

## **Діагностичні моделі та сенсо-економічний підхід на основі блокчейну в інтелектуальних навчальних системах**

**Євдокимов О.О., магістр, аспірант,  
<https://orcid.org/0009-0008-9687-6344>**

**керівник Чухрай А.Г., доктор технічних наук, професор,  
<https://orcid.org/0000-0002-8075-3664>**

**Столяренко Т.Л., кандидат педагогічних наук, доцент,  
<https://orcid.org/0000-0002-7202-316X>**

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»,  
вул. Вадима Манька, 17, Харків, 61070, Україна

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця,  
61166, просп. Науки, 9А, м. Харків, Україна

### **Анотація**

У тезах стисло викладено результати статті, присвяченої розробленню діагностичних моделей в інтелектуальних навчальних системах (ІНС) для математичних дисциплін і впровадженню сенсо-економічного підходу. Порівняно дискретні (ВКТ) та неперервні (ДКТ) підходи до відстеження знань, показано їхні сильні сторони щодо персоналізації, прозорості та адаптивності. Запропоновано гібридну архітектуру, що поєднує дискретне відстеження коректності кроків із неперервним аналізом поведінкових ознак, структурну діагностику помилок на основі дерев виразів, а також формальну верифікацію кроків розв'язання. Запропоновано метрику Hybrid Skill Score (HSS) і таксономію «сенсів» (структурний, зусиль, відновлення, соціальний, креативний, рефлексивний), які відображають значущі навчальні дії. Для прозорості мотивації запропоновано блокчейн-токен SenseCoin у приватній мережі PoA, який нараховується за валідуванні сенси й обмінюється на цінні освітні можливості (наставництво, поглиблені модулі тощо). Показано кейс з

рівняннями другого порядку: система виявляє концептуальну помилку класифікації коренів, фіксує самостійне відновлення та нараховує токен. Підхід спрямований на підвищення автономії, змістовності й гідності навчання та закладає основу для інтеграції ІНС з ціннісно чутливою мотивацією.

Ключові слова: Інтелектуальні навчальні системи; діагностичні моделі; гібридне knowledge tracing; сенсо-економічна модель; блокчейн-токени в освіті.

## 1. Вступ

Мотивація студентів з математики часто є недостатньою, що негативно впливає на результати навчання. Адаптивні освітні середовища й ІНС персоналізують подачу матеріалу на основі діагностики знань, підвищуючи втягнутість і досягнення (du Plooy, Casteleijn, & Franzsen, 2024). Для цього застосовують моделі відстеження знань: дискретні, як-от Bayesian Knowledge Tracing (Corbett & Anderson, 1994), та неперервні, як Deep Knowledge Tracing (Piech et al., 2015; Pelánek, 2017). Паралельно зростає інтерес до вимірювання складних компетентностей і до підходів, що підтримують автономію та сенс навчання (Hernández-de-Menéndez et al., 2022; Hew, Huang, & Lo, 2023).

## 2. Стислий огляд досліджень і розрив

Дискретні моделі (ВКТ, Q-матриці) забезпечують інтерпретованість і керованість викладачем, але гірше моделюють поступову динаміку засвоєння. Неперервні підходи (DKT, Knowledge Tracing Machines) дають вищу адаптивність, але вимагають більше даних і поступаються прозорістю (Vie & Kashima, 2018; Mao, Lin, & Chi, 2018). Гейміфікація й токен-економіки можуть підвищувати короткострокову активність, але без зв'язку з глибинними пізнавальними сигналами ризикують перетворитися на «гонитву балів» (van Roy & Zaman, 2017; Hew et al., 2023). Блокчейн у освіті здебільшого застосовують для сертифікації, а не для тонкої інтеграції з діагностикою знань (Jirgensons & Karenieks, 2018; Zhou, Zhang, & Chen, 2021). Отже, існує розрив між точними діагностичними моделями та прозорою, ціннісно чутливою мотивацією.

### 3. Запропонований підхід: гібридне КТ + сенсо-економіка

Система складається з двох взаємопов'язаних рівнів: (1) гібридного knowledge tracing та (2) сенсо-економічного шару.

- Гібридне КТ. Дискретний шар оцінює коректність кроків та виконує формальну верифікацію (символьні обчислення, перевірка перетворень), тоді як неперервний шар відстежує патерни поведінки (час, підказки, редагування, повтори) та «глибину» міркувань. Для структурної діагностики помилок відповіді перетворюють у дерево виразу й знаходять першу структурну дивергенцію для класифікації типу помилки.
- Гібридна оцінка HSS. Підсумковий показник Hybrid Skill Score поєднує ймовірність володіння навичкою (з КТ) та нормалізований вектор поведінкових ознак, використовується для рекомендацій і тригерів винагород.
- Сенс й мапінг вартості. «Сенс» — валідований внесок у пізнавальний прогрес (структурний, зусиль, відновлення, соціальний, креативний, рефлексивний). Кожному типу відповідає функція вартості, яка враховує контекст і складність.
- Токенізація SenseCoin. Винагороди реалізовано як освітній токен у приватній Ethereum-сумісній мережі PoA з політикою чеканки/викупу на основі освітніх подій (Wood, 2014; Gulati et al., 2020; Awaji & Solaiman, 2022). Токени обмінюються на змістовні активності: доступ до поглиблених модулів, консультацій, проєктів.

### 4. Кейс: розв'язування лінійних ДР 2-го порядку

У задачі з характеристичним рівнянням система фіксує помилку класифікації коренів як дійсних, виконує структурну перевірку проміжних перетворень і оцінює поведінковий профіль (без підказок, кілька спроб, зосередженість). Після самостійного виправлення HSS перетинає поріг винагороди; студент отримує «Recovery Sense» і частку SenseCoin з поясненням причини нарахування. Така логіка поєднує діагностичну точність з прозорою мотивацією.

## 5. Обговорення та обмеження

Переваги: персоналізація з опорою на дійсні міркування студента; прозорість і простежуваність прогресу; стала мотивація через визнання значущих дій. Виклики: справедливе масштабування «сенсів» між курсами; витрати на інфраструктуру (хоча приватний PoA мінімізує їх); баланс екструзії/інтринзії; потреба в стандартах й модерації для уникнення маніпуляцій.

## 6. Висновки

Гібридна ІНС, що поєднує дискретні та неперервні моделі відстеження знань із сенсо-економічною токенизацією, відходить від вузького оцінювання «правильно/неправильно» до визнання структурного розуміння, наполегливості та соціальної цінності. Подальша робота — емпірична валідація таксономії сенсів, автоматичне калібрування ваг, інтеграція з формальними верифікаторами й міжплатформна сумісність.

## Список використаних джерел (APA 7)

1. Awaji, B., & Solaiman, E. (2022). Design, implementation, and evaluation of blockchain-based trusted achievement record system for students in higher education. arXiv preprint arXiv:2204.12547. <https://arxiv.org/abs/2204.12547>
2. Corbett, A. T., & Anderson, J. R. (1994). Knowledge tracing: Modeling the acquisition of procedural knowledge. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 4(4), 253–278. <https://doi.org/10.1007/BF01099821>
3. du Plooy, E., Casteleijn, D., & Franzsen, D. (2024). Personalized adaptive learning in higher education: A scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement. *Heliyon*, 10, e39630. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39630>
4. Gulati, R., Jethi, A., Ghosh, A., Shimpi, A., & Naik, A. (2020). Implementation of an educational model leveraging the power of incentive reward theory with

- blockchain. ITM Web of Conferences, 32, 03027.  
<https://doi.org/10.1051/itmconf/20203203027>
5. Hernández-de-Menéndez, M., Morales-Menéndez, R., Escobar, C. A., et al. (2022). Learning analytics: State of the art. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 16, 1209–1230. <https://doi.org/10.1007/s12008-022-00930-0>
  6. Hew, K. F., Huang, W., & Lo, C. (2023). Gamification enhances student intrinsic motivation, perceptions of autonomy and relatedness but not competence: A meta-analysis and systematic review. *Educational Technology Research and Development*, 72(1), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10337-7>
  7. Jirgensons, M., & Kapenieks, J. (2018). Blockchain and the future of digital learning credential assessment and management. *Journal of Teacher Education for Sustainability*, 20(1), 145–156. <https://doi.org/10.2478/jtes-2018-0009>
  8. Mao, Y., Lin, C., & Chi, M. (2018). Deep learning vs. Bayesian knowledge tracing: Student models for interventions. *Journal of Educational Data Mining*, 10(2), 28–54. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1195512.pdf>
  9. Pelánek, R. (2017). Bayesian knowledge tracing, logistic models, and beyond: An overview of learner modeling techniques. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 27, 313–350. <https://doi.org/10.1007/s11257-017-9193-2>
  10. Piech, C., Spencer, J., Huang, J., et al. (2015). Deep knowledge tracing. In *Advances in Neural Information Processing Systems* (Vol. 28, pp. 505–513). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1506.05908>
  11. Tan, K. H., Kasiveloo, M., & Abdullah, I. H. (2022). Token economy for sustainable education in the future: A scoping review. *Sustainability*, 14(2), 716. <https://doi.org/10.3390/su14020716>
  12. van Roy, R., & Zaman, B. (2017). Why gamification fails in education and how to make it successful: Introducing nine gamification heuristics based on self-determination theory. In C. S. Calvo (Ed.), *Serious games and edutainment*

applications (pp. 485–509). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-51645-5\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-319-51645-5_22)

13. Vie, J., & Kashima, H. (2018). Knowledge tracing machines: Factorization machines for knowledge tracing. arXiv preprint arXiv:1811.03388. <https://arxiv.org/abs/1811.03388>
14. Wood, G. (2014). Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger. Ethereum Project Yellow Paper, 151, 1–32. <https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf>