

ПРОЦЕДУРИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОННИХ НАВЧАЛЬНИХ РЕСУРСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕЛЮСТКОВИХ ДІАГРАМ

Володимир Пасічник¹, Валентина Юнчик², Анатолій Федонюк⁴

^{1,3} Національний університет "Львівська політехніка",

^{2,4} Волинський національний університет імені Лесі Українки

¹ vpasichnyk@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9434-563X,

² uynchik@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3500-1508,

⁴ fedonyukanatan@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0942-227X

© Пасічник В., Юнчик В., Федонюк А., 2022

У дослідженні розглянуто поняття візуалізації результатів експертного оцінювання якості електронних навчальних ресурсів. Значну увагу приділено пелюстковим діаграмам та їх використанню у процесі візуалізації. Описано алгоритм розрахунку площі пелюсткової діаграми та вплив послідовності параметрів на площу кожної пелюстки. Наведено критерії оцінювання якості електронного навчального ресурсу та їх вагові коефіцієнти для кожного із експертів. Показано ролі експертів з коефіцієнтами вагомості. Визначено комплексні показники якості електронних навчальних ресурсів для кожного експерта та узагальнений комплексний показник для усіх експертів. Наведено алгоритм розрахунку площі секторних пелюсток, за допомогою яких можна обчислити й оцінити відносну якість електронного навчального ресурсу за відповідними критеріями. Для реалізації способу визначення комплексної оцінки якості електронного навчального ресурсу використано систему динамічної математики GeoGebra. Продемонстровано побудову пелюсткової діаграми в системі динамічної математики GeoGebra із наведеними вказівками.

Ключові слова: візуалізація; експертне оцінювання; пелюсткова діаграма; електронний навчальний ресурс; показники якості; комплексна оцінка; GeoGebra.

Постановка проблеми

Електронне навчання, яке з кожним роком займає все більшу частину освітнього простору, ставить певні вимоги до навчального контенту. Якість формату, подання і візуальне представлення такої інформації є актуальними питаннями електронних навчальних ресурсів та вагомими аспектами їх ефективності для передавання знань від авторів до користувачів.

Завдання оцінювання якості електронних освітніх ресурсів вирішують на основі експертної оцінки. Комплексна експертиза може передбачати тривимірну оцінку електронних навчальних ресурсів, яка ґрунтується на технологічній, змістовій і дизайн-ергономічній експертизі. Способом підвищення об'єктивності оцінювання електронних навчальних ресурсів є розвиток системи критеріїв, удосконалення кваліметрії, уніфікація технологій і процедур.

Для забезпечення контролю якості оцінювання електронних навчальних ресурсів (ЕНР) важливо сформулювати перелік вимог до електронних освітніх ресурсів, дібрати експертів для якісного оцінювання та здійснити експертне оцінювання якості електронних навчальних ресурсів.

Для подання результатів експертної оцінки доцільно застосовувати ефективні інструменти візуалізації даних. Одним із таких інструментів є пелюсткові діаграми.

Аналіз досліджень і публікацій

Питаннями візуалізації експертного оцінювання займається низка дослідників. У роботі [2] наведено методи експертного оцінювання характеристик якісних критеріїв, методи теорії нечітких множин та нечіткої логіки для формування значення критеріїв та методи оцінювання достовірності експертного оцінювання. На інтерактивних візуалізаціях, які підтримують прийняття рішень, зосереджено увагу в роботі [6].

Дослідники [13, 15, 18, 23] розглядають основні визначення та аспекти візуалізації, етапи цього процесу, загальні методи, їхні переваги та недоліки, а також обсяг візуалізації у різних сферах дослідження. У роботі [20] досліджено вплив когнітивного стилю окремого користувача на продуктивність візуалізації інформації. Автоматичне підсумовування діаграм, метою якого є пояснення діаграм та узагальнення основних висновків, описано в статті [12].

У статті [21] проаналізовано два поширені методи візуалізації даних: стовпчикові та радіальні діаграми. Переваги та недоліки радіальних діаграм висвітлено в роботі [1, 3–5], зокрема звернено увагу на естетику діаграм та їх читабельність. У роботі [8] наведено історичний огляд радіальної візуалізації та визначено типи проблемних галузей, до яких застосовано сучасні методи радіальної візуалізації.

Пелюсткові діаграми або подібні радіальні діаграми часто використовують для зображення таких моделей, як частота дорожньо-транспортних пригод [22], візуалізації історичних предметів у просторі та часі [9], у дослідженні статистичних даних [10], під час використання геометричних діаграм для візуалізації значень загальних математичних об'єктів [11], для наочного подання напрямних змін векторного геомагнітного поля [14]. Особливості системи експертної оцінки “розумності соціополісу” проаналізовано в роботі [17], візуалізацію агрегованих показників об'єктів – в статті [28], призначення динамічних радіальних метричних діаграм для управління програмними проектами розглянуто у роботі [29]. Емпіричний підхід, спрямований на виявлення сильних і слабких сторін радіальних діаграм, проаналізовано у роботах [7, 17]. Використання пелюсткових діаграм для візуалізації експертного оцінювання якості web-матеріалів розглянуто в статті [26], якості програмного забезпечення – в роботі [27].

Однак недостатньо досліджено питання експертного оцінювання якості електронних навчальних ресурсів та використання пелюсткових діаграм для візуалізації результатів.

Формулювання цілі статті

Мета роботи полягає у дослідженні процесів використання пелюсткових діаграм для візуалізації експертного оцінювання електронних навчальних ресурсів.

Виклад основного матеріалу

Візуалізація – це побудова графічного образу даних, що допомагає досліднику під час загального аналізу простежити їх структури та зв'язки. У комп'ютерній графіці візуалізацією (рендєрингом) називають процес отримання зображення за його комп'ютерною моделлю [19].

Під візуалізацією результатів експертного оцінювання якості електронних навчальних ресурсів розумітимемо подання інформації у графічному вигляді для максимальної зручності її розуміння та швидкого сприйняття, а також надання зрозумілої форми будь-якому об'єкту, процесу чи явищу [27]. Для візуалізації результатів експертного оцінювання якості електронних навчальних ресурсів за певними критеріями та отримання комплексного показника використовуватимемо пелюсткові діаграми.

Під пелюстковою діаграмою розуміють графічний спосіб відображення абстрактних даних у вигляді квіткової метафори, поділеної на три і більше пелюстки за відповідними критеріями [22].

Переглядаючи графік пелюсток, можна помітити окремі параметри, які відображають сильні та слабкі області. Сильні ділянки відображено великими пелюстками, а слабкі – маленькими. Пелюсткові діаграми використовуються для візуалізації миттєвих знімків і призначені для порівняння кількох критеріїв.

На рис. 1 видно, що жовті та сині пелюстки найбільші, оскільки їх пелюстки мають велику фізичну площу. Площа жовтої пелюстки 22,4 кв. од., блакитної – 19,7 кв. од., зеленої – 17,2 кв. од. і червоної – 13,2 кв. од.

Однак це оманливе уявлення про фактичні параметри, оскільки дві найменші – червона та зелена пелюстки мають найбільші параметри, а дві найбільші пелюстки – найменші. Червона і зелена пелюстки мають однакові параметри 10, 10, 3 і 3, а жовта і синя 9, 9, 2 і 2. Площа найменшої пелюстки з великими параметрами становить лише 59 % від площі найбільшої пелюстки з малим набором параметрів. Причина того, що ідентичні параметри можуть давати різні результати, а більші параметри – меншу площу, ніж малі параметри, полягає в послідовності, в якій подані параметри [19].

Нехай q параметрів організовано у w пелюсток. Параметри в кожній пелюстці C_i , $i \in [1..w]$ позначаються $p_1, p_2, \dots, p_N$, де N – кількість параметрів у пелюстці. Кожна пелюстка складається із $N - 1$ трикутника, що виходять із початку координат, як показано на рис. 2. Площа такого трикутника задається формулою:

$$A = \frac{1}{2} ab \sin z,$$

де a і b – довжини двох сторін трикутника, що виходять із початку координат; z – кут трикутника з початку координат, заданий формулою:

$$z = \frac{360}{q}.$$

Якщо параметри рівномірно розташовані по колу, то площа всієї пелюсткової діаграми визначається як:

$$S_D = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-1} p_i p_{i+1} \sin(z).$$

Оскільки формула стосується відносних відмінностей у площі, то часто ігнорують коефіцієнт $\frac{\sin(z)}{2}$, тому сума добутків параметрів набуде такого вигляду:

$$T = \sum_{i=1}^{N-1} p_i p_{i+1}.$$

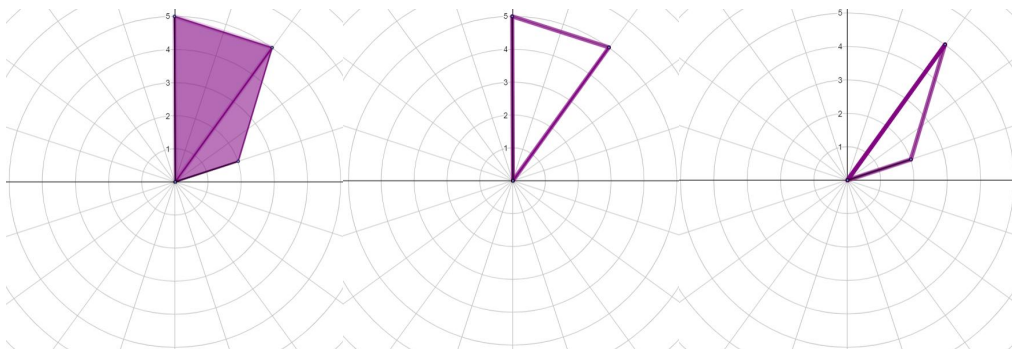


Рис. 2. Пелюстка, побудована з двох трикутників

Як зазначено вище, послідовність параметрів впливає на розмір області. Якщо параметри організовані так, що пари великих параметрів перемножуються, тобто розміщені один біля одного, то площа буде великою. Однак, якщо найбільші параметри помножити на найменші, то площа буде меншою. Причому перший параметр p_1 і останній параметр p_N в пелюстковій діаграмі є коефіцієнтом лише одного критерію, тоді як усі інші використано двічі. Тому те, на першій чи на

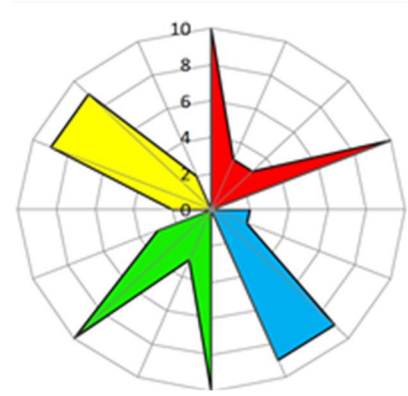


Рис. 1. Порівняння площ пелюсток

останній позиції використовуються найбільші чи найменші параметри, також вплине на результати. Максимальною площа буде, якщо параметри організовані у послідовності зменшення і розподілені із найбільшими параметрами в середині та найменшими на кінцях, тобто в першій і останній позиціях, або формальніше:

$$T_{max} : r_N, r_{N-2}, \dots, r_3, r_1, r_2, r_4, \dots, r_{N-3}, r_{N-1},$$

де r_i – i -й найбільший параметр у пелюстковій діаграмі. Ця послідовність гарантує, що великі параметри перемножуються, що приводить до більших значень критеріїв. Аналогічно, мінімальну площу отримують, розміщуючи найбільші елементи на кінцях і помноживши їх на найменші параметри, а потім продовжують послідовності, утворюючи добутки решти найменших і найбільших параметрів, або формальніше:

$$T_{min} : r_1, r_N, r_3, r_{N-2}, \dots, r_{N-3}, r_{N-1}, r_2$$

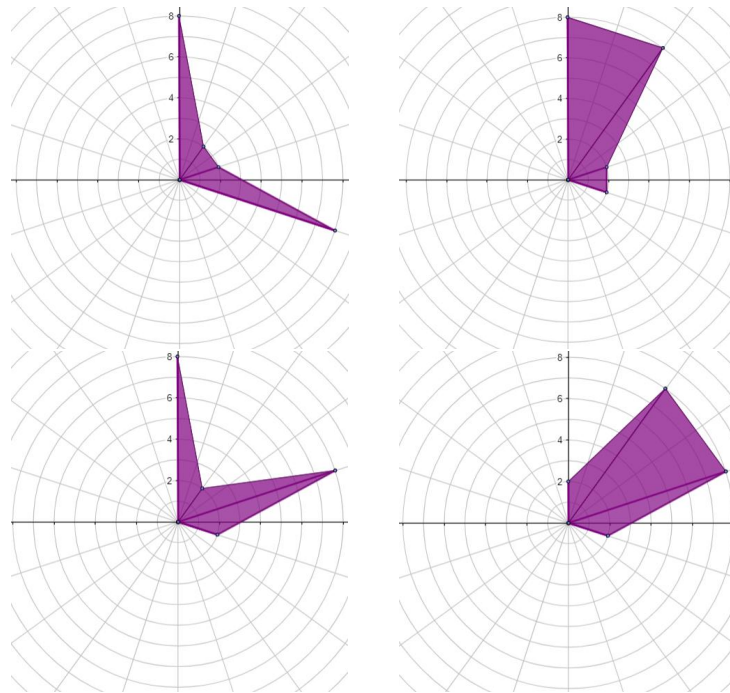


Рис. 3. Послідовність параметрів, що впливає на площу пелюстки

На рис. 3 наведено приклад ефекту впорядкування. У прикладі є два довгих L і два коротких S параметри, які можна організувати в унікальні перестановки $LSSL$, $LLSS$, $LSLS$ і $SLLS$. Площі чотирьох перестановок дорівнюють:

$$T_{LSSL} = LS + SS + LS,$$

$$T_{LLSS} = LL + LS + SS,$$

$$T_{LSLS} = LS + LS + LS,$$

$$T_{SLLS} = LS + LL + LS.$$

Доданок LS можна вилучити з усіх послідовностей, оскільки трикутники порівнюються відносно і під час порівняння матимемо:

$$T_{LSSL} \leq T_{LSLS} \leq T_{LLSS} \leq T_{SLLS},$$

оскільки

$$SS + LS \leq LS + LS \leq LL + SS \leq LL + LS.$$

Різні послідовності охоплюватимуть однакові області, коли $L = S$, тобто коли всі параметри ідентичні.

Щоб уможливити візуалізацію оцінювання якості електронних навчальних ресурсів та отримання комплексної оцінки якості, розглянуто підхід із використанням пелюсткових діаграм.

Електронні навчальні ресурси оцінюватимемо за такими критеріями:

- інтерактивність;
- мультимедійність;

- можливість модифікації;
- кросплатформність;
- вільнопоширюваність;
- функціональність.

Для визначення комплексної оцінки електронних навчальних ресурсів використано сукупність оцінок, що надали експерти, яких може бути декілька груп. Нижче наведено визначення підсумкової комплексної оцінки електронних навчальних ресурсів.

Критерії оцінювання якості електронних навчальних ресурсів (ЕНР) можна подати в полярній системі координат, що загалом утворюють неправильний багатокутник, площа якого кількісно і якісно характеризує їх оцінку за всіма характеристиками одночасно. За формою отриманих багатокутників матимемо візуальну якісну характеристику ЕНР за усіма критеріями одночасно, а форма секторного багатокутника – за відповідним критерієм. Різниця між площею круга та площею багатокутника ($\Delta S_{кр} = S_{кр} - S_{бк}$) буде тією часткою, яку ще потрібно досягти на цей момент для покращення показників ЕНР. Якщо поділити площу багатокутника на сектори, отримаємо оцінку ЕНР за певним критерієм (рис. 4).

Для того, щоб цей метод візуалізації оцінки ЕНР був коректним, повинні виконуватись деякі умови, а саме: критеріїв має бути не менше від трьох; початковий критерій повинен міститися на додатній осі ординат.

Кут β між відрізками утворює сектор, величина якого характеризує вплив відповідного критерію на загальний результат оцінювання якості. Якщо вплив усіх критеріїв на якість навчального ресурсу однаковий, то відрізки відповідних критеріїв будуть рівномірно розподілені по кругу полярної системи координат. Наприклад, для шести критеріїв цей кут між усіма відрізками становитиме $\beta = \frac{2\pi}{6}$. За неоднакового впливу критеріїв на якість ресурсу кути між відповідними відрізками визначають за формулою:

$$\tilde{B} = \left\{ \beta_j = 2\pi \cdot \frac{w_j}{\sum_{i=1}^N w_i}, \quad j = \overline{1, N} \right\}, \quad (1)$$

де $\tilde{W} = \{w_j, j = \overline{1, N}\}$ – ваговий коефіцієнт j -го критерію оцінювання; N – кількість критеріїв оцінювання якості навчальних ресурсів.

Якщо відкласти відрізки-критерії ($p_1, \dots, p_6$) у полярній системі координат і через кожну точку їхніх вершин провести відрізок, то матимемо так звану пелюсткову діаграму (рис. 1), а отримана площа фігури ($S_{пд}$) кількісно характеризуватиме якість навчального ресурсу за всіма критеріями одночасно. Площі секторних пелюсток ($s_1, \dots, s_6$), обмежені полярними секторами ($c_1, \dots, c_6$) з кутом $\alpha_j = (\beta_j + \beta_{j-1})/2$, кількісно характеризуватимуть якість навчального ресурсу за відповідними критеріями її оцінювання.

Форма пелюсткової діаграми дає якісну характеристику ЕНР за усіма критеріями одночасно, а форма секторного пелюстка – за відповідним критерієм. Якщо поділити площу пелюсткової діаграми ($S_{пд}$) на площу круга ($S_{кр}$), у якому вона міститься, то отримаємо частку якості ЕНР, яку матимемо за оцінками певного експерта. Незаповнена площа круга ($\Delta S_{кр} = S_{кр} - S_{пд}$) – та частина якості ЕНР, якої ще потрібно досягти для стовідсоткової її повноти. Якщо поділити площу секторного пелюстка (s_j) на площу сектора (c_j), в якому він міститься, то отримаємо частку якості ЕНР за j -м критерієм, яку матимемо за оцінками певного експерта. Незаповнена площа сектора

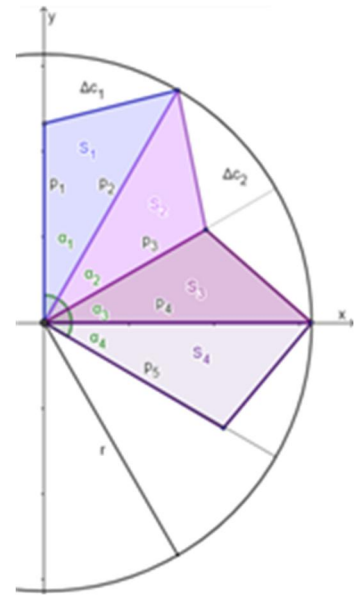


Рис. 4. Поділ багатокутника на сектори

круга ($\Delta c_j = s_j - c_j$) – та частина якості ЕНР, якої ще потрібно досягти за відповідним критерієм. Радіус круга (r) повинен відповідати стовідсотковій якості ЕНР за кожним критерієм його оцінювання.

Щоб визначити площі ($s_1, \dots, s_6$) секторних пелюсток (рис. 4) через кут (β_j) між значеннями його критеріїв (p_j), використаємо таку формулу:

$$s_j = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-1} p_i p_{i+1} \beta_j, j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Відповідно площі секторів круга ($c_1, \dots, c_6$), складовими яких є секторні пелюстки, через кут (β_j) між його радіусами (r) визначимо за формулою

$$c_j = \pi r^2 \beta_j, j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Отже, формула (2) дає змогу розрахувати площі секторних пелюсток, за допомогою яких обчислюють й оцінюють якість ЕНР за відповідними критеріями. Також ці площі дають змогу визначити ту частину якості ЕНР за певним критерієм, яку маємо на певний момент за оцінками одного із експертів, а також ту частку якості ЕНР, якої ще потрібно досягти для стовідсоткової її повноти.

Критерії оцінювання якості ЕНР та їхні вагові коефіцієнти. Довжини векторів у полярній системі координат повинні пропорційно відповідати значенням відповідних критеріїв оцінювання якості ЕНР, які визначають через оцінки респондентів і ролі кожного з них. У цьому випадку учасниками процесу оцінювання будуть три групи експертів: учасники засідання кафедри, учасники методичної комісії та члени засідання екзаменаційної комісії. Відмінність ролей у тому, що оцінка якості ЕНР, яку надає певний експерт, може мати більшу важливість у зазначеному процесі, ніж оцінка, яку надає інший експерт, позаяк їхня кваліфікація різна. Усіх респондентів називатимемо експертами. Кожному експерту надамо певні вагові коефіцієнти для кожного з критеріїв оцінювання якості ЕНР (табл. 1), значення яких вказуватимуть на їхню обізнаність у певній предметній галузі.

Зібрані оцінки якості ЕНР від кожного з експертів зберігають у базі даних (табл. 2). Отримують оцінки від експертів, опитуючи їх з використанням ранжованої шкали за кожним з критеріїв. Експерти повинні виставити відповідні оцінки, кожен із яких потім враховують через відповідні вагові коефіцієнти (табл. 1). Кожен із критеріїв по-різному впливатиме на комплексний показник якості, значення якого згодом визначають для кожного з експертів. Залежно від кваліфікації експерта для кожного із них відрізнятимуться також значення коефіцієнтів вагомості (табл. 3).

Таблиця 1

**Критерії оцінювання якості електронного навчального
ресурсу та їх вагові коефіцієнти**

Критерії оцінювання якості ЕНР та їх вагові коефіцієнти					
	Засідання кафедри	Методична рада факультету	Засідання ЕК	Сума	Середнє значення
Інтерактивність	9	6	7	22	7,33
Мультимедійність	6	5	5	16	5,33
Можливість модифікації	9	4	7	20	6,67
Кросплатформність	8	5	6	19	6,33
Вільнопоширюваність	9	7	8	24	8,00
Функціональність	10	8	9	27	9,00
Разом	51	35	42		

Таблиця 2

**Зведені оцінки експертів за критеріями оцінювання
якості електронного навчального ресурсу**

Оцінки експертів					
	Засідання кафедри	Методична рада факультету	Засідання ЕК	Сума	Середнє значення
Інтерактивність	7	6	8	21	7,00
Мультимедійність	8	9	7	24	8,00
Можливість модифікації	10	8	9	27	9,00
Кросплатформність	8	7	9	24	8,00
Вільнопоширюваність	10	8	10	28	9,33
Функціональність	9	8	10	27	9,00

Таблиця 3

Ролі експертів і коефіцієнти їхньої вагомості

Експерти	Абсолютний коефіцієнт вагомості	Відносний коефіцієнт вагомості
Засідання кафедри	9	0,9
Методична рада факультету	7	0,7
Засідання ЕК	8	0,8

Введемо множину вагових коефіцієнтів для кожного із критеріїв оцінювання якості ЕНР, які надаються кожному з експертів, а саме:

$$\bar{W}_i = \{w_{i,k} = [1, \dots, 10], k = \overline{1, K}, i = \overline{1, M}\}, \quad (4)$$

де $w_{i,k}$ – ваговий коефіцієнт i -го критерію оцінювання якості ЕНР, який надається k -му експерту; $[1, \dots, 10]$ – діапазон значень оцінок експертів від 0 до 10 із кроком 1; K – кількість експертів; M – кількість критеріїв оцінювання якості ЕНР.

У табл. 1 середнє значення вагових коефіцієнтів для i -го критерію оцінювання якості ЕНР визначено за такою формулою

$$\bar{W}^c = \left\{ w_i^c = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w_{i,k}, i = \overline{1, M} \right\}. \quad (5)$$

Для кожного окремого експерта, що бере участь у процедурі оцінювання якості ЕНР, в базі даних має зберігатися сукупність оцінок, які він поставив. Також у цій базі даних зберігають ознаки ролей експертів і коефіцієнти їх вагомості (табл. 3). Значення коефіцієнтів вагомості виражають як в абсолютних одиницях, так і у відносних. Ці значення потрібно використати для врегулювання узагальнених показників якості ЕНР, які стосуватимуться експертів. Початкові значення коефіцієнтів вагомості експертів беруть емпірично, із урахуванням їхньої важливості. Насправді ж ці значення потрібно визначати через відповідні тести за 100-бальною шкалою, результати яких вказують реальні значення коефіцієнтів вагомості експертів.

Введено множину коефіцієнтів вагомості, які надамо кожному з експертів під час оцінювання якості ЕНР, а саме:

$$\bar{Q} = \{q_k = [1, \dots, 10], k = \overline{1, K}\}, \quad (6)$$

де q_k – коефіцієнт вагомості k -го експерта під час оцінювання якості ЕНР.

Визначення комплексних показників якості ЕНР. Для визначення комплексних показників якості ЕНР використано сукупність оцінок, які нададуть відповідні експерти – учасники процесу оцінювання його якості (табл. 2 і 3). Визначають підсумкові комплексні показники якості ЕНР для кожного з експертів окремо і комплексний узагальнений показник якості ЕНР для усіх експертів загалом.

Введемо множину оцінок якості ЕНР, які може виставляти будь-який експерт за певним критерієм його оцінювання, а саме

$$\tilde{U} = \{u_i = [1, \dots, 10], i = \overline{1, M}\}, \quad (7)$$

де u_i – оцінка якості ЕНР, яку надає експерт за i -м критерієм його оцінювання.

Кожна окрема оцінка якості ЕНР за відповідним критерієм, яку надає будь-який експерт, належить цій множині:

$$\tilde{X}_i = \{x_{i,k} \in u_i, k = \overline{1, K}, i = \overline{1, M}\}, \quad (8)$$

де $x_{i,k}$ – оцінка якості за i -м критерієм його оцінювання, яку надає k -й експерт.

Для кожного експерта введено таке поняття, як комплексний показник якості ЕНР за відповідним критерієм його оцінювання, що можна обчислити за такою формулою:

$$\tilde{G}_i = \{g_{i,k} = x_{i,k} \cdot w_{i,k} \cdot q_k, k = \overline{1, K}, i = \overline{1, M}\}, \quad (9)$$

де $g_{i,k}$ – комплексний показник якості ЕНР за i -м критерієм його оцінювання, який стосується k -го експерта.

Для узагальненого експерта так званий комплексний показник якості ЕНР за відповідним критерієм його оцінювання обчислимо за формулою:

$$\tilde{G}_i = \left\{ g_{i,K+1} = \sum_{j=1}^K x_{i,j} \cdot w_{i,j} \cdot q_j / \sum_{j=1}^K q_j, i = \overline{1, M} \right\}, \quad (10)$$

де $g_{i,K+1}$ – комплексний показник якості ЕНР за i -м критерієм його оцінювання, який стосується узагальненого $(K+1)$ -го експерта.

Якщо врахувати, що оцінку якості ЕНР ($x_{i,k}$) експерти під час опитування виставляють за десятибальною шкалою, ваговий коефіцієнт критерію оцінювання $w_{i,k}$ визначають також за десятибальною шкалою, а коефіцієнт вагомості експерта q_k – значення від 0 до 1, то комплексний показник якості ЕНР ($g_{i,k}$) матиме значення від 0 до 100.

Для обчислення підсумкового комплексного показника якості ЕНР для кожного з експертів використаємо формулу:

$$\tilde{D} = \left\{ d_k = q_k \cdot \sum_{i=1}^M x_{i,k} \cdot w_{i,k} / \sum_{i=1}^M w_{i,k}, k = \overline{1, K} \right\}, \quad (11)$$

а узагальнений комплексний показник якості ЕНР для усіх експертів загалом обчислимо за формулою:

$$d^y = \sum_{k=1}^K d_k / \sum_{k=1}^K q_k. \quad (12)$$

У табл. 4 наведено результати розрахунку комплексних показників якості ЕНР та їхні усереднені значення з урахуванням вагових коефіцієнтів критеріїв їх оцінювання, а також вагомості кожного із експертів окремо й усіх експертів загалом.

Таблиця 4

Результати розрахунку комплексних показників якості ЕНР та їхні усереднені значення

Критерії оцінювання якості ЕНР				
	Засідання кафедри	Методична рада факультету	Засідання ЕК	Усереднені оцінки
Коефіцієнт вагомості	0,9	0,7	0,8	0,8
Інтерактивність	56,7	25,2	44,8	42,23
Мультимедійність	43,2	31,5	28	34,23
Можливість модифікації	81	22,4	50,4	51,27
Кросплатформність	57,6	24,5	43,2	41,77
Вільнопоширюваність	81	39,2	64	61,40
Функціональність	81	44,8	72	65,93

Алгоритм розрахунку площі пелюсткової діаграми. Комплексні показники якості ЕНР подано у вигляді відрізків, відкладених із початку координат полярної системи, які мають утворити пелюсткові діаграми для кожного експерта окремо й узагальненого експерта загалом. Кожний такий відрізок характеризується відповідно довжиною і кутом до попереднього відрізка. Довжина відрізка у будь-якому випадку повинна відповідати кількісному значенню комплексного показника якості ЕНР за відповідним критерієм.

Площа пелюсткової діаграми кількісно характеризує якість ЕНР за всіма критеріями одночасно, а форма діаграми дає якісну характеристику ЕНР.

За неоднакового впливу критеріїв на якість ЕНР (формула (1)) кути між відповідними векторами з урахуванням (4) визначають за формулою:

$$\tilde{B}_k = \left\{ \beta_{i,k} = 2\pi \cdot w_{i,k} / \sum_{j=1}^M w_{j,k}, i = \overline{1, M} \right\}, k = \overline{1, K}, \quad (13)$$

а для середнього значення оцінок якості ЕНР (тобто $k = K+1$) з урахуванням (5) ця формула матиме вигляд:

$$\tilde{B}_k = \left\{ \beta_{i,k} = 2\pi \cdot w_i^c / \sum_{j=1}^M w_j^c, i = \overline{1, M} \right\}, k = K + 1. \quad (14)$$

Перший відрізок-критерій має міститися на осі ординат у полярній системі координат, а всі наступні критерії обернені на кут $\beta_{i,k}$ відносно попереднього.

Форма пелюсткової діаграми, побудованої за вершинами відрізків-критеріїв, для будь-якого експерта дає якісну характеристику ЕНР за вибраними критеріями його оцінювання. Водночас, отримана площа пелюстки кількісно характеризуватиме якість ЕНР одночасно за всіма критеріями.

Щоб знайти площу пелюсткової діаграми за довжинами відрізків її критеріїв, можна використати таку формулу

$$S_{\text{пд}}^k = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M g_{i,k} \cdot g_{i+1,k} \cdot \beta_{i,k}, k \in K + 1. \quad (17)$$

Для встановлення частки якості ЕНР, яку маємо на певний момент за оцінками певного експерта, потрібно поділити площу пелюсткової діаграми на площу круга, в якому вона міститься, а саме

$$z_k = \frac{S_{\text{пд}}^k}{\pi r^2}, k \in K + 1, \quad (18)$$

де z_k – частка якості ЕНР, яку встановлено за даними k -го експерта; r – радіус круга. Як зазначено вище, комплексний показник якості ЕНР ($g_{i,k}$) матиме максимальне значення 100, тобто радіус круга становитиме 100 од. Незаповнена площа круга – та частка якості ЕНР, якої ще потрібно досягти для стовідсоткової її повноти. На рис. 5–8 оцінки якості електронних навчальних ресурсів подано за допомогою пелюсткових діаграм.

Для реалізації запропонованого способу визначення комплексної оцінки електронних навчальних ресурсів використано систему динамічної математики GeoGebra. GeoGebra – це вільно-поширюваний програмний продукт, що поєднує можливості динамічної геометрії з аналітичними обчисленнями [30]. Його динамічний інтерфейс дає змогу користувачам точно та інтерактивно візуалізувати різні процеси, моделі та результати. GeoGebra використовує синтез трьох ключових функцій: моделювання, візуалізації та програмування. Інтеграція цих функцій дає змогу широко розглядати важливість різних математичних областей [25]. Система GeoGebra – це програма із відкритим вихідним кодом, яка дає змогу працювати на портативних комп'ютерах та має доступну мобільну версію. Раніше аплети GeoGebra працювали через плагін Java для веббраузера, а після оновлень з'явилася GeoGebraMobile. Разом із тим доступна версія HTML5 під назвою

GeoGebraWeb. GeoGebraWeb і настільна версія GeoGebra працюють на одній базі коду Java. Загалом, у GeoGebra використано два типи сценаріїв: внутрішній скрипт GeoGebra, у який вбудовано внутрішні команди, і зовнішній сценарій Java [24].

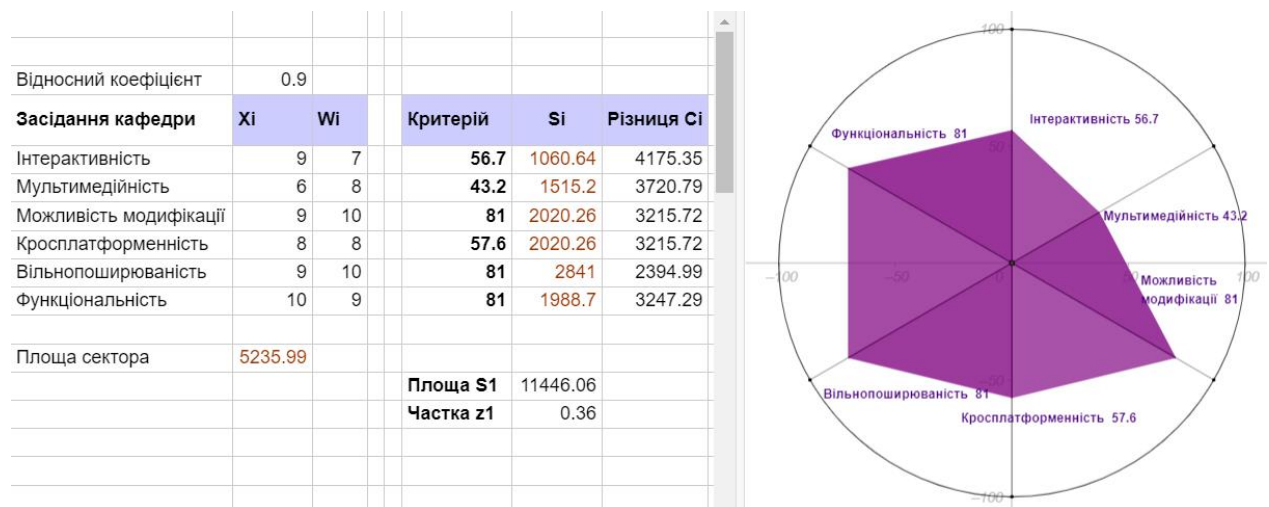


Рис. 5. Оцінка якості ЕНР членами кафедри

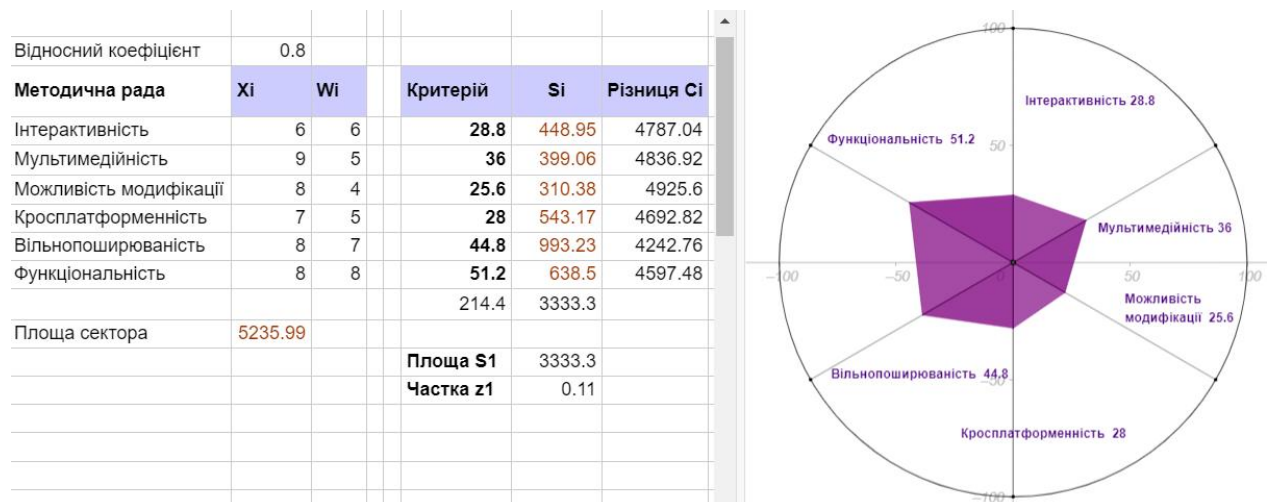


Рис. 6. Оцінка якості ЕНР членами методичної ради

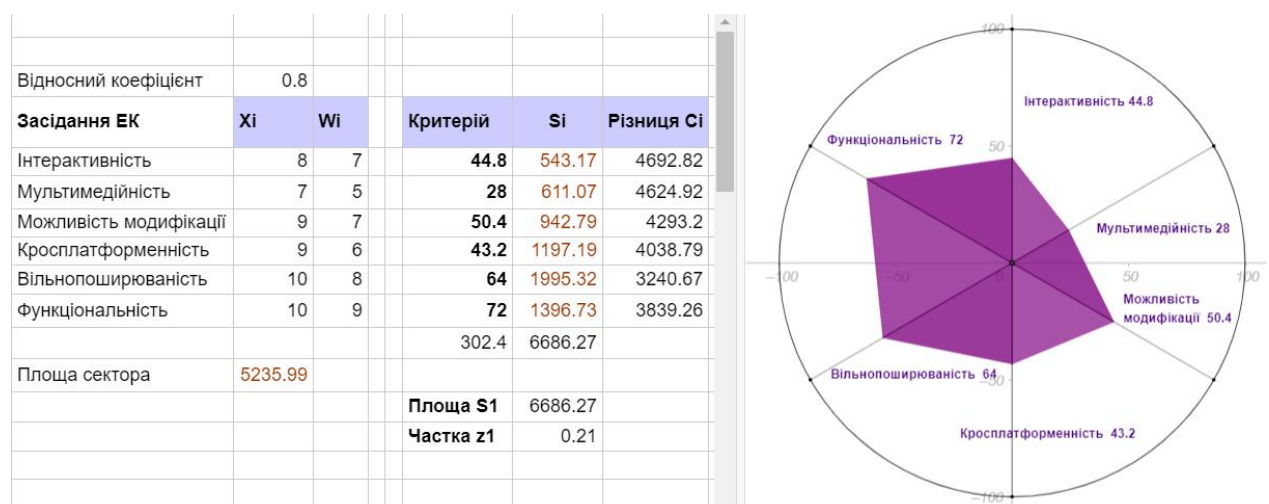


Рис. 7. Оцінка якості ЕНР членами екзаменаційної комісії

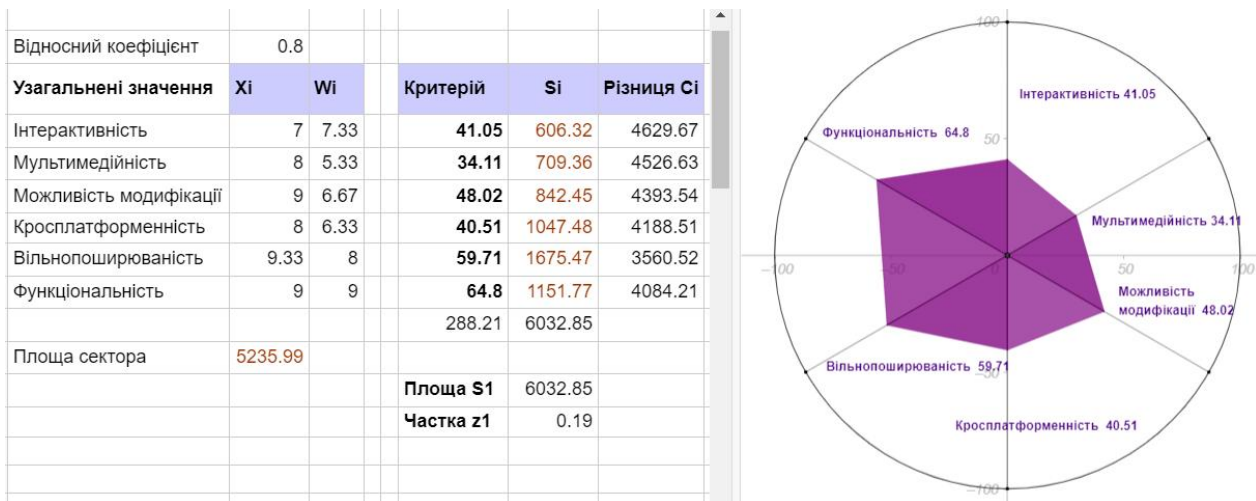
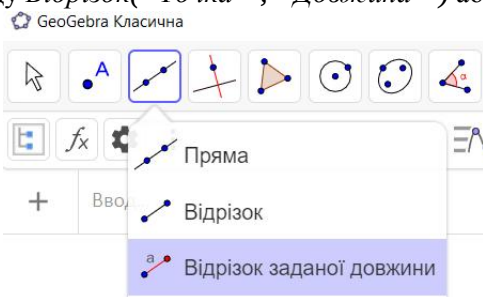


Рис. 8. Узагальнені оцінки якості ЕНР

Для побудови пелюсткової діаграми використано модулі GeoGebra *Графіки* і *Таблиця*. Передбачено перегляд електронної таблиці – інтерактивної електронної таблиці, пов'язаної з іншими модулями GeoGebra (наприклад, графічним переглядом). Кожна комірка має конкретне ім'я, ці імена комірок можна вживати у виразах і командах для адресації вмісту відповідної комірки та використовувати дані під час організації побудов. У комірки електронної таблиці можна вводити не тільки числа, а й усі типи загальних і геометричних об'єктів, які підтримує *GeoGebra* (наприклад, координати точок, функції, команди).

У таблиці зберігаються всі дані щодо експертного оцінювання якості ЕНР, а також здійснюються всі необхідні обчислення. Крім того, ця таблиця пов'язана із модулем *Графіки*. Побудова моделі пелюсткової діаграми відбувалася так: для відкладання відрізків, що відповідають критеріям, використано інструмент *Відрізок заданої довжини*. Цей інструмент створює сегмент із певною довжиною та кінцевою точкою, яку можна обертати навколо початкової точки. Задають команду *Відрізок(<Точка>, <Довжина>)* або на панелі інструментів



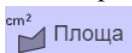
Початкову точку потрібно поставити на початку координат і у вікні, що відразу відкривається, задати довжину відрізка. Оскільки наперед не відома довжина, то потрібно прикріпити довжину відрізка до комірки таблиці, де міститиметься значення критерію (F5). Аналогічно для решти критеріїв. Кут між двома відрізками задано обертанням відрізка навколо початку координат. Для цього застосовують інструмент *Повернути(<Об'єкт>, <Кут>, <Точка>)* або на панелі інструментів



інструментів, де потрібно вибрати об'єкт, який буде обертатися, вказати центр повороту і ввести кут у потрібне поле діалогового вікна, що з'явиться. Кут можна задавати конкретним значенням або прив'язувати до певного об'єкта, наприклад, до клітинки в таблиці. З'єднавши точки за допомогою інструменту *Многокутник(<Точка>, ..., <Точка>)* або на панелі інструментів



інструментів, отримуємо *Трикутник t1*, що відповідає першій пелюстці діаграми. Аналогічно відбувається побудова пелюсток для решти критеріїв. Для обчислення площі пелюстки, тобто *Трикутника t1*, використано інструмент *Площа(<Многокутник>)* або на панелі інструментів



(рис. 9).

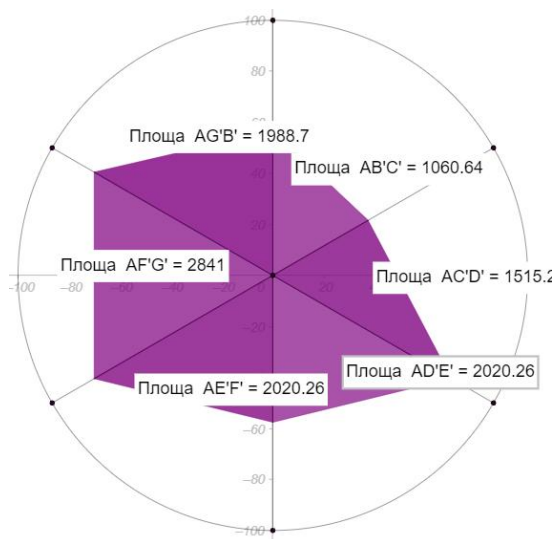


Рис. 9. Площі пелюсток

Текст

Н К Serif LaTeX

Площа A B' C' = t1

Додатково

СКАСУВАТИ

OK

Рис. 10. Інструмент Текст

На рис. 10 показано, що надписи з'являються у результаті підтягування наявних значень, тобто площа трикутника $AB'C'$ у системі має позначення $t1$.

Для того, щоб не загромождувати рисунок надписами цих площ, їх значення перенесено в таблицю із посиланням на значення $t1, t2, \dots, t6$ (рис. 11).

Ваговий коефіцієнт	0.9				
Засідання кафедри	Xi	Wi	Критерій	Si	
Інтерактивність	7	9	56.7	=t1	
Мультимедійність	8	6	43.2	1515.2	
Можливість модифікації	10	9	81	2020.26	
Кроссплатформенність	8	8	57.6	2020.26	
Вільнопоширюваність	10	9	81	2841	
Функціональність	9	10	81	1988.7	

Рис. 11. Зв'язування таблиці з графічними об'єктами

Надписи критеріїв додано за допомогою інструменту **ABC Текст**, що дає змогу не лише написати будь-який текст, але і підтягнути уже наявні значення, як на рис. 12 значення критерію. Інтерактивність взято з комірки F5.

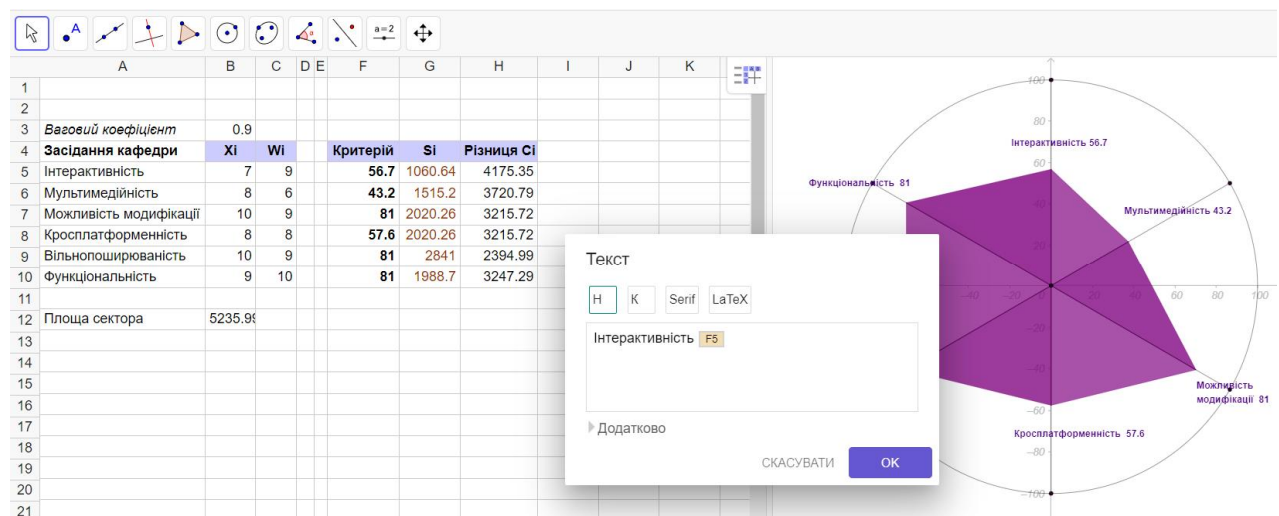


Рис. 12. Зв'язок графічних об'єктів із таблицею

Зазначимо, що створені конструкції зберігаються у вигляді файла GeoGebra із розширення ggb. GeoGebra дає змогу експортувати ці файли GGB у вигляді динамічних HTML-аркушів, як Mediawiki. Це дасть можливість вставляти файли у вебсторінки, блоги та вікі. Для цього потрібно вибрати команду *Експортувати* у підменю та *Динамічний аркуш як вебсторінку (html)*, щоб відкрити діалогове вікно *Експорт: динамічний аркуш (html)*. Після збереження файла експортований файл буде збережений як HTML і за необхідності відображатиметься у браузері. Його можна завантажувати на вебсайт або відредагувати в редакторі HTML. Код GeoGebra написано на Javascript.

Висновки

Розроблено методику візуалізації результатів експертного оцінювання якості ЕНР, яка полягає у тому, що результатом оцінювання є множина пелюсткових діаграм, побудованих у полярній системі координат за оцінками окремих експертів з урахуванням важливості кожного з критеріїв оцінювання і вагомостей самих експертів. Такий механізм візуалізації інформації надає змогу якісно та кількісно подати множини значень комплексних показників якості ЕНР, які можна отримати за результатами будь-якого опитування різних експертів щодо певного електронного навчального ресурсу. Описано алгоритм розрахунку площ секторних пелюсток у полярній системі координат, за допомогою яких можна оцінити відносну якість ЕНР за відповідними критеріями оцінювання. Підібрано критерії оцінювання якості ЕНР та їх вагові коефіцієнти для кожного з експертів. Наведено алгоритм розрахунку площі пелюсткової діаграми, що дає можливість визначити загальний показник якості ЕНР за всіма критеріями, а також частку якості, якої ще потрібно досягти до стовідсоткової повноти. Модель пелюсткових діаграм реалізовано в системі динамічної математики GeoGebra, що сприяє ефективному поданню результатів дослідження.

У перспективі заплановано удосконалення розробленої моделі щодо автоматичної зміни кута між відрізками-критеріями залежно від впливу критеріїв на якість ЕНР, а також розроблення моделі пелюсткових діаграм на основі відкладених векторів-критеріїв у полярній системі координат. Надалі ми досліджуватимемо експертне оцінювання якості електронних навчальних ресурсів на основі методів нечіткої логіки та візуальне подання результатів дослідження із використанням пелюсткових діаграм.

Список літератури

1. Bigham Bahram, Mohades, A. (2019). The Dual of Polar Diagram and its Extraction. *Recent Progress in Computational Sciences and Engineering*, 451–454. <https://doi.org/10.1201/9780429070655-10>.
2. Boiko, O., Shendryk, V., Parfenenko, Y., Pavlenko, P., & Kholiavka, Y. (2021). Development of expert assessment methods in planning energy supply of buildings with renewable energy sources. *Technology Audit and Production Reserves*, 2(58), 51–54. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.230230>.
3. Brasseur, L. (2005). Florence nightingale's visual rhetoric in the rose diagrams. *Technical Communication Quarterly*, 14(2), 161–182. https://doi.org/10.1207/s15427625tcq1402_3.
4. Burch, M. & Weiskopf, D. (2014). On the benefits and drawbacks of radial diagrams. *In Handbook of Human Centric Visualization*, 429–451. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7485-2_17.
5. Burch, M. (2015). The Aesthetics of Diagrams. *IVAPP 2015 – 6th International Conference on Information Visualization Theory and Applications; VISIGRAPP, Proceedings*, 262–267. <https://doi.org/10.5220/0005357502620267>.
6. Conati, C., Carenini, G., Hoque, E., Steichen, B. & Toker D. (2014). Evaluating the Impact of User Characteristics and Different Layouts on an Interactive Visualization for Decision Making. *Computer Graphics Forum*, 33, 371–380. <https://doi.org/10.1111/cgf.12393>.
7. Diehl, S., Beck, F. & Burch, M. (2010). Uncovering strengths and weaknesses of radial visualizations – an empirical approach. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 16(6), 935–942. DOI: 10.1109/TVCG.2010.209.
8. Draper, G. M., Livnat, Y., & Riesenfeld R. F. (2009). A survey of radial methods for information visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 15(5), 759–776. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2009.23>
9. Filipov, V., Schetinger, V., Raminger, K., Soursos, N., Zapke, S., & Miksch, S. (2021). Gone full circle: A radial approach to visualize event-based networks in digital humanities. *Visual Informatics*, 5(1), 45–60. <https://doi.org/10.1016/j.visinf.2021.01.001>

10. Galbraith, Rex F. (1994). Some Applications of Radial Plots. *Journal of the American Statistical Association*, 89(428), 1232–42. <https://doi.org/10.2307/2290987>.
11. Justin K. Dimmel & Patricio G. Herbst. (2015). The Semiotic Structure of Geometry Diagrams: How Textbook Diagrams Convey Meaning. *Journal for Research in Mathematics Education*, 46(2), 147–195. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.46.2.0147>.
12. Kanthara, S., Leong, R., Lin, X., Masry, A., Thakkar, M., Hoque, E. & Joty, S. (2022). Chart-to-Text: A Large-Scale Benchmark for Chart Summarization. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.06486>.
13. Khan, M. & Khan, S. (2011). Data and Information Visualization Methods, and Interactive Mechanisms: A Survey. *International Journal of Computer Applications*. 34. 1–14.
14. Khokhlov, A., Pilipenko, V., Krasnoperov, R., Nikolova, Yu & Dobrovolsky, M. (2020). Geomagnetic Field Variability Analysis Based on Polar Diagrams. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 56, 854–863. <https://doi.org/10.1134/S1069351320060038>.
15. Nazemi, K., Burkhardt, D., Hoppe, D., Nazemi, M., & Kohlhammer, J. (2015). Web-based Evaluation of Information Visualization. *Procedia Manufacturing*, 3, 5527–5534. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.718
16. Pasichnyk V., Tabachyshyn D., Kunanets N., & Rzhenskyi A. (2020). Visualization of Expert Evaluations of the Smartness of Sociopolises with the Help of Radar Charts. *Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC)*, 938, 2019, 126–141. DOI: 10.1007/978-3-030-16621-2_12.
17. Rodrigues, A. M., Barbosa, G. D., Lopes, H. C., & Barbosa, S. D. (2019). Comparing the Effectiveness of Visualizations of Different Data Distributions. *2019 32nd SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI)*, 84–91. DOI: 10.1109/SIBGRAPI.2019.00020
18. Saket, B., Endert, A., & Demiralp, Ç. (2019). Task-Based Effectiveness of Basic DOI: 10.1109/TVCG.2018.2829750
19. Sandnes, F. (2012). On the Truthfulness of Petal Graphs for Visualisation of Data. Norsk Informatik konferanse. Trondheim: Tapir akademiske forlag.
20. Steichen, B., & Fu, B. (2019). Towards Adaptive Information Visualization – A Study of Information Visualization Aids and the Role of User Cognitive Style. *Frontiers in artificial intelligence*, 2(22). <https://doi.org/10.3389/frai.2019.00022>.
21. Toker, D., Conati, C., Carenini, G., & Haraty, M. (2012). Towards adaptive information visualization: on the influence of user characteristics, *UMAP 2012*, 274–285. DOI: 10.1007/978-3-642-31454-4_23.
22. Waldner, M., Diehl, A., Gračanin, D., Splechtna, R., Delrieux, C., & Matković, K. (2020). A Comparison of Radial and Linear Charts for Visualizing Daily Patterns. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 26, 1033–1042. DOI: 10.1109/TVCG.2019.2934784.
23. Xiong, C., Setlur, V., Bach, B., Lin, K., Koh, E., & Franconeri, S.L. (2022). Visual Arrangements of Bar Charts Influence Comparisons in Viewer Takeaways. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28, 955–965. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.06370>.
24. Ziatdinov, Rushan. (2018). Visualization in Basic Science and Engineering Education: Call for Manuscripts for a Special Issue. *European Journal of Contemporary Education*, 7. DOI: 10.13187/ejced.2018.1.4.
25. Ziatdinov, Rushan & Valles Jr, James. (2022). Synthesis of Modeling, Visualization, and Programming in GeoGebra as an Effective Approach for Teaching and Learning STEM Topics. *Mathematics*, 10. 398. <https://doi.org/10.3390/math10030398>.
26. Боцула, М. П., & Моргун, І. А. (2010). Метод отримання комплексної оцінки якості веб-матеріалів з використанням полярної системи координат. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, (1), 84–88.
27. Грицюк, Ю. І., & Далявський, В. С. (2018). Використання пелюсткових діаграм для візуалізації результатів експертного оцінювання якості програмного забезпечення. *Науковий вісник НЛТУ України*, 28(9), 95–104. <https://doi.org/10.15421/40280919>
28. Романенков, Ю. А., Вартанян, В. М., Прончаков, Ю. Л., & Зейниев, Т. Г. (2016). Средства инфографического анализа агрегированных показателей многомерных объектов и систем. Моделирования в економіці, організація виробництва та управління проектами. *Системи обробки інформації*, 8(145), 157–165.
29. Харченко, В. С., Тарасюк О. М., Волковой, А. В., & Бельй Ю. А. (2005). Применение динамических радиальных метрических диаграмм для управления многоверсионными программными проектами. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, 2, 63–68.
30. Юнчик, В. Л., Федонюк, А. А. (2019). Порівняльна характеристика функціональних можливостей систем комп'ютерної математики в процесі розв'язування задач. *Інформаційні системи і мережі: Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*, 6, 90–102. <https://doi.org/10.23939/sisn2019.02.090>.

References

1. Bigham Bahram, Mohades, A. (2019). The Dual of Polar Diagram and its Extraction. *Recent Progress in Computational Sciences and Engineering*, 451–454. <https://doi.org/10.1201/9780429070655-10>.
2. Boiko, O., Shendryk, V., Parfenenko, Y., Pavlenko, P., & Kholiavka, Y. (2021). Development of expert assessment methods in planning energy supply of buildings with renewable energy sources. *Technology Audit and Production Reserves*, 2(58), 51–54. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.230230>.
3. Brasseur, L. (2005). Florence nightingale's visual rhetoric in the rose diagrams. *Technical Communication Quarterly*, 14(2), 161–182. https://doi.org/10.1207/s15427625tcq1402_3.
4. Burch, M. & Weiskopf, D. (2014). On the benefits and drawbacks of radial diagrams. *In Handbook of Human Centric Visualization*, 429–451. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7485-2_17.
5. Burch, M. (2015). The Aesthetics of Diagrams. *IVAPP 2015 - 6th International Conference on Information Visualization Theory and Applications; VISIGRAPP, Proceedings*, 262–267. <https://doi.org/10.5220/0005357502620267>.
6. Conati, C., Carenini, G., Hoque, E., Steichen, B. & Toker D. (2014). Evaluating the Impact of User Characteristics and Different Layouts on an Interactive Visualization for Decision Making. *Computer Graphics Forum*, 33, 371–380. <https://doi.org/10.1111/cgf.12393>.
7. Diehl, S., Beck, F. & Burch, M. (2010). Uncovering strengths and weaknesses of radial visualizations – an empirical approach. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 16(6), 935–942. DOI:10.1109/TVCG.2010.209.
8. Draper, G. M., Livnat, Y., & Riesenfeld R. F. (2009). A survey of radial methods for information visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 15(5), 759–776. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2009.23>
9. Filipov, V., Schetinger, V., Raminger, K., Soursos, N., Zapke, S., & Miksch, S. (2021). Gone full circle: A radial approach to visualize event-based networks in digital humanities. *Visual Informatics*, 5(1), 45–60. <https://doi.org/10.1016/j.visinf.2021.01.001>
10. Galbraith, Rex F. (1994). Some Applications of Radial Plots. *Journal of the American Statistical Association*, 89(428) 1232–42. <https://doi.org/10.2307/2290987>.
11. Justin K. Dimmel & Patricio G. Herbst. (2015). The Semiotic Structure of Geometry Diagrams: How Textbook Diagrams Convey Meaning. *Journal for Research in Mathematics Education*, 46(2), 147–195. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.46.2.0147>.
12. Kanthara, S., Leong, R., Lin, X., Masry, A., Thakkar, M., Hoque, E. & Joty, S. (2022). Chart-to-Text: A Large-Scale Benchmark for Chart Summarization. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.06486>.
13. Khan, M. & Khan, S. (2011). Data and Information Visualization Methods, and Interactive Mechanisms: A Survey. *International Journal of Computer Applications*, 34, 1–14.
14. Khokhlov, A., Pilipenko, V., Krasnoperov, R., Nikolova, Yu & Dobrovolsky, M. (2020). Geomagnetic Field Variability Analysis Based on Polar Diagrams. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 56, 854–863. <https://doi.org/10.1134/S1069351320060038>.
15. Nazemi, K., Burkhardt, D., Hoppe, D., Nazemi, M., & Kohlhammer, J. (2015). Web-based Evaluation of Information Visualization. *Procedia Manufacturing*, 3, 5527–5534. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.718
16. Pasichnyk V., Tabachyshyn D., Kunanets N., & Rzhyskyi A. (2020). Visualization of Expert Evaluations of the Smartness of Sociopolises with the Help of Radar Charts. *Advances in Intelligent Systems and Computing (AISC)*, 938, 2019, 126–141. DOI: 10.1007/978-3-030-16621-2_12.
17. Rodrigues, A. M., Barbosa, G. D., Lopes, H. C., & Barbosa, S. D. (2019). Comparing the Effectiveness of Visualizations of Different Data Distributions. *2019 32nd SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI)*, 84–91. DOI: 10.1109/SIBGRAPI.2019.00020
18. Saket, B., Endert, A., & Demiralp, Ç. (2019). Task-Based Effectiveness of Basic Visualizations. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 25, 2505–2512. DOI: 10.1109/TVCG.2018.2829750
19. Sandnes, F. (2012). On the Truthfulness of Petal Graphs for Visualisation of Data. Norsk Informatik konferanse. Trondheim: Tapir akademiske forlag.
20. Steichen, B., & Fu, B. (2019). Towards Adaptive Information Visualization – A Study of Information Visualization Aids and the Role of User Cognitive Style. *Frontiers in artificial intelligence*, 2(22). <https://doi.org/10.3389/frai.2019.00022>
21. Toker D., Conati C., Carenini G., & Haraty M. (2012). Towards adaptive information visualization: on the influence of user characteristics, *UMAP 2012*, 274–285. 10.1007/978-3-642-31454-4_23
22. Waldner, M., Diehl, A., Gračanin, D., Splechna, R., Delrieux, C., & Matković, K. (2020). A Comparison of Radial and Linear Charts for Visualizing Daily Patterns. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 26, 1033–1042. DOI: 10.1109/TVCG.2019.2934784

23. Xiong, C., Setlur, V., Bach, B., Lin, K., Koh, E., & Franconeri, S.L. (2022). Visual Arrangements of Bar Charts Influence Comparisons in Viewer Takeaways. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28, 955–965. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.06370>
24. Ziatdinov, Rushan. (2018). Visualization in Basic Science and Engineering Education: Call for Manuscripts for a Special Issue. *European Journal of Contemporary Education*, 7. DOI: 10.13187/ejced.2018.1.4.
25. Ziatdinov, Rushan & Valles Jr., James. (2022). Synthesis of Modeling, Visualization, and Programming in GeoGebra as an Effective Approach for Teaching and Learning STEM Topics. *Mathematics*. 10. 398. <https://doi.org/10.3390/math10030398>.
26. Botsula, M. P., & Morhun, I. A. (2010). Method of producing integrated assessment of web-content quality applying the system of polar coordinates. *Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute*, (1), 84–88
27. Hrytsiuk, Yu. I., & Dalyavskyy, V. S. (2018). Using Petal Diagram for Visualizing the Results of Expert Evaluation of Software Quality. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(9), 95–104. <https://doi.org/10.15421/40280919>.
28. Romanenkov, Yu. A., Vartanyan, V. M., Pronchakov, Yu. L., & Zeiniev, T. G. (2016). Means of infographic analysis of aggregate indicators of multidimensional objects and systems. Modeling in economics, organization of production and project management. *Information processing systems*, 8(145), 157–165.
29. Kharchenko, V. S., Tarasyuk O. M., Volkova, A. V., & Bely Yu. A. (2005). Application of dynamic radial metric diagrams for managing multi-version software projects. *Electronic and computer systems*, 2, 63–68.
30. Yunchyk V., Fedonuyk A. (2019). Comparative Characteristics of the Functional Possibilities of the Computer Mathematics Systems in the Process for Solving Tasks *Journal of Lviv Polytechnic National University “Information Systems and Networks”*, 6. 90–102. <https://doi.org/10.23939/sisn2019.02.090>.

PROCEDURES FOR ASSESSING THE QUALITY OF ELECTRONIC LEARNING RESOURCES USING PETAL DIAGRAMS

Volodymyr Pasichnyk¹, Valentyna Yunchyk², Anatolii Fedoniuk³

^{1,3} Lviv Polytechnic National University

^{2,4} Lesya Ukrainka Volyn National University

¹ vpasichnyk@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9434-563X

² uynchik@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3500-1508

⁴ fedonyukanatan@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0942-227X

The concept of visualization of the results of expert evaluation of the quality of electronic learning resources is considered. Much attention is paid to petal diagrams and their use in the visualization process. The algorithm for calculating the area of the petal diagram and the influence of the order of parameters on the area of each petal are described. The criteria for assessing the quality of e-learning resources and their weights for each of the experts are presented. The roles of experts with weighting factors are shown. Complex indicators of quality of electronic educational resources for each expert are defined and the complex indicator for all experts is generalized. An algorithm for calculating the areas of sector petals, which can be used to calculate and evaluate the relative quality of ELR according to the relevant criteria is given. GeoGebra dynamic mathematics system was used to implement the method of determining a comprehensive assessment of the quality of ELR. The process of construction of the petal diagram in the system of dynamic mathematics GeoGebra with the given instructions is shown.

Key words: visualization; expert evaluation; petal diagram; electronic learning resource; quality indicators; comprehensive assessment; GeoGebra.