

І. А. Моргун<sup>1</sup>  
М. П. Боцула<sup>1</sup>

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПЕРІОДИЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОННИХ НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

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

*Розроблено автоматизовану інформаційну технологію періодичного оцінювання якості електронних навчальних матеріалів на базі методів машинного навчання, а саме багатокритеріальної класифікації оцінок від різних груп респондентів з визначенням кластеру найбільшої колективної зацікавленості респондентів і подальшого використання накопичених даних для прогнозування оцінки електронних навчальних матеріалів з плином часу.*

**Ключові слова:** багатокритеріальне оцінювання якості, машинне навчання, кластеризація, *k*-means, регресія, нейрона мережа зі зворотним розповсюдженням похибки.

### Вступ

Поширення технології дистанційного навчання МООС (масові відкриті онлайн-курси) привело до розробки великої кількості електронних навчальних матеріалів (ЕНМ) в різних галузях людської діяльності. ЕНМ користуються великим попитом як у вищих навчальних закладах, так і в корпоративному секторі, оскільки дозволяють зручно отримувати знання, використовуючи мережу Інтернет та мобільні засоби доступу до неї. Особливістю ЕНМ є те, що їх якість суттєво залежить від часу — змінюється середовище, розвиваються технології, застарівають методики та підходи в цільових галузях тощо. Як наслідок, зменшується актуальність знань і фахівці, які будуть підготовлені на базі старих ЕНМ вже не будуть достатньо кваліфіковані для сучасної фахової діяльності.

*Метою роботи* є розробка автоматизованої інформаційної технології оцінювання якості ЕНМ, оперативного виявлення застарілої інформації на базі оцінок від кінцевих користувачів за заданим набором критеріїв [1].

### Результати дослідження

Сучасне трактування поняття якість електронного матеріалу — сукупність властивостей ЕНМ, що визначають його здатність задовольняти реальні і потенційні потреби користувачів, які бажають отримати і використати знання, викладені в ЕНМ. Елементи, з яких складається якість, називають показниками якості, а чисельне їх представлення називається значенням показника якості.

Головна концепція та етапи обробки даних за розробленою технологією такі.

Якість ЕНМ відстежується в системах управління навчанням (LMS — learning management systems) протягом всього життєвого циклу, від створення відповідно до стандартів SCORM і AICC [2], до зменшення інтегрального показника якості нижче порогового значення, що сигналізує про втрату ЕНМ можливості задовольняти реальні і потенційні потреби користувачів. Проміжок часу, в якому відбувається перерахунок інтегрального показника якості, на базі нових оцінок від користувачів, будемо називати *епоху*. Набір епох складає життєвий цикл ЕНМ і відображає динаміку зміни якості ЕНМ.

Головним параметром для управління якістю ЕНМ є зворотний зв'язок від користувачів ЕНМ у вигляді оцінок. На базі отриманих оцінок проводиться кластеризація за вдосконаленим методом *k*-середніх (*k*-means) для виявлення кластерів найбільшої однорідності оцінок. Кластер із більшою кількістю респондентів вважається еталоном якості для певного ЕНМ у поточній епосі.

Вдосконалення методу *k*-середніх полягає у швидшому визначенні первинних центроїдів, що є першим кроком обробки даних. Як відомо, у стандартному алгоритмі *k*-середніх цей процес випадковий і суттєво впливає на подальшу кластеризацію [3]. Також вдосконалено метод визначення

відстані між центроїдом і оцінкою від респондента з урахуванням різних груп користувачів та їх властивостей.

Подальшим кроком є обчислення ваг критеріїв для кожної групи користувачів. У попередніх дослідженнях було проаналізовано і відібрано 10 критеріїв для оцінки якості ЕНМ [4]. Третім кроком є обчислення інтегральної оцінки якості певного ЕНМ з використанням відібраних критеріїв та їх ваг, що отримані на другому кроці за оцінками від різних груп користувачів.

Далі отримані оцінки, ваги критеріїв і групи користувачів зберігаються для навчання нейронної мережі зі зворотним розповсюдженням похибки. Навчена мережа дозволить прогнозувати інтегральний показник якості ЕНМ до початку нової епохи.

