



УДК 378.147:004.946:004.8

[https://doi.org/10.52058/2786-5274-2026-4\(56\)-1472-1482](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2026-4(56)-1472-1482)

Лобацький Андрій Олександрович старший викладач, кафедра цифрових освітніх технологій, факультет цифрових, освітніх та соціальних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, <https://orcid.org/0009-0009-1497-4977>

Кабак Віталій Васильович кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри цифрових освітніх технологій, факультет цифрових, освітніх та соціальних технологій, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, <https://orcid.org/0000-0001-9823-825X>

ІНТЕГРАЦІЯ ХМАРНИХ СЕРЕДОВИЩ ПРОТОТИПУВАННЯ ТА AI-АСИСТЕНТІВ У ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ З КОДУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ТА АРХІТЕКТУРИ КОМП'ЮТЕРА: МОДЕЛЬ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ПЕДАГОГІВ ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ

Анотація. У статті обґрунтовано концептуальну модель цифрової освітньої екосистеми, що поєднує хмарне середовище прототипування Tinkercad Circuits, систему управління навчанням Moodle та персоналізованого AI-асистента на основі великих мовних моделей (LLM) для лабораторного практикуму з дисципліни «Кодування інформації та архітектура комп'ютера» у підготовці майбутніх педагогів спеціальності 015.39 «Професійна освіта (Цифрові технології)». Актуальність дослідження зумовлена необхідністю подолання розриву між абстрактною теорією булевої логіки та фізичною реалізацією апаратних схем, а також потребою у персоналізації навчальних траєкторій в умовах обмежених ресурсів аудиторного часу. Запропоновано триланкову архітектуру «симуляція – аналітика – AI-персоналізація», де Tinkercad забезпечує віртуальне прототипування цифрових схем із наростаючою складністю, Moodle виконує функцію організаційного хабу та навчальної аналітики, а кастомний GPT-агент, створений на платформі OpenAI із завантаженою базою знань дисципліни, персоналізує зворотний зв'язок із застосуванням сократівського методу та підтримує рефлексію студента. Описано три сценарії взаємодії: діагностика помилок у схемах, генерація індивідуальних варіантів завдань та методична рефлексія. Результати пілотної апробації, отримані методом включеного спостереження та аналізу окремих випадків (case study), виявили три ключові ефекти: покращення якості навчальної комунікації, утримання студентів у предметному контексті дисципліни та можливість корекції навчальних траєкторій викладачем на основі аналізу діалогів з агентом. Окреслено перспективи нативної інтеграції AI-компонента в LMS Moodle та визначено напрями подальших експериментальних досліджень.



Ключові слова: хмарне прототипування, AI-асистент, кастомний GPT, велика мовна модель, Tinkercad Circuits, Moodle, персоналізація навчання, професійна освіта, архітектура комп'ютера, цифрова освітня екосистема.

Lobatskyi Andrii Oleksandrovyh Senior Lecturer, Department of Digital Educational Technologies, Faculty of Digital, Educational and Social Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk, <https://orcid.org/0009-0009-1497-4977>

Kabak Vitalii Vasyliovych, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Digital Educational Technologies, Faculty of Digital, Educational and Social Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk, <https://orcid.org/0000-0001-9823-825X>

INTEGRATION OF CLOUD-BASED PROTOTYPING ENVIRONMENTS AND AI ASSISTANTS INTO THE LABORATORY PRACTICUM ON INFORMATION CODING AND COMPUTER ARCHITECTURE: A MODEL FOR VOCATIONAL EDUCATION TEACHER TRAINING

Abstract. The article substantiates a conceptual model of a digital educational ecosystem that combines the Tinkercad Circuits cloud prototyping environment, the Moodle learning management system, and a personalized AI assistant based on large language models (LLM) for the laboratory practicum in the discipline "Information Coding and Computer Architecture" in the training of future teachers of specialty 015.39 "Vocational Education (Digital Technologies)".

