

Ананченко Олексій Євгенович*Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ*
ORCID 0009-0005-3446-5994**Миронюк Павло Ярославович***Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ*
ORCID 0009-0005-5395-9746**Нестеренко Катерина Сергіївна***Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ*
ORCID 0000-0001-7672-7386**Читулян Вадим Олегович***Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ*
ORCID: 0009-0001-8846-9094

РОЗРОБКА АДАПТИВНОЇ КОРПОРАТИВНОЇ ОСВІТНЬОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Анотація. У статті розглянуто проблему забезпечення функціональної стійкості адаптивних корпоративних освітніх інформаційних систем в умовах динамічних навантажень, змін поведінки користувачів та зростаючих вимог до інформаційної безпеки. Показано, що традиційні підходи до управління освітніми платформами не забезпечують необхідного рівня стабільності та адаптивності, що зумовлює потребу у впровадженні комплексних інформаційних технологій, орієнтованих на моніторинг і прийняття рішень у реальному часі.

Запропоновано інформаційну технологію забезпечення функціональної стійкості освітньої інформаційної системи, розроблену на основі математичної моделі функціональної стійкості. Технологія базується на інтеграції методів статистичного аналізу, машинного навчання, оптимізації інформаційних потоків і ресурсів, а також моделей оцінювання ризиків та інформаційної безпеки. Це дозволяє здійснювати виявлення аномалій, прогнозування змін у системі та автоматичне коригування індивідуальних освітніх траєкторій користувачів.

Ефективність запропонованої інформаційної технології підтверджується результатами моделювання, які демонструють підвищення рівня функціональної стійкості освітньої інформаційної системи, зменшення впливу збурень та покращення стабільності її функціонування у часі. Отримані результати можуть бути використані при проєктуванні та модернізації корпоративних освітніх платформ з підвищеними вимогами до адаптивності, надійності та безпеки.

Отримані результати підтверджують доцільність застосування запропонованої інформаційної технології для забезпечення функціональної стійкості адаптивних корпоративних освітніх інформаційних систем та створюють підґрунтя для подальших досліджень у напрямку підвищення ефективності адаптивного управління освітніми процесами в реальному часі.

Ключові слова: стійкість, адаптація, освітня система, інформаційна технологія, моніторинг, машинне навчання, оптимізація, ризик, інформаційна безпека.

Ananchenko Oleksii*State University of Information and Communication Technologies, Kyiv*
ORCID 0009-0005-3446-5994**Myroniuk Pavlo***State University of Information and Communication Technologies, Kyiv*
ORCID 0009-0005-5395-9746**Nesterenko Kateryna***State University of Information and Communication Technologies, Kyiv*
ORCID 0000-0001-7672-7386**Vadym Chitulyan***State University of Information and Communication Technologies, Kyiv*
ORCID: 0009-0001-8846-9094

DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE CORPORATE EDUCATIONAL INFORMATION SYSTEM USING MACHINE LEARNING METHODS

Abstract. *The article considers the problem of ensuring the functional stability of adaptive corporate educational information systems in conditions of dynamic loads, changes in user behavior and increasing requirements for information security. It is shown that traditional approaches to managing educational platforms do not provide the necessary level of stability and adaptability, which necessitates the implementation of complex information technologies focused on monitoring and decision-making in real time.*

An information technology for ensuring the functional stability of an educational information system is proposed, developed on the basis of a mathematical model of functional stability. The technology is based on the integration of methods of statistical analysis, machine learning, optimization of information flows and resources, as well as models of risk assessment and information security. This allows for the detection of anomalies, prediction of changes in the system and automatic adjustment of individual educational trajectories of users.

The effectiveness of the proposed information technology is confirmed by the modeling results, which demonstrate an increase in the level of functional stability of the educational information system, a reduction in the impact of disturbances, and an improvement in the stability of its operation over time. The results obtained can be used in the design and modernization of corporate educational platforms with increased requirements for adaptability, reliability, and security.

The results obtained confirm the feasibility of using the proposed information technology to ensure the functional stability of adaptive corporate educational information systems and create a basis for further research aimed at increasing the efficiency of adaptive management of educational processes in real time.

Keywords: *resilience, adaptation, educational system, information technology, monitoring, machine learning, optimization, risk, information security.*

Постановка проблеми

Сучасні корпоративні освітні інформаційні системи функціонують в умовах зростаючої складності освітніх процесів, збільшення обсягів даних, динамічної поведінки користувачів та підвищених вимог до інформаційної безпеки. За таких умов традиційні підходи до управління та забезпечення стабільності роботи освітніх платформ виявляються недостатньо ефективними, оскільки не враховують необхідність адаптації до змін у реальному часі, індивідуалізації навчальних траєкторій та протидії зовнішнім і внутрішнім загрозам. Це зумовлює актуальність вдосконалення корпоративних освітніх інформаційних систем, здатних забезпечити функціональну стійкість у довгостроковій перспективі.

У зв'язку з цим постає науково-прикладна задача розроблення та удосконалення інформаційної технології забезпечення функціональної стійкості адаптивної корпоративної освітньої системи. Задача полягає у створенні комплексного підходу, який поєднує моніторинг стану системи в реальному часі, виявлення аномалій, прогнозування поведінки користувачів, оптимізацію інформаційних потоків і ресурсів, а також оцінку ризиків та рівня інформаційної безпеки. Реалізація такої технології має забезпечити здатність освітньої інформаційної системи зберігати працездатність і ефективність функціонування в умовах змінних навантажень, загроз та індивідуальних потреб користувачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій**Мета і задачі дослідження**

Метою дослідження є удосконалення корпоративних інформаційних систем для забезпечення функціональної стійкості на основі математичної моделі з використанням сучасних інформаційних технологій, методів машинного навчання та інструментів оптимізації, що забезпечують моніторинг, адаптацію та підвищення ефективності освітніх процесів у реальному часі в умовах змінних навантажень і зовнішніх загроз.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі задачі дослідження:

- розробити структуру інформаційної технології забезпечення функціональної стійкості освітньої інформаційної системи з урахуванням вимог адаптивності та інформаційної безпеки;
- обґрунтувати використання математичних методів статистичного аналізу для моніторингу стану системи та виявлення аномалій у реальному часі;
- застосувати методи прогнозування та машинного навчання для аналізу поведінки користувачів і коригування індивідуальних освітніх траєкторій;
- розробити моделі оптимізації інформаційних потоків і ресурсів на основі лінійного програмування та теорії графів;
- сформувати підхід до оцінки ризиків, витрат та рівня функціональної стійкості освітньої інформаційної системи з використанням методів системної динаміки;

- оцінити ефективність запропонованої інформаційної технології та визначити її переваги порівняно з існуючими підходами.

Результати дослідження

В результаті дослідження була розроблена та протестована математична модель для забезпечення поставлених вимог до інформаційної системи. Математична модель забезпечення функціональної стійкості адаптивної корпоративної освітньої системи складається з декількох ключових компонентів: функціональність системи, безпека, рівень ризиків і адаптивність навчальних траєкторій. Ці змінні дозволяють оцінити ефективність функціонування системи в умовах різних загроз і змінних вимог, а також як вона підлаштовується під індивідуальні потреби користувачів.

Цільова функція описує максимізацію ефективності навчального процесу за умови мінімізації ризиків та забезпечення безпеки доступу. Ця модель повинна враховувати адаптивність освітніх траєкторій і контроль ризиків, а також збереження безперервності роботи системи.

$$\text{Maximize } F(T, S, R, A) = \alpha_1 T + \alpha_2 S - \alpha_3 R + \alpha_4 A \quad (4.1)$$

$$T_i = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (4.2)$$

$$R = \sum_{i=1}^m P_i \cdot I_i \leq R_{\max} \quad (4.3)$$

$$S = A \cdot (q - R) \geq S_{\min} \quad (4.4)$$

$$A \geq A_{\min} \quad (4.5)$$

$$C_T + C_S + C_R \leq C_{\text{total}} \quad (4.6)$$

де T – функціональність системи, S – рівень безпеки, R – рівень ризику, A – адаптивність системи, P_i – ймовірність ризику, I_i – ступінь впливу ризику, C_T – витрати на функціональність, C_S – витрати на безпеку, C_R – витрати на управління ризиками, C_{total} – загальні допустимі витрати, T_{total} – загальний допустимий ресурс, $S_{\min}$ – мінімальний рівень безпеки.

Формула (4.2) визначає, що функціональність системи T залежить від здатності підлаштовуватись під індивідуальні показники студента та пропонувати оптимальні навчальні траєкторії.

Формула (4.3) визначає сукупний рівень ризику, що є зваженою сумою ймовірностей та впливів усіх можливих загроз. Загальний ризик не повинен перевищувати встановлену верхню межу $R_{\max}$, щоб підтримувати безпеку системи на прийнятному рівні.

Формула (4.4) вимагає, щоб рівень безпеки системи S був не меншим за встановлене мінімальне значення $S_{\min}$. Безпека системи знижується зі збільшенням ризику, тому R має підтримуватися на достатньо низькому рівні.

Формула (4.5) гарантує, що система має достатній рівень адаптивності для підлаштування освітніх траєкторій та безпекових механізмів під мінливі умови та потреби користувачів.

Формула (4.6) гарантує, що сумарні витрати на підтримку функціональності, безпеки та мінімізацію ризиків не перевищуватимуть доступний бюджет.

Тобто цільова функція $F(T, S, R, A)$ максимізує функціональну стійкість системи, одночасно забезпечуючи ефективну навчальну траєкторію, необхідний рівень безпеки та адаптивність. Обмеження встановлюють допустимі межі для ризику, безпеки, адаптивності та витрат, що дозволяє системі функціонувати стійко та з максимальною продуктивністю.

У ході дослідження на основі математичної моделі функціональної стійкості адаптивної корпоративної освітньої системи розроблено інформаційну технологію забезпечення її функціональної стійкості. Запропонована технологія орієнтована на моніторинг стану освітньої інформаційної системи та адаптацію освітнього процесу в реальному часі з урахуванням змінних навантажень і впливу зовнішніх чинників.

Структурну реалізацію інформаційної технології подано у вигляді блок-схеми (рис. 2), яка відображає послідовність основних етапів оброблення даних, аналізу стану системи та прийняття адаптивних рішень. Вона передбачає використання сучасних інформаційних технологій для

моніторингу та адаптації освітнього процесу в реальному часі. Основою технології є інтеграція алгоритмів машинного навчання, які аналізують поведінку користувачів, виявляють аномалії та прогнозують зміни в системі. Це дозволяє автоматично коригувати навчальні траєкторії студентів, підвищуючи ефективність навчальних процесів та забезпечуючи індивідуалізацію освітніх шляхів. Завдяки постійному моніторингу та аналізу даних, можна своєчасно реагувати на зміни, забезпечуючи надійну роботу системи навіть в умовах зростаючих навантажень або зовнішніх загроз [61].

Інформаційна технологія також включає механізми оптимізації інформаційних потоків і ресурсів за допомогою лінійного програмування та теорії графів, що дозволяє підвищити продуктивність системи. Крім того, вона застосовує аналіз ризиків і витрат для оцінки ефективності заходів безпеки, а також системну динаміку для прогнозування довгострокових наслідків змін у платформі. Цей комбінований підхід дозволяє створити освітню платформу, яка є гнучкою, стійкою до зовнішніх загроз і здатною адаптуватися до індивідуальних потреб користувачів, забезпечуючи безперервне вдосконалення навчальних процесів.

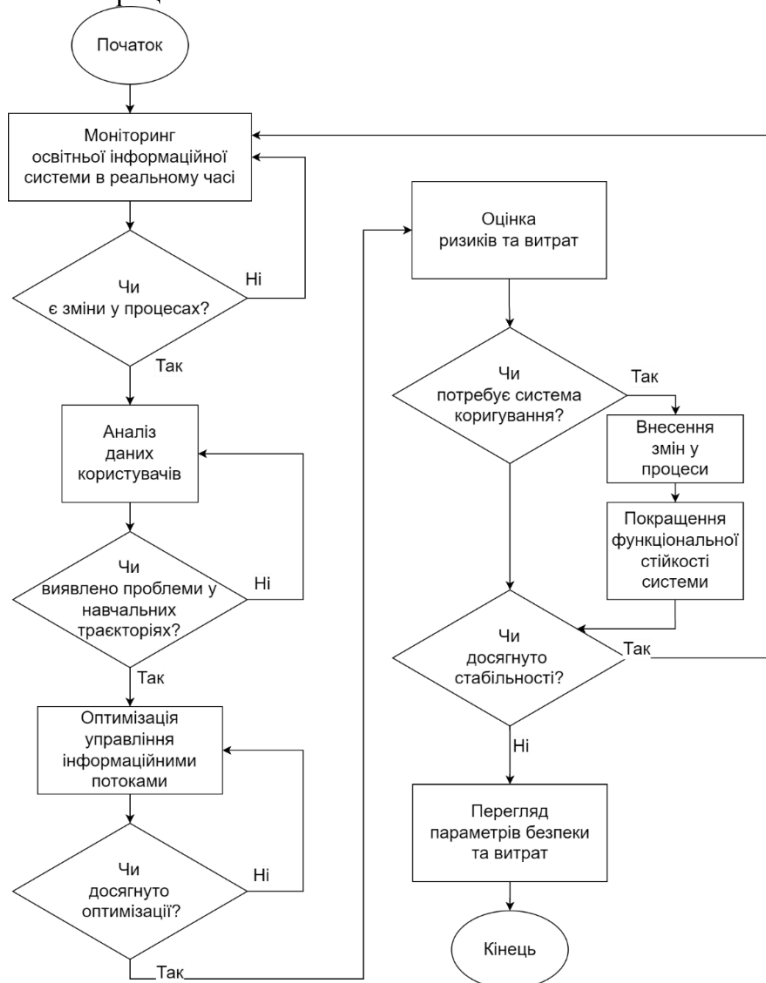


Рис. 1. Блок-схема інформаційної технології забезпечення функціональної стійкості освітньої інформаційної системи

Кожен блок алгоритму має свій математичний апарат, який використовується для проведення обчислень. Для моніторингу змін у реальному часі використовуються статистичні метрики, такі як середнє значення та стандартне відхилення для набору даних X_t у часі t :

$$\mu_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{i,t}, \quad (4.7)$$

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{i,t} - \mu_t)^2}, \quad (4.8)$$

де μ_t — середнє значення, а σ_t — стандартне відхилення. Якщо поточне значення виходить за межі $\mu_t \pm 3\sigma_t$, це може вважатися аномалією.

Крім того на даному кроці працює методика оцінки рівня інформаційної безпеки освітньої інформаційної системи, запропонована в розділі 3, яка дозволяє визначити ризики, атаки та забезпечує безпеку розробленої системи.

Для виявлення значущих змін у процесах використовуємо дисперсійний аналіз:

$$F = \frac{MSB}{MSW} = \frac{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2}{\frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}, \quad (4.9)$$

де MSB – міжгрупова дисперсія, MSW – внутрішньогрупова дисперсія, n_i – кількість спостережень в групі, $\bar{X}_i$ – середнє значення в групі, $\bar{X}$ – загальне середнє.

Лінійна регресія використовується для прогнозування поведінки користувачів:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + e, \quad (4.10)$$

де Y – прогнозований результат (наприклад, ефективність навчання), $X_1, X_2, \dots, X_n$ – вхідні фактори (дані користувачів), $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ – коефіцієнти моделі, e – випадкова похибка.

Для побудови та коригування освітніх траєкторій використовується метод метричного проксимального градієнта з діагональним кроком на основі моделі попарно-експоненціального марківського випадкового поля, описаний в розділі 2.

При коригуванні освітніх траєкторій моделі для визначення ваг критеріїв використовується матриця парних порівнянь A :

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & a_{23} \\ \frac{1}{a_{13}} & \frac{1}{a_{23}} & 1 \end{pmatrix}, \quad (4.11)$$

Для кожного критерію необхідно обчислити власні числа матриці та нормалізувати їх, щоб визначити ваги. Оптимізація з використанням методу зважених сум (WSM) відбувається за формулою:

$$Z = \sum_{i=1}^n \omega_i X_i, \quad (4.12)$$

де ω_i – ваги критеріїв, а X_i – значення показників.

Модель лінійного програмування для мінімізації витрат або часу при оптимізації інформаційного потоку має вигляд

$$\min Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n, \quad (4.13)$$

$$a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n \leq b_1, \quad (4.14)$$

де c_i – витрати на одиницю потоку, x_i – обсяг ресурсу.

Для визначення максимального потоку в мережі використовується теорія графів (алгоритм Форда-Фалкерсона):

$$f_{\max} = \max \sum_{u \in V} f(u, v), \quad (4.15)$$

де $f(u, v)$ – потік з вузла u до вузла v .

При оцінці ризиків та витрат використовується формула аналізу витрат та вигод:

$$NPV = \sum_{t=0}^t \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}, \quad (4.16)$$

де B_t – вигоди у періоді t , C_t – витрати у періоді t , r – ставка дисконту, T — період аналізу.

При цьому ризик визначається за формулою

$$R = PL, \quad (4.17)$$

де R – ризик, P – ймовірність події, L – збитки від події.

Для визначення функціональної стійкості застосовується модель системної динаміки для оцінки стійкості системи в часі, а також модель стійкості системи до впливів:

$$\frac{dX(t)}{dt} = f(X(t), t), \quad (4.18)$$

$$S = \frac{R_{до}}{R_{після}} \cdot 100\%, \quad (4.19)$$

де $X(t)$ – змінні системи, а $f(X(t), t)$ – функція залежності змінних від часу, $R_{до}$ – рівень стійкості до впровадження змін, а $R_{після}$ – після впровадження.

Ці всі кроки інформаційної технології дозволяють забезпечити функціональну стійкість освітньої інформаційної системи.

Рис. 2 відображає комплексний функціонал адаптивної корпоративної освітньої інформаційної системи, що є основою її ефективності та зручності. Структура побудована ієрархічно, де «Головна сторінка» виконує роль центрального навігаційного вузла, що поєднує сервіси користувацького рівня з інтеграційними та контрольними підсистемами.

Верхній рівень (інтеграція та нагляд) складається з чотирьох ключових модулів:

- Документообіг — підсистема роботи з навчально-методичною та персональною документацією. Вона охоплює робочі плани спеціальності, особисті документи та інші типи документів, забезпечуючи простежуваність і нормативну узгодженість матеріалів.
- НРД — модуль нормативно-розпорядчої документації (регламенти, положення, інструкції), який слугує джерелом вимог і правил для навчальних процесів та ІТ-сервісів.
- API — інтерфейси прикладного програмування для інтеграції з зовнішніми системами (електронні ресурси університету, бухгалтерські та кадрові системи, платформи аналітики), що забезпечує масштабованість і розширюваність платформи.
- Логування — підсистема збору та аналізу подій, яка включає підозрілі події, звіти та огляд дій. Вона підтримує аудит активності, кібербезпеку та відповідність політикам доступу.

Середній рівень — Головна сторінка, що акумулює навігацію та забезпечує узгоджений доступ до функцій нижнього рівня. Вона є точкою входу для різних категорій користувачів (студенти, викладачі, адміністративний персонал) та відображає актуальний контекст навчального процесу.

Нижній рівень (користувацькі сервіси) представлений п'ятьма доменами, кожен з чітко визначеними підфункціями:

- Розклад — перегляд і планування занять для студента, академічних груп, викладача, управління аудиторіями та бронюванням, а також перегляд кафедральних розкладів. Модуль підтримує координацію ресурсів і мінімізацію конфліктів у часі.
- Електронний журнал — ведення журналу оцінок та статистики відвідування, що забезпечує прозорість оцінювання, контроль успішності й аналітику відвідуваності.
- Дошка задач — огляд задач та мої задачі для організації навчальних і адміністративних доручень, підтримки дедлайнів і розподілу відповідальності.
- Опитування — управління моїми опитуваннями та інструменти роботи зі студентами для збирання зворотного зв'язку, моніторингу залученості й оперативної корекції освітніх практик.

Особистий кабінет — персоналізований простір користувача з доступом до індивідуальних даних, налаштувань і сервісів.

Логічні зв'язки на схемі показують, що всі базові сервіси нижнього рівня узгоджено працюють через «Головну сторінку», тоді як верхні модулі (Документообіг, НРД, API, Логування) забезпечують нормативну підтримку, інтеграцію та спостережність. Така багаторівнева організація уможливила централізовану навігацію та єдину точку доступу, прозору відповідність нормативам і вимогам якості, інтеграцію з зовнішніми ресурсами без порушення цілісності даних, наскрізний аудит дій і підвищений рівень інформаційної безпеки. У контексті статті, наведена структура прямо підтримує адаптивність освітньої системи: користувацькі сервіси формують оперативний контур взаємодії з навчальним процесом, а інтеграційно-контрольні модулі створюють умови для масштабування, аналітики та

керованої еволюції платформи. Саме така архітектура дає змогу поєднати індивідуалізацію навчання, відповідність нормативам і стійкість роботи системи під змінними навантаженнями.

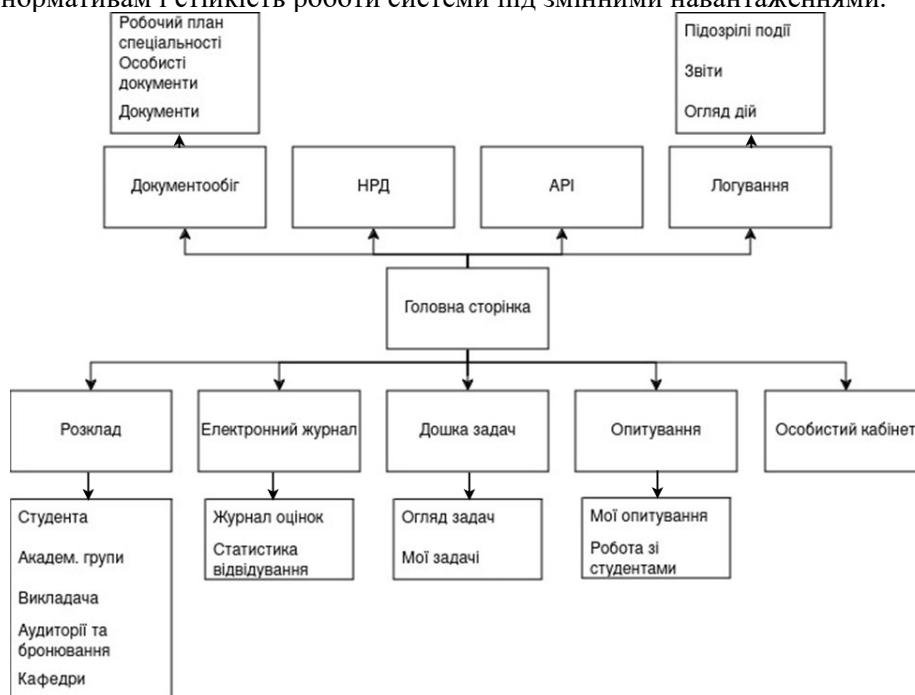


Рис. 2. Функціонал інформаційної системи

Таким чином, в дисертаційній роботі реалізовано третій науковий результат, який полягає в удосконаленні інформаційної технології забезпечення функціональної стійкості освітньої інформаційної системи з використанням технології блокчейн, яка відрізняється від існуючих впровадженням адаптивних інформаційних технологій для моніторингу та оптимізації процесів у реальному часі, що дозволяє підвищити ефективність навчальних процесів та забезпечити безперервне вдосконалення освітньої платформи.

Список використаних джерел

1. Brusilovsky P., Millán E. User models for adaptive hypermedia and adaptive educational systems // The Adaptive Web. – Berlin : Springer, 2007. – P. 3–53. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9_1.
2. Knutov E., De Bra P., Pechenizkiy M. AH 12 years later: a comprehensive survey of adaptive hypermedia methods // New Review of Hypermedia and Multimedia. – 2009. – Vol. 15, No. 1. – P. 5–38. – DOI: <https://doi.org/10.1080/13614560902801608>.
3. Romero C., Ventura S. Educational data mining: a review of the state of the art // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C. – 2010. – Vol. 40, No. 6. – P. 601–618. – DOI: <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2010.2053532>.
4. Baker R. S., Inventado P. S. Educational data mining and learning analytics // Learning Analytics. – New York : Springer, 2014. – P. 61–75. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3305-7_4.
5. Avizienis A., Laprie J.-C., Randell B., Landwehr C. Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing // IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. – 2004. – Vol. 1, No. 1. – P. 11–33. – DOI: <https://doi.org/10.1109/TDSC.2004.2>.
6. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly detection: a survey // ACM Computing Surveys. – 2009. – Vol. 41, No. 3. – Article 15. – DOI: <https://doi.org/10.1145/1541880.1541882>.
7. Sharples M., Domingue J. The blockchain and kudos: a distributed system for educational record, reputation and reward // Proceedings of the European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2016). – Cham : Springer, 2016. – P. 490–496. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-45153-4_48.
8. Grech A., Camilleri A. F. Blockchain in education. – Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2017. – URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC108255> (дата звернення: 18.12.2025).
9. Anakhov P., Zhebka V., Korshun N., Tushych A., Dovzhenko T. Stability method of connectivity automated calculation for heterogeneous telecommunication network // CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – Vol. 3188. – P. 282–287. – авторство підтверджено у репозитарії elibrary.kubg.edu.ua
10. Proceedings of the Workshop Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems (CPITS 2024). – Kyiv : CEUR-WS.org, 2024. – URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3654/> (дата звернення: 18.12.2025). CEUR-WS