*Вхідними параметрами* для математичної моделі обробки даних є:

$E$  — множина ЕНМ  $e_j, j \in [1, J]$  ;

$R$  — множина груп респондентів  $r_g, g \in [1, G]$  ;

$Z$  — множина коефіцієнтів степенів довіри до групи респондентів  $z_g, g \in [1, G]$  ;

$K$  — множина респондентів-експертів  $k_p$  з групи  $r_1, p \in [1, P]$  ;

$N$  — множина респондентів-учнів  $n_i$  з групи  $r_2, i \in [5, I]$  ;

$C$  — множина критеріїв  $c_l, l \in [2, L]$  ;

$O$  — множина рейтингів за тематикою ЕНМ  $e_j$  респондента-учня  $n_i, o_{ij} \in [0, 10]$ . У цьому дослідженні тематики ЕНМ визначались як набір галузей з постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти» [6];

$T$  — множина епох оцінювання якості ЕНМ,  $t \in [1, \infty)$  ;

$u$  — граничне значення інтегральної оцінки ЕНМ ( $m_j$ ). Для прийняття рішення про недопустиме зниження якості ЕНМ авторами взято межу 30 % від максимально можливого значення якості. Тобто зі шкалою оцінювання якості від 0 до 10 кількісний показник  $u = 3$ .

*Проміжними параметрами* є:

$W_k$  — множина ваг критеріїв для експертів  $r_1$ ;  $w_{pl}$  — вага оцінки експерта  $p$  за критерієм  $c_l$  ;

$W_n$  — множина ваг критеріїв для учнів  $r_2$ ;  $w_{il}$  — вага оцінки учня  $i$  за критерієм  $c_l$  ;

$A$  — множина інтегральних оцінок від групи  $r_1$  по ЕНМ,  $a_{pj}$  — інтегральна оцінка від експерта  $p$  для ЕНМ  $j$  ;

$B$  — множина окремих оцінок по критеріям від групи  $r_1$  по ЕНМ,  $b_{plj}$  — оцінка експерта  $p$  за критерієм  $l$  для ЕНМ  $j$  ;

$D$  — множина інтегральних оцінок від групи  $r_2$  по ЕНМ,  $d_{ij}$  — інтегральна оцінка від учня  $i$  для ЕНМ  $j$  ;

$F$  — множина окремих оцінок за критеріями від групи  $r_2$  по ЕНМ,  $f_{ilj}$  — оцінка учня  $i$  за критерієм  $l$  для ЕНМ  $j$  ;

$Q$  — множина приведених оцінок усіх респондентів,  $q \in [1, K + N]$  ;

$S$  — множина центроїдів кластерів даних,  $s_y, y \in [1, 3]$  ;

*Кінцевими параметрами* є:

$M$  — множина інтегральних оцінок якості ЕНМ;  $m_j$  — інтегральна оцінка по ЕНМ  $j$ . За цим показником ранжуються ЕНМ в межах епохи  $t$ .

Накопичення оцінок від групи  $r_1$  (експерти) і  $r_2$  (учні) відбувається впродовж заданого періоду навчання, в якому використовується ЕНМ. Після закінчення періоду адміністратор або сама система LMS (залежно від налаштувань) запускає автоматизовану процедуру оцінювання якості ЕНМ.

Як зазначалося вище, першим етапом є кластеризація отриманих оцінок для визначення кластерів їх найбільшої однорідності. Для цього обчислимо приведені оцінки, які враховують міру довіри  $z_1$  для всієї групи респондентів  $r_1$  кожного експерта за формулою

$$q_{rj} = \sum_p \sum_l^{r_1} b_{plj} \cdot z_1. \quad (1)$$

Також обчислимо приведені оцінки по кожному учню із групи респондентів  $r_2$  зі ступенем довіри  $z_2$  для всієї групи та вплив відповідних до тематики ЕНМ рейтингів  $o_{ij}$  за такою формулою:

$$q_{rj} = \sum_i^{r_2} \frac{\sum_l f_{ilj} \cdot z_2}{o_{ij}}. \quad (2)$$

Отримані приведені оцінки подаються у вигляді діаграми (рис.1а), яка дозволяє візуально оцінити різницю приведених оцінок ЕНМ та їх розкид від середнього значення. Друга діаграма (рис.1б) демонструє впорядковані за зростанням отримані значення, що дає можливість визначити області однорідності оцінок.

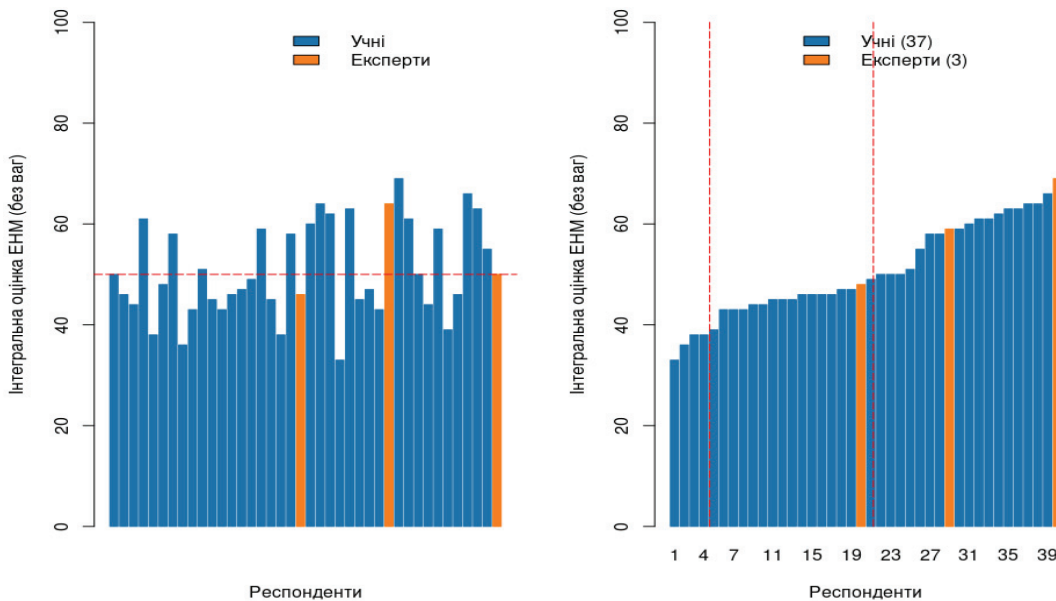


Рис. 1: а — множина оцінок за критеріями від всіх респондентів;  
б — відсортована множина оцінок від всіх респондентів і розбита на три області

За діаграмою рис.1б суттєвий стрибок значення оцінки свідчить про появу нової області однорідності оцінки якості ЕНМ. Це можна трактувати як область схожої колективної думки про рівень якості ЕНМ частини респондентів.

У цьому дослідженні авторами визначаються три області однорідності. На прикладі рис.1б, зображені дві межі переходу областей однорідності — вертикальні пунктирні лінії. Центри цих областей однорідності будемо вважати за початкові центроїди для вдосконаленого методу  $k$ -середніх.

Отримані центроїди дозволяють значно прискорити алгоритм  $k$ -середніх за яким визначаються кластери оцінок респондентів зі схожою колективною думкою щодо якості ЕНМ. Як відомо, метод  $k$ -середніх має декілька способів обчислення відстані між центроїдом і найближчим елементом [3].

У реалізованій інформаційній технології обчислення відстані між центроїдом і оцінкою респондента відбувається з урахуванням ступеня довіри до групи респондента  $z_g$  та впливу відповідних до тематики ЕНМ рейтингів респондентів групи  $r_2$ .

Зазначене дозволило виконати кластеризацію даних за методом  $k$ -середніх. Графічний результат роботи методу показано на рис. 2.

Після завершення етапу кластеризації визначено три кластери з певною кількістю респондентів в кожному. Кластер з найбільшою кількістю респондентів буде вважатися еталоном якості для певного ЕНМ у поточній епосі  $T$ . Цей кластер характеризується центроїдом  $s_{jy}$ .

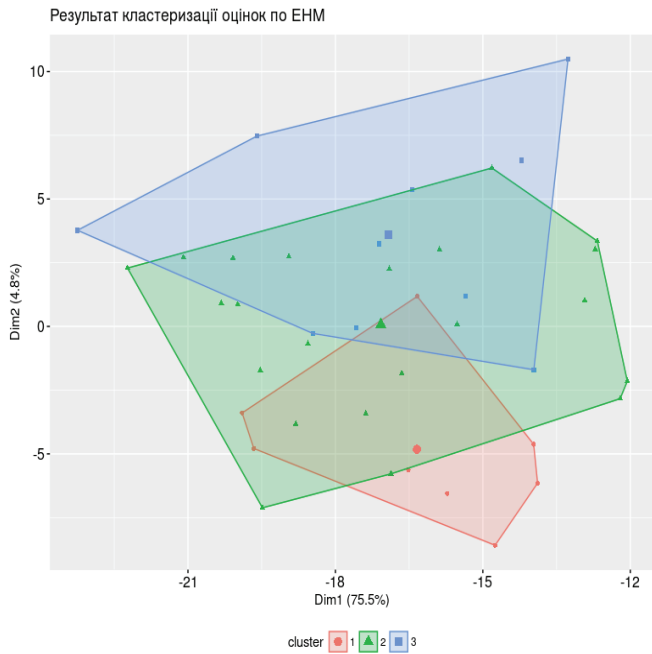


Рис. 2. Результат кластеризації оцінок для ЕНМ

Обчислимо інтегральний показник якості ЕНМ з урахуванням степенів довіри до груп респондентів

$$m_j^t = \frac{\sum_{p=1}^P a_{pj}^t \cdot z_1 + \sum_{i=1}^I d_{ij}^t \cdot z_2}{\sum_{p=1}^P z_1 + \sum_{i=1}^I z_2} \quad (7)$$

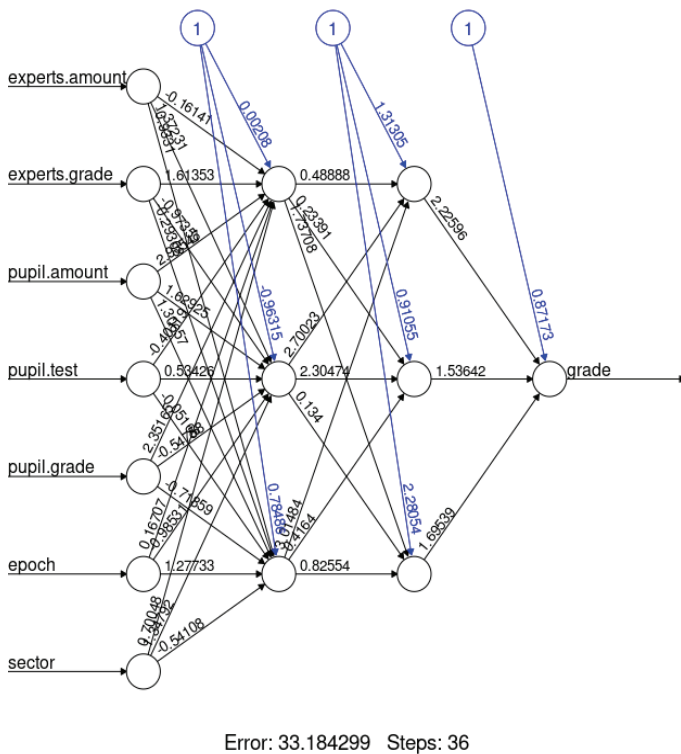


Рис. 3. Модель нейронної мережі зі зворотним розповсюдженням похибки для прогнозування якості ЕНМ

Обчислимо ваги оцінок за кожним критерієм для кожної групи респондентів як різницю між знайденим центроїдом і приведеними оцінками:

$$w_{jpl} = s_{jy} - q_{jpl}; \quad (3)$$

$$w_{jil} = s_{jy} - q_{jil}. \quad (4)$$

Отримавши ваги оцінок, обчислимо інтегральну оцінку всієї групи експертів  $r_1$

$$a_{pj}^t = \frac{\sum_{l=1}^L (b_{pjl} \cdot w_{pl})}{\sum_{l=1}^L w_{pl}} \quad (5)$$

Аналогічно обчислимо інтегральну оцінку для групи учнів  $r_2$

$$d_{ij}^t = \frac{\sum_{l=1}^L (f_{ijl} \cdot w_{il})}{\sum_{l=1}^L w_{il}} \quad (6)$$

Якщо інтегральний показник якості ЕНМ  $m_j^t$  в епісі  $t$  менше або дорівнює граничному значенню інтегральної оцінки  $u = 3$ , то вважається, що цей ЕНМ втратив якість на епісі  $t$  та потребує актуалізації для підняття якості ЕНМ. Уточнити на прями актуалізації дозволяє розроблений підхід до візуалізації оцінки якості ЕНМ за кожним із критеріїв [5].

Проводячи оцінку якості ЕНМ на базі різних груп респондентів і використовуючи багатокритеріальність, виконується прогнозування інтегрального показника якості ЕНМ до початку нової епохи. В межах запропонованої технології з цією метою застосовується нейронна мережа зі зворотним розповсюдженням похибки.

Для забезпечення роботи нейронної мережі існує база знань з такими атрибутами:

- experts.amount — кількість респондентів групи  $r_1$  для ЕНМ  $j$ ;
- experts.grade — оцінка  $a_{pj}^t$  від усіх респондентів групи  $r_1$ , експерти, для ЕНМ  $j$ ;
- pupil.amount — кількість респондентів

- групи  $r_2$ , учні, для ЕНМ  $j$ ;
- pupil.test — оцінка по тематиці ЕНМ для усіх респондентів групи  $r_2$  для ЕНМ  $j$ ;
- pupil.grade — оцінка  $d_{ij}^t$  від усіх респондентів групи  $r_2$  для ЕНМ  $j$ ;
- epoch — епоха  $t$ ;
- sector — тематика ЕНМ;
- grade — інтегральний показник якості ЕНМ  $m_j^t$ .

В результаті аналізу інтегральних показників якості ЕНМ протягом 46 епох і розбиттю множини даних на тестову вибірку (30 %) і вибірку для навчання (70 %), отримано похибку прогнозування інтегрального показника якості ЕНМ на рівні десятих одиниць, що є досить прийнятним результатом.

### Висновки

Розроблена автоматизована інформаційна технологія оцінювання якості електронних навчальних матеріалів на базі методів машинного навчання. Технологія дозволяє автоматизувати визначення та прогнозування неактуальних ЕНМ за допомогою багатокритеріальної кластеризації оцінок від різних груп користувачів та обробки даних нейронною мережею зі зворотним розповсюдженням похибки. Технологія розрахована на застосування в системах управління електронним навчанням.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боцула М. П. Про проблему експертизи якості матеріалів дистанційних курсів [Електронний 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. Технологія розробки дистанційного курсу : навч. посіб. / [Биков В. Ю., Кухаренко В. М., Сиротенко Н. Г. та ін.] ; за ред. В. Ю. Бикова та В. М. Кухаренка. — К. : Міленіум, 2008. — 324 с.
3. Celebi E. M. Partitional Clustering Algorithms / Emre M. Celebi. — USA: Springer, 2015. — 420 с.
4. Morgun I. A. Method of evaluation of e-courses in eLearning Server system / I. A. Morgun, M. P. Botsula // Nauka i studia. — 2014. — NR 21 (131).
5. Боцула М. П. Метод отримання комплексної оцінки якості веб-матеріалів з використанням полярної системи координат / М. П. Боцула, І. А. Моргун // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2011. — № 1. — С. 84—89.
6. Про затвердження переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти : Постанова Кабінету Міністрів України від 29 квітня 2015 р. / Кабінет Міністрів України. — Офіц. вид. — Київ : Парлам. вид-во, 2015. — 1 с.

Рекомендована кафедрою системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 10.04.2017

**Моргун Іван Анатолійович** — здобувач кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки, e-mail: proftua@gmail.com ;

**Боцула Мирослав Павлович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки, e-mail: botsula@gmail.com

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

## Information Technology for Multicriterion Periodic Evaluation Quality of E-Learning Materials

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

*There has been developed the automated information technology for periodical evaluation of quality of electronic educational materials (EEM) based on machine learning techniques such as clustering multiple assessments of different groups of respondents defining the cluster of the largest collective interest of respondents and subsequent use of collected data for forecasting EEM evaluation over time.*

**Keywords:** multicriteria evaluation of quality, machine learning, clustering, k-means, regression, neural network with back propagation of error.

*Morgun Ivan A.* — Post-Graduate Student of the Chair of Systems Analysis, Computer Monitoring and Engineering Graphics, e-mail: proftua@gmail.com ;

*Botsula Myroslav P.* — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Systems Analysis, Computer Monitoring and Engineering Graphics, e-mail: botsula@gmail.com

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

## **Информационная технология многокритериального периодического оценивания качества электронных учебных материалов**

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

*Разработана автоматизированная информационная технология периодического оценивания качества электронных учебных материалов на базе методов машинного обучения, а именно многокритериальной кластеризации оценок от различных групп респондентов с определением кластера крупнейшей коллективной заинтересованности респондентов и дальнейшего использования собранных данных для прогнозирования оценки электронных учебных материалов с течением времени.*

**Ключевые слова:** многокритериальная оценка качества, машинное обучение, кластеризация, k-means, регрессия, нейронная сеть с обратным распространением ошибки.

*Моргун Иван Анатолійович* — соискатель кафедры системного анализа, компьютерного мониторинга и инженерной графики, e-mail: proftua@gmail.com ;

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