одного експерта по трьох навчальних матеріалах за десятьма критеріями

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$
HM <sub>1</sub>	2	5	7	3	7	5	8	6	2	9
HM <sub>2</sub>	1	2	1	2	1	2	3	2	1	2
HM <sub>3</sub>	2	3	4	2	2	3	4	3	3	2

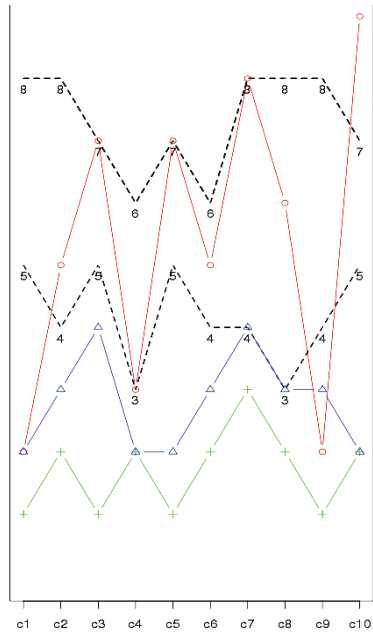


Рис. 6. Результат оцінки по методу ELECTRE TRI

Введемо три оцінювальні групи («Добре», «Середнє», «Погано») і приклад векторів із порогом входу в ці межі (див. табл. 8). Для «Погано» не вказано поріг входу.

Таблиця 8

Три вектори оцінок із пороговими входами в три задані групи оцінювання

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>
Добре	8	8	7	6	7	6	8	8	8	7
Середнє	5	4	5	3	5	4	4	3	4	5
Погано	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Задамо максимізацію по кожному вектору. Матриця із вето по кожній групі буде пуста.

Задамо ваги по кожному критерію: 7, 7, 8, 3, 3, 8, 5, 5, 5, 6.

Проведемо оцінку і отримаємо такий результат (табл. 9, рис. 6).

Таблиця 9

Результат оцінки трьох навчальних матеріалів за методом ELECTRE TRI

HM <sub>1</sub>	HM <sub>2</sub>	HM <sub>3</sub>
Добре	Погано	Середнє

Недоліками методу ELECTRE TRI є статичність критеріїв оцінки, відсутність ролей експертів і відсутність рейтингу навчальних матеріалів всередині групи.

Охарактеризуємо метод за запропонованими критеріями (табл. 10).

Таблиця 10

Характеристика методу ELECTRE TRI

	Уніфікація обчислень	Ролі експертів	Динамічне корегування ваг критеріїв	Компенсування критеріями один одного	Тип даних	Спосіб виставлення оцінок	Фактор часу
Метод ELECTRE TRI	Так	Ні	Ні	Частково компенсує	Змішанні дані	Категоріальна оцінка	Відсутній

### Метод UTA

Метод UTA (UTilitès Additives) запропонували Лагреже і Сискос [6]. Цей метод використовується для побудови функції корисності на множині альтернатив  $A_R$ . Метод використовує спеціальні методи лінійного програмування для оцінки цих функцій на множині альтернатив  $A_R$  так, що рейтинги, отримані за допомогою цих функцій, є якомога більш послідовними.

Модель згортки критеріїв в UTA передбачає адитивну функцію

$$u(C) = \sum_{j=1}^n w_j u_j(C_j) \tag{4}$$

з обмеженнями:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n w_j = 1; \\ u_j(C_{j*}) = 0, \quad u_j(C_j^*) = 1, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n, \end{cases} \tag{5}$$

де  $u_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$  — незменшувальні функції, які називаються пороговими функціями або функціями корисності і нормалізовані між 0 і 1;  $C_j$  — ваги  $u_j$  (рис. 7);  $u_j(C_{j*})$  — нижня межа по всіх функціях корисності;  $u_j(C_j^*)$  — верхня межа по всіх функціях корисності.

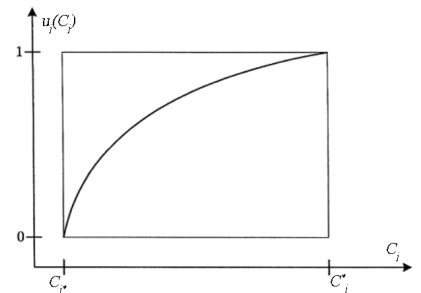


Рис. 7. Нормалізована функція корисності

Функція корисності має монотонні властивості на множині критеріїв, виконуються такі умови:

$$\begin{cases} u[C(A_l)] > u[C(A_k)] \Leftrightarrow A_l \succ A_k; \\ u[C(A_l)] = u[C(A_k)] \Leftrightarrow A_l \sim A_k \end{cases} \quad (6)$$

або з урахуванням прийнятого позначення  $a_{ij}$  оцінки альтернативи  $A_i$  за критеріями  $C_j$  отримаємо:

$$\begin{cases} u(a_l) > u(a_k) \Leftrightarrow A_l \succ A_k; \\ u(a_l) = u(a_k) \Leftrightarrow A_l \sim A_k, \end{cases} \quad (7)$$

де  $a_l, a_k$  — вектори оцінок альтернатив  $A_l$  та  $A_k$  за критеріями  $C_j, \forall j = 1, 2, \dots, n$ .

Перша умова є умовою переваги альтернативи  $a$  над  $b$ , друга умова є умовою індиферентності. УТА метод має форму без ваг для функції корисності і еквівалента до формул 4 і 5

$$u(C) = \sum_{j=1}^n u_j(C_j) \quad (8)$$

з такими обмеженнями:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n u_j(C_j^*) = 1; \\ u_j(C_{j^*}) = 0, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n. \end{cases} \quad (9)$$

Існування такої моделі переваг передбачає незалежність критеріїв для експерта, що оцінює [6]. П. Фішборном були запропоновані інші умови для цього методу [7].

Оцінки від однієї особи, що приймає рішення п'яти навчальних матеріалів за 10-ма критеріями наведені в табл. 11.

Таблиця 11

Оцінки від одного однієї особи, що приймає рішення п'яти навчальних матеріалів за десятьма критеріями

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$
HM <sub>1</sub>	2	7	8	4	2	8	8	5	7	7
HM <sub>2</sub>	10	6	5	4	2	8	5	1	2	4
HM <sub>3</sub>	7	10	6	1	3	7	5	1	6	4
HM <sub>4</sub>	2	9	2	7	5	4	3	6	9	10
HM <sub>5</sub>	3	5	10	1	10	7	7	2	2	1

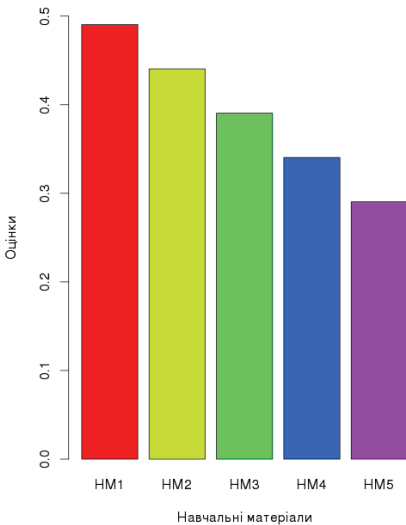


Рис. 9. Результат оцінки за методом UTA

Задамо вектор із рангами навчальних матеріалів: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 і максимізацію по кожному вектору.

Ранжування навчальних матеріалів за методом UTA показано на рис. 9.

Охарактеризуємо метод за запропонованими критеріями (табл. 12).

Таблиця 12

Характеристика методу UTA

	Уніфікація обчислень	Ролі експертів	Корегування ваг критеріїв	Компенсування критеріями один одного	Тип даних	Спосіб виставлення оцінок	Фактор часу
Метод UTA	Так	Ні	Ні	Компенсує	Кількісні дані	Порівняльна оцінка	Відсутній



## Висновки

Проведено порівняльний аналіз чотирьох відомих методів багатокритеріальної оцінки навчальних матеріалів. Всі методи приведено до єдиного набору позначень функцій та аргументів, що забезпечило можливість їх уніфікації та порівняння за обраними аспектами. За рахунок цього розроблено базу даних, яка має структуру, придатну для застосування усіх зазначених методів.

Проведено експеримент з оцінювання трьох навчальних матеріалів за кожним із методів. В результаті виявлено і описано слабкі і сильні сторони кожного методу у контексті поставленої задачі.

Основним висновком проведеної роботи є потреба розробки нового методу оцінювання навчальних матеріалів. Цей метод повинен мати можливості динамічного корегування ваг критеріїв у часі, враховувати різні ролі експертів і мати можливості алгоритмізації і легкості реалізації. Найвдалішою реалізацією такого методу автори вважають використання принципів нейронної мережі.

Проведений аналіз і отримані результати дослідження є прикладною основою побудови інформаційної технології для автоматизації експертного оцінювання навчальних матеріалів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боцула М. П. Про проблему експертизи якості матеріалів дистанційних курсів [Електроний ресурс] / М. П. Боцула, І. А. Моргун // Наукові праці ВНТУ. — 2008. — № 4. — С. 1—7. — Режим доступу до журн. : [http://nbuv.gov.ua/e-journals/vntu/2008-4/2008-4.files/uk/08mpbcme\\_uk.pdf](http://nbuv.gov.ua/e-journals/vntu/2008-4/2008-4.files/uk/08mpbcme_uk.pdf).
2. Моргун І. А. Метод отримання комплексної оцінки якості веб-матеріалів з використанням полярної системи координат / І. А. Моргун, М. П. Боцула // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2011. — № 1. — С. 84—89.
3. Roy B. Relational systems of preference with one or more pseudo-criteria: Some new concepts and results / B. Roy, P. Vincke // Management Science. — 1984. — № 30. — P. 1323—1335.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Пер. с англ. П. Г. Вачнадзе. — М. : Радио и связь, 1993.
5. Roy B. Main sources of inaccurate determination, uncertainty and imprecision in decision models / B. Roy // Mathematical and Computer Modelling. — № 12. — P. 1245—1254.
6. Jacquet-Lagrèze E. Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision making : The UTA method / Jacquet-Lagrèze E., Siskos Y. // European Journal of Operational Research. — 1982. — № 10 (2). — P. 151—164.
7. Fishburn P. A note on recent developments in additive utility theories for multiple factors situations / P. Fishburn // Operations Research. — 1966. — № 14. — P. 1143—1148.

Рекомендована кафедрою комп'ютерного еколого-економічного моніторингу та інженерної графіки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 4.11.2014

**Моргун Іван Анатолійович** — здобувач кафедри комп'ютерного еколого-економічного моніторингу та інженерної графіки; e-mail: [proftua@gmail.com](mailto:proftua@gmail.com);

**Боцула Мирослав Павлович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерного еколого-економічного моніторингу та інженерної графіки; e-mail: [botsula@gmail.com](mailto:botsula@gmail.com).

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**I. A. Morgun<sup>1</sup>**  
**M. P. Botsula<sup>1</sup>**

## Content quality of e-learning courses in the context of appropriate information technologies of automated data processing

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

*The comparative analysis of four well-known methods of multicriterion estimation is executed in the paper. An experiment of evaluation of educational materials according to every method is conducted. As a result pros and cons of every method are defined at the multicriterion estimation of educational materials.*

**Keywords:** quality management, quality criteria, quality of educational material, quality expertise, multicriteria evaluation of educational materials, WSM, AHP, ELECTRE TRI, UTA.

**Morgun Ivan A.** — Researcher of the Chair of Computer-Aided Ecological and Economic Monitoring and Engineering Graphics, e-mail: [proftua@gmail.com](mailto:proftua@gmail.com);

**Botsula Myroslav P.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Computer-Aided Ecological and Economic Monitoring and Engineering Graphics, e-mail: [botsula@gmail.com](mailto:botsula@gmail.com)

**И. А. Моргун<sup>1</sup>**  
**М. П. Боцула<sup>1</sup>**

## **О качестве контента электронных учебных курсов в контексте реализации соответствующей информационной технологии автоматизированной обработки данных**

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет

*Выполнен сравнительный анализ четырех известных методов многокритериальной оценки. Проведены эксперименты по оценке учебных материалов каждым методом. Выявлены слабые и сильные стороны каждого метода при многокритериальной оценке учебных материалов.*

**Ключевые слова:** управление качеством, критерии качества, качество учебного материала, экспертиза качества, многокритериальная оценка учебных материалов, WSM, AHP, ELECTRE TRI, UTA.

**Моргун Иван Анатольевич** — соискатель кафедры компьютерного эколого-экономического мониторинга и инженерной графики, e-mail: proftua@gmail.com;

**Боцула Мирослав Павлович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры компьютерного эколого-экономического мониторинга и инженерной графики, e-mail: botsula@gmail.com