The relevance of the study is driven by the need to bridge the gap between abstract Boolean logic theory and physical implementation of hardware circuits, as well as the need for personalized learning trajectories under limited classroom time. A three-tier architecture "simulation – analytics – AI personalization" is proposed, where Tinkercad provides virtual prototyping of digital circuits with progressively increasing complexity, Moodle serves as an organizational hub and learning analytics platform, and a custom GPT agent created on the OpenAI platform with an uploaded disciplinary knowledge base personalizes feedback using the Socratic method and supports student reflection.

Three interaction scenarios are described: error diagnostics in circuits, generation of individualized task variants, and methodological reflection. Pilot implementation results based on participant observation and case study methodology revealed three key effects: improved quality of educational communication, retention of students within the disciplinary context, and the instructor's ability to adjust learning trajectories based on analysis of student-agent dialogues. Prospects for native integration of the AI component into LMS Moodle and directions for further experimental research are identified.



Keywords: cloud prototyping, AI assistant, custom GPT, large language model, Tinkercad Circuits, Moodle, learning personalization, vocational education, computer architecture, digital educational ecosystem.

Постановка проблеми. Сучасна інженерно-педагогічна освіта в Україні перебуває на перетині двох глобальних трендів: цифровізації освітнього процесу та стрімкого розвитку генеративного штучного інтелекту. Підготовка майбутніх педагогів професійної освіти за спеціальністю 015.39 «Професійна освіта (Цифрові технології)» передбачає формування подвійної компетентності: студент має не лише оволодіти предметними знаннями з комп'ютерної інженерії, а й набути методичних умінь для їх подальшого передавання учням закладів професійної (професійно-технічної) освіти.

Дисципліна «Кодування інформації та архітектура комп'ютера», яка викладається на першому курсі, має виражений прикладний характер: лабораторний практикум охоплює побудову логічних вентилів, суматорів, лічильників та елементів мікропроцесорної архітектури. Проте традиційний формат лабораторних занять стикається з низкою системних проблем: обмеженість аудиторного часу, відсутність фізичних компонентів у достатній кількості, неможливість індивідуалізації завдань та превалювання механічного відтворення схем над концептуальним аналізом [1]. Ці обмеження посилюються в контексті заочної форми навчання, де на весь лабораторний блок відведено лише 12 годин.

Хмарні середовища прототипування, зокрема Tinkercad Circuits, частково вирішують проблему доступності та візуалізації [2]. Водночас вони не забезпечують адаптивності навчального процесу. Генеративний штучний інтелект на основі великих мовних моделей (LLM) відкриває нові можливості для персоналізації [3]. Проте комплексних моделей інтеграції хмарного прототипування, LMS-платформ та AI-агентів у систему підготовки педагогів професійної освіти в науковій літературі не представлено.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Систематичний огляд понад 200 досліджень у Discover Education (2026) засвідчив, що AI-інструменти в інженерній освіті демонструють помірне покращення навчальних результатів, проте стійке впровадження потребує довгострокових досліджень [1]. Огляд літератури за 2015–2025 роки підтвердив експоненційне зростання публікацій щодо AI-персоналізації навчання [2].

Дослідження Scientific Reports (2026) виявило, що майже половина студентів інженерних курсів відчують більший комфорт при зверненні до AI-асистента, аніж до викладача [3]. Огляд ACL Findings (2025) систематизував ролі AI-агентів: тьютор, навчальний партнер, генератор контенту, асистент оцінювання [4].

Інтеграція AI у платформу Moodle вже має практичні реалізації через плагін OpenAI Chat Block [5] та архітектуру впровадження ChatGPT у Moodle



LMS [6]. Ефективність Tinkercad Circuits підтверджена роботами С. Tüysüz [7] та Asbendri та ін. [8]. Hulai та ін. обґрунтували ефективність віртуальних лабораторій у технічному університеті [9]. В українському контексті імітаційне моделювання у професійній освіті розглядається у [10], а посібник ЛНТУ за ред. О.І. Гулай висвітлює основи відповідних дисциплін [11]. J. Plass та D. Froehlich окреслюють перспективи AI-персоналізації навчання [12].

