



УДК 004.02

DOI: 10.20535/2077-7264.3(85).2024.311476

© В. О. Нікітін, асп., С. П. Васюта, канд. техн. наук, доц.,
ІПМТ НУ «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОНЕНТ ЦИФРОВОГО НАВЧАЛЬНОГО КОНТЕНТУ

Розглянуто методи оцінки компонент навчального контенту. Застосовано метод аналізу ієрархій, який дозволив визначити відносну важливість одних властивостей навчального контенту над іншими. На основі матриці попарних порівнянь виконано порівняння та встановлено ваги основних компонент та їх категорій.

Ключові слова: контент; цифровий контент; компоненти; модель; ієрархія; матриця; вага підкритерію; узгодженість.

Постановка проблеми

Розробка, дизайн, використання та поширення цифрового навчального контенту є важливим критерієм формування сучасного освітнього процесу. Якісно підготовлений матеріал дає змогу покращити навчальний процес, підвищити сприйняття, розуміння та засвоєння інформації. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю створення впізнаваного контенту. За допомогою креативного навчального контенту легше впроваджувати сучасні способи навчання засновані на інноваційних підходах та методах. Звідси, виникає потреба дослідити властивості навчального контенту, а також визначити важливість його компонент. Для розв'язання цього завдання обрано метод ієрархій Т. Сааті, який використовується українськими вченими для вирішення різноманітних проблем та задач. Особливо, якщо задача або об'єкт до-

слідження являє собою ієрархічну структуру. Дана методика уможливорює декомпозицію складної задачі на прості компоненти з подальшим аналізом та порівнянням експертних суджень за парними порівняннями. Він забезпечує можливість аналізу та оцінки досліджуваних критеріїв та компонент. Метод попарного порівняння забезпечить можливість експертам виконати порівняння компонент для визначення їх рівня в загальній ієрархії.

Аналіз попередніх досліджень

Проведено дослідження щодо використання методу ієрархій для оцінки відносної величини чинників за допомогою парних порівнянь, де використовується досвід експертів. Така методика широко використовується для вирішення найрізноманітніших проблем.



Ідеї Т. Сааті дозволили вирішити оцінку компонент цифрового навчального контенту.

Також авторами досліджено технології доповненої реальності в сучасному освітньому процесі та проаналізовано ринок друкованої продукції з елементами доповненої реальності.

Мета роботи

Дослідження використання методу ієрархій для визначення важливості основних властивостей навчального контенту та їх категорій для підвищення якості та ефективності навчального матеріалу.

Результати проведених досліджень

Метод аналізу ієрархій розроблено американським професором Томасом Сааті. Він застосовується для розв'язання багатьох практичних задач за допомогою парних порівнянь. Метод аналізу ієрархій забезпечує вирішення та аналіз складних проблем за допомогою простих правил і приводить до вибору найкращого результату. Він дозволяє включити в ієрархію всі критерії досліджуваної системи [1].

За даною методикою для встановлення числової ваги критеріям потрібно сформувати матрицю попарних порівнянь [2]. Вона включає результати експертних рішень щодо попарного порівняння критеріїв $(b_1, b_2, b_3, \dots, b_n)$:

$$B = (b_{ij}), (i, j = 1, 2, 3, \dots, n). \quad (1)$$

Матриця попарного порівняння B формується за таким правилом: коли критерій b_i має рівноцінну важливість з критерієм

b_j , тоді елементу b_{ij} присвоюємо значення 1. Матриця B отримає такий вигляд:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ 1/b_{12} & 1 & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/b_{1n} & 1/b_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Наступним етапом є виконання ранжування досліджуваних елементів. Для цього множині критеріїв $B = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_n\}$ присвоюється певне число $W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}$, яке відповідає експертним оцінкам. Елементи матриці розраховуються за формулою:

$$B = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix}. \quad (3)$$

В процесі обчислення числової ваги (W) критеріїв виникають розбіжності в експертних оцінках. Для встановлення межі на відхилення оцінок експертів розглянемо i -й рядок матриці B , а саме критерії: $b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}, \dots, b_{in}$. Ці елементи є величинами отриманими із співвідношення:

$$\frac{w_i}{w_1}, \frac{w_i}{w_2}, \dots, \frac{w_i}{w_j}, \dots, \frac{w_i}{w_n}. \quad (4)$$

В результаті добутку першого елементу отриманого з рівності (4) на w_1 , другого на w_2 , отримуємо наступні значення:

$$\begin{aligned} \frac{w_i}{w_1} w_1 &= w_i, \frac{w_i}{w_2} w_2 = w_i, \\ \frac{w_i}{w_j} w_j &= w_i, \dots, \frac{w_i}{w_n} w_n = w_i. \end{aligned} \quad (5)$$



Результатом обчислення рівності (5) буде рядок ідентичних елементів w_i . Звідси випливає, що w_i доцільно обчислювати, як:

$$w_i = \text{середнє з } (b_{i1}w_1, b_{i2}w_2, \dots, b_{in}w_n). \quad (6)$$

Сформуємо рівність (6) таким чином:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_{ij} w_j, (i, j = 1, 2, \dots, n). \quad (7)$$

Робимо висновок, рівність (7) демонструє кінцевий варіант визначення числової ваги досліджуваних критеріїв. Вона враховує відхилення в експертних розбіжностях, які доводять рівність (5). Однак, це також не забезпечить отримання бажаних результатів.

Тому, варто використати варіант обчислення експертних суджень із застосуванням максимального власного значення (λ_{\max}) матриці B . Значення λ_{\max} для оцінки узгодженості експертних суджень розраховуємо:

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n B_j K_j, \quad (8)$$

де $B_j = \sum_{i=1}^n b_{ij}$ — обчислюється сума елементів i -стовпця матриці B ; K_j — вектор пріоритетів. K_j розраховується як середнє геометричне рядків матриці попарних порівнянь:

$$K_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n b_{ij}}}{\sum_{j=1}^n \left(\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n b_{ij}} \right)}. \quad (9)$$

Однорідність в оцінці експертних суджень обчислюємо через індекс узгодженості J_n , де n — кількість об'єктів матриці:

$$J_n = \lambda_{\max} - \frac{n}{n-1}. \quad (10)$$

Отриманий індекс однорідності (10) порівнюється із еталонними значеннями (табл. 1) для випадкових матриць різного розміру.

Говорити про належну узгодженість експертних суджень можна тоді, коли отримане значення відповідає правилу $J_n \leq 0,1 * J_e$, де J_e — еталонне значення.

На основі різних методичних та наукових матеріалів, можна стверджувати, що конкретні цілі, тип навчання, технологічні можливості [3] і стандарти освіти формують вимоги до навчального цифрового контенту. Адже, цифровий контент — є інформаційним наповненням особистого сайту, блогу викладача або освітньої платформи. Його можна представляти різними формами: текстом, графікою, відео, інфографікою та іншими варіантами. Для створення, використання та поширення цифрового навчального контенту

Таблиця 1

Еталонні значення індексу узгодженості

Кількість об'єктів, n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Еталонне значення індексу, J_e	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

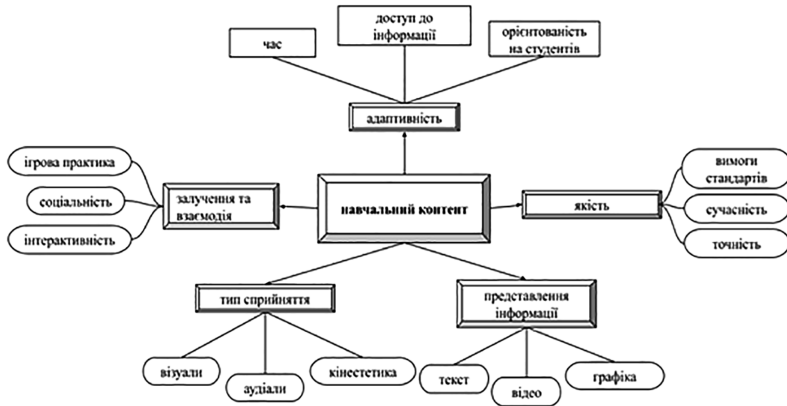


Рис. 1. Компоненти цифрового навчального контенту

він повинен набувати таких властивостей (рис. 1): «Якість» — відповідає вимогам та стандартам, «Адаптивність» — потрібно враховувати індивідуальність студентів та мати легкий доступ до отримання інформації, «Залучення та взаємодія» — активна участь та взаємодія протягом усього навчання [4], «Представлення інформації та тип сприйняття» — використання мультимедійних матеріалів [5], інфографіки [6] для полегшення сприйняття та зацікавленості студентів.

Згідно методики викладеної вище, виконаємо оцінку основних

компонентів навчального цифрового контенту [7]. Сукупність компонент становить множину $I = \{1, 2, 3, \dots\}$. Для кращої наочності кожному присвоїмо номер:

k_1 — залучення та взаємодія (ЗВ);

k_2 — адаптивність (А);

k_3 — якість (Я);

k_4 — представлення інформації (ПІ);

k_5 — тип сприйняття (ТС).

Експерти, обрані з числа фахівців сфери освіти, виконали порівняння компонент за ступенем важливості. Для встановлення число-

Таблиця 2

Шкала відносної важливості об'єктів за Сааті

Оцінка важливості	Компоненти порівняння
1	Компоненти рівноцінні
3	Один компонент дещо переважає інший
5	Один компонент переважає інший
7	Один компонент значно переважає інший
9	Один компонент абсолютно переважає інший
2, 4, 6, 8	Компромісні проміжні значення



вої оцінки одних компонент над іншими використано шкалу порівняння за Сааті (табл. 2).

При заповненні матриці, експертам пропонувалось відповідати на запитання виду: «Наскільки, на Вашу думку, компонент i_1 виконує значно більший вплив на створення, використання та розповсюдження цифрового навчального контенту ніж коефіцієнт i_2 ?».

Наприклад, якщо експерти вважають якість більш важливою, ніж тип сприйняття, їм присвоюється вищий бал. Це порівняння виконано для всіх основних компонентів (табл. 3).

На основі попарних порівнянь розраховано ваги кожного компонента за формулою (7). Вони наочно показують відносну важливість одних над іншими.

Використання описаної вище методики дозволяє оцінити відносну важливість різних компонентів в побудованій ієрархії. В процесі оцінки компонент навчального контенту варто зосередитися на найважливіших елементах, що

сприятиме досягненню високих показників залученості та взаємодії користувачів [8].

Кожен елемент може мати різні підкритерії, такі як час, доступ до інформації, інтерактивність, ігрова практика [9] тощо. Метод ієрархій надає структурований підхід до аналізу та оцінки цих критеріїв.

Для оцінки основних компонент навчального контенту сформуємо матриці попарного порівняння, які дозволяють детально проаналізувати відносну важливість кожного з них. Експерти провели попарне порівняння (табл. 3) підкритеріїв, які представлено в табл. 4. Це допоможе визначити, які аспекти основного компоненту є найбільш важливими в загальній ієрархії дослідження [10]. Згідно методики описаної вище, обчислено відношення узгодженості матриць попарних порівнянь всіх підкритеріїв (табл. 4).

Результуюча оцінка узгодженості експертних суджень має наближатись до 0 для забезпечення

Таблиця 3

Матриця попарних порівнянь В

	ЗВ	А	Я	ПІ	ТС	Ваги компонентів, (V_i)
ЗВ	1	1/3	1/5	1/3	1	0,06
А	3	1	1/3	5	3	0,25
Я	5	3	1	5	5	0,48
ПІ	3	1/5	1/5	1	1	0,09
ТС	1	1/3	1/5	1	1	0,08
Оцінка узгодженості експертних суджень, $\lambda_{\max} = 5,2$ Еталонне значення, $J_e = 1,12$ Індекс узгодженості, $J_n = 0,05$						



Таблиця 4

Матриці попарних порівнянь підкритеріїв

Залучення та взаємодія	Ігрова практика	Соціальність	Інтерактивність	Ваги підкритеріїв, (V_i)
Ігрова практика	1	3	5	0,64
Соціальність	1/3	1	2	0,22
Інтерактивність	1/5	1/2	1	0,12
Оцінка узгодженості експертних суджень, $\lambda_{\max} = 3$ Еталонне значення, $J_e = 0,58$ Індекс узгодженості, $J_n = 0,001$				
Адаптивність	Час	Доступ до інформації	Орієнтованість на студентів	Ваги підкритеріїв, (V_i)
Час	1	1/5	1/7	0,06
Доступ до інформації	5	1	1/5	0,21
Орієнтованість на студентів	7	5	1	0,71
Оцінка узгодженості експертних суджень, $\lambda_{\max} = 3,18$ Еталонне значення, $J_e = 0,58$ Індекс узгодженості, $J_n = 0,09$				
Якість	Вимога стандартів	Точність	Сучасність	Ваги підкритеріїв, (V_i)
Вимоги стандартів	1	5	5	0,68
Точність	1/5	1	5	0,23
Сучасність	1/5	1/5	1	0,08
Оцінка узгодженості експертних суджень, $\lambda_{\max} = 3,2$ Еталонне значення, $J_e = 0,58$ Індекс узгодженості, $J_n = 0,01$				
Представлення інформації	Текст	Графіка	Відео	Ваги підкритеріїв, (V_i)
Текст	1	7	3	0,66
Графіка	1/7	1	1/3	0,08
Відео	1/3	3	1	0,24
Оцінка узгодженості експертних суджень, $\lambda_{\max} = 3$ Еталонне значення, $J_e = 0,58$ Індекс узгодженості, $J_n = 0,003$				
Тип сприйняття	Аудіали	Візуали	Кінестети	Ваги підкритеріїв, (V_i)
Аудіали	1	1/7	1/3	0,08
Візуали	7	1	3	0,66
Кінестети	3	1/3	1	0,24
Оцінка узгодженості експертних суджень, $\lambda_{\max} = 3$ Еталонне значення, $J_e = 0,58$ Індекс узгодженості, $J_n = 0,003$				



правильного встановлення міри узгодженості. В іншому випадку, потрібно буде залучення декількох експертів або експертних груп для підвищення об'єктивності оцінки. Обов'язковими при цьому є заходи з проведення «мозкового штурму» щодо важливості різних аспектів цифрового навчального контенту та відкрите обговорення отриманих значень.

Заключним етапом є розрахунок загального рангу важливості підкритеріїв стосовно кожного компоненту. Обчислення проводилось множенням ваг основних компонентів на ваги підкритеріїв (табл. 5).

Наприклад, компонента «Якість» має числову вагу — 0,48. Загальний ранг по кожному підкритерію

обчислюється: «Вимоги до стандартів» становить — $0,48 \cdot 0,68 = 0,326$; «Точність» — $0,48 \cdot 0,23 = 0,11$; «Сучасність» — $0,48 \cdot 0,08 = 0,038$.

На основі попарного порівняння отримано загальний ранг важливості підкритеріїв відносно кожного компоненти. Рисунок 2 наочно візуалізує ключові компоненти, які варто враховувати в процесі створення, впровадження та використання цифрового навчального контенту.

Обрана методика дослідження визначила найважливіші підкритерії, а саме: «ігрова практика» ($V_i = 0,64$), яка акцентує увагу на залученні студентів до вирішення завдань чи ситуацій у формі гри,

Таблиця 5

Загальний ранг компонент цифрового контенту

Компонент	Підкритерій	Вага компоненти	Вага підкритерію	Загальний ранг (важливість)
Залучення та взаємодія	Ігрова практика	0,06	0,64	0,038
	Соціальність		0,22	0,013
	Інтерактивність		0,12	0,007
Адаптивність	Час	0,25	0,06	0,015
	Доступ до інформації		0,21	0,052
	Орієнтованість на студентів		0,71	0,177
Якість	Вимоги стандартів	0,48	0,68	0,326
	Точність		0,23	0,11
	Сучасність		0,08	0,038
Представлення інформації	Текст	0,09	0,66	0,059
	Графіка		0,08	0,007
	Відео		0,24	0,021
Тип сприйняття	Аудіали	0,08	0,08	0,006
	Візуали		0,66	0,052
	Кінестети		0,24	0,019

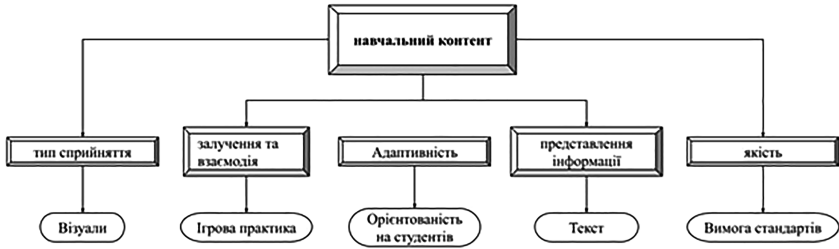


Рис.2. Найважливіші компоненти цифрового навчального контенту

нарахування балів за досягнення і ведення рейтингу, щоб збільшити мотивацію, надавати перевагу використанню віртуальних середовищ; «Вимога стандартів» ($V_i = 0,68$), звертає увагу на те, що контент повинен бути розроблено відповідно до освітніх програм і цілей навчання у відповідності до державних та міжнародних стандартів; «Орієнтованість на студентів» ($V_i = 0,71$), матеріал повинен бути зрозумілим, сумісним з різними платформами та пристроями, змога вивчення матеріалу студентами з обмеженими можливостями; «Текст» ($V_i = 0,66$), текстовий формат цифрового навчального контенту є ефективним інструментом завдяки деталізації, простоті в доступі, зосередженню на матеріалі; «Візуали» ($V_i = 0,66$), під час створення контенту рекомендується використовувати інфографіки, схеми,

діаграми, відео та презентації, форматування тексту або зміну шрифтів з виділенням важливих моментів.

Висновки

Здійснено аналіз властивостей цифрового навчального контенту. Для чіткої і структурованої оцінки важливості різних компонентів застосовано метод аналізу ієрархій. Дана методика забезпечила можливість експертного аналізу та оцінки підкритеріїв щодо основних компонентів цифрового навчального контенту.

Отримані результати забезпечили детальне розуміння важливості різних аспектів цифрового навчального контенту. Встановлено узгодженість експертних суджень. Дане дослідження сприяє до прийняття рішень, щодо підвищення ефективності та покращення цифрових навчальних матеріалів.

Список використаної літератури/References

- Schuelka, M. J., & Thyrring, T. (2019). On the question of educational purpose: complex educational systems analysis for inclusion. *International Journal of Inclusive Education*, 448–465. DOI:10.1080/13603116.2019.1698062.
- Khamula, O., Tymchenko, O., Vasiuta, S., Sosnovska, O., & Dorosh, S. (June 28, 2024). Development of Font Selection Method for Text Content in Immersive Technologies. *CEUR Workshop Proceedings*, 112–128. Retrieved from <https://ceur-ws.org/Vol-3736/paper9.pdf>.
- Phillips, T., & Ozogul, G. (2020) Learning analytics research in relation to educational technology: capturing learning analytics contributions with bibliometric analysis. *TechTrends*, 64 (6), 878–886, DOI:10.1007/s11528-020-00519-y.



4. Cheng, K., & Tsai, C. (2019). A case study of immersive virtual field trips in an elementary classroom: students' learning experience and teacher-student interaction behaviors. *Comput. Educ.*, 140, Article 103600, DOI:10.1016/j.compedu.2019.103600.

5. Philippe, S., Souchet, A., Lameris, P., Petridis, P., Caporal, J., & Coldeboeuf G. (2020). Multimodal teaching, learning and training in virtual reality: a review and case study *Virtual Real. Intell. Hardw.*, 2(5), 421–442. DOI: 10.1016/j.vrih.2020.07.008.

6. Jaleniauskiene, E., & Kasperuniene, J. (2022). Infographics in higher education: a scoping review *E-Learn. Digit. Media*, 20(2), 191–206, DOI:10.1177/20427530221107774.

7. Tymchenko, O., Khamula, O., Vasiuta, S., Sosnovska, O., & Mlynko, O. (March 23–25, 2022). A Comparison of Methods for Identifying the Priority Hierarchy of Influencing Factors. Proceedings of the 3rd International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of Information Security. *CEUR Workshop Proceedings 3156*, 228–237. Retrieved from <https://ceur-ws.org/Vol-3156/paper16.pdf>.

8. Breukelman, M., Gosen, M., & Koole, T. (2023). The workings of multiple principles in student-teacher interactions: Orientations to both mundane interaction and pedagogical context. *Linguistics and Education*, 76. DOI: 10.1016/j.linged.2023.101188.

9. Rahman, R., Ahmad, S., & Hasim, U. (2019). A study on gamification for higher education students' engagement towards education 4.0. *Intelligent and interactive computing: Proceedings of IIC 2018*, 491–502. DOI:10.1007/978-981-13-6031-2_5.

10. Vasiuta, S., Tymchenko, O., Kunanets, N., Sosnovska, O., & Khamula, O. (March 24–26, 2021). Synthesis and research of a model of factors of infographics compositional design with elements of visual communication. *CEUR Workshop Proceedings*, 303–322. Retrieved from <https://ceur-ws.org/Vol-2853/paper28.pdf>.

The methods of evaluation of educational content components are considered. The method of analysis of hierarchies was applied, which made it possible to determine the relative importance of some properties of educational content over others it provides a framework for creating content that fosters better learning outcomes. Based on the matrix of pairwise comparisons, a comparison was made and the weights of the main components and their categories were determined.

Keywords: content; digital content; components; model; hierarchy; matrix; criterion weight; consistency.

Надійшла до редакції 13.09.24