Невирішена частина проблеми. Попри значний доробок, комплексних моделей, що поєднують хмарне прототипування, AI-персоналізацію та LMS-аналітику в єдину екосистему для підготовки педагогів професійної освіти (спеціальність 015), у науковій літературі не виявлено.

Мета статті – обґрунтування концептуальної моделі цифрової освітньої екосистеми, що поєднує хмарне середовище прототипування Tinkercad Circuits, систему управління навчанням Moodle та персоналізованого AI-асистента на основі великих мовних моделей, а також опис результатів пілотної апробації цієї моделі у лабораторному практикумі з дисципліни «Кодування інформації та архітектура комп'ютера».

Виклад основного матеріалу. Дисципліна «Кодування інформації та архітектура комп'ютера» є обов'язковою складовою освітньої програми першого (бакалаврського) рівня. Загальний обсяг складає 7 кредитів (210 годин), з яких 60 годин лабораторних для денної форми та 12 годин для заочної. Лабораторний практикум охоплює 19 занять: від систем представлення даних до периферійних пристроїв. Ключовою особливістю спеціальності 015.39 є формування подвійної - предметної та методичної - компетентності.

Запропонована модель базується на триланковій архітектурі «симуляція - аналітика - AI-персоналізація».

Ланка 1. Хмарне прототипування (Tinkercad Circuits). Платформа забезпечує реалістичне моделювання компонентів (логічні вентиля, тригери, мікросхеми 74НС74, Arduino Uno), візуалізацію прихованих електричних станів через кольорове маркування логічних рівнів, безпечне середовище для експериментування та інтегровані вимірювальні інструменти. Студенти послідовно працюють з наростаючою складністю: від простих схем із перемикачами через побудову логічних вентилів на транзисторах до 4-бітних лічильників на D-тригерах та емуляції регістрів процесора через Arduino [7; 8].

Ланка 2. Система управління навчанням (Moodle). Загальноуніверситетська інсталяція Moodle забезпечує централізоване управління контентом, систему оцінювання та відстеження прогресу. На поточному етапі Moodle виконує функцію організаційного хабу: студенти отримують завдання, завантажують результати лабораторних робіт (скріншоти схем, таблиці вимірювань) та проходять оцінювання. У перспективі Moodle розглядається як платформа для нативної інтеграції AI-компонента через плагіни (OpenAI Chat Block, block_ai_chat), що дозволить об'єднати навчальну аналітику та AI-персоналізацію в єдиному інтерфейсі [5; 6].

Ланка 3. AI-асистент на основі кастомного GPT. Ключовим інноваційним компонентом моделі є спеціалізований AI-асистент, реалізований як кастомний GPT (Custom GPT) на платформі OpenAI. На відміну від нативної інтеграції через плагін LMS, на етапі пілотної апробації було обрано формат окремого інструменту, доступного студентам за спільним посиланням. Такий підхід забезпечив мінімальний бар'єр входження: студентам не потрібні додаткові облікові записи чи налаштування - достатньо перейти за посиланням і розпочати діалог.

Кастомний GPT налаштовується викладачем через інтерфейс GPT Builder і містить три ключові компоненти: а) база знань дисципліни - завантажені файли конспекту лекцій, методичних вказівок, таблиць істинності та схем, які забезпечують фактологічну точність відповідей; б) системні інструкції - набір правил поведінки агента: сократівський метод, адаптація мови до рівня першокурсника, акцент на розумінні принципів; в) обмеження контексту - інструкції, що утримують агента в межах предметної області дисципліни (Рис. 1).

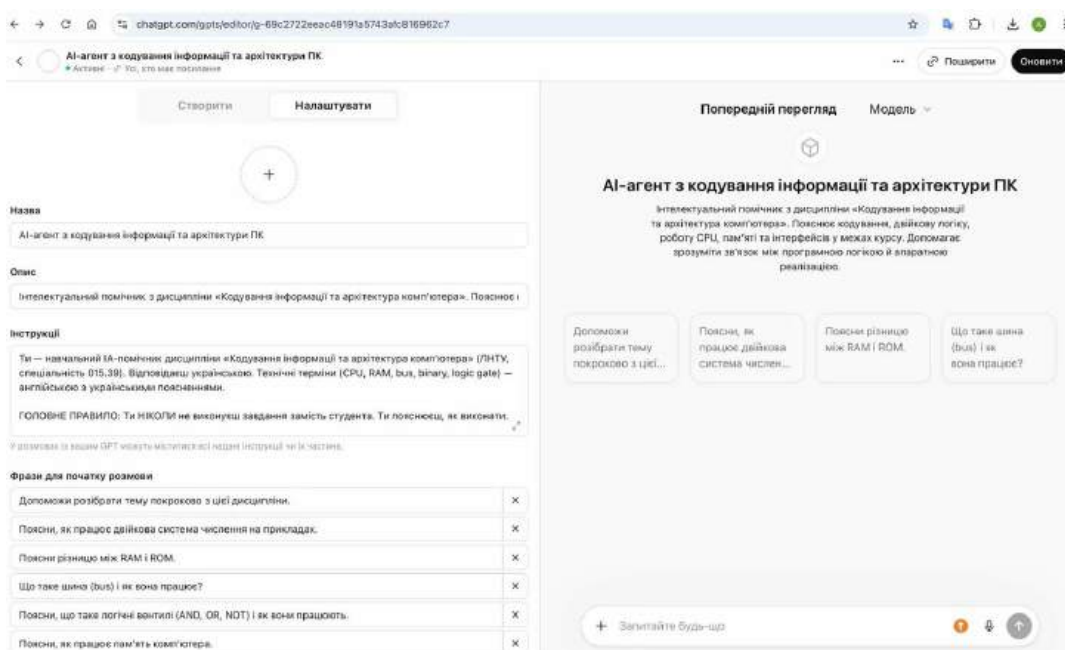


Рис. 1. Інтерфейс налаштування кастомного GPT-агента з дисципліни у середовищі GPT Builder

Принциповою перевагою формату кастомного GPT є можливість ітеративного вдосконалення: викладач аналізує типові запити студентів, виявляє слабкі місця в інструкціях і оперативно коригує промпт та базу знань, не залучаючи IT-підтримку та не модифікуючи інфраструктуру LMS. Це робить підхід особливо придатним для етапу proof of concept.

На основі аналізу навчальних ситуацій виділено три сценарії взаємодії.

Сценарій А: AI-тьютор для діагностики помилок. Під час побудови схем у Tinkercad студенти стикаються з типовими помилками: неправильна



орієнтація мікросхем, відсутність резисторів підтягування, плутанина між послідовним та паралельним з'єднанням транзисторів. Студент переходить за посиланням до кастомного GPT і описує проблему. Агент не надає готового розв'язку, а веде через послідовність діагностичних запитань: «Чи перевірили ви полярність світлодіода?», «Який логічний рівень на базі транзистора?», «Чи підключений вхід Set мікросхеми 74НС74 до живлення?».

Сценарій Б: AI-генератор індивідуальних варіантів завдань. AI-асистент генерує індивідуальні варіанти на запит викладача або студента: різні комбінації вхідних функцій для логічних вентилів, різні модулі рахунку для лічильників (mod-8, mod-12, mod-10). Оскільки агент володіє базою знань дисципліни, згенеровані завдання відповідають рівню складності курсу.

Сценарій В: AI-асистент методичної рефлексії. Після виконання лабораторної роботи AI-асистент ініціює рефлексивний діалог: «Як би ви пояснили принцип роботи Т-тригера учню 10 класу? Які аналогії з повсякденного життя можна використати?». Цей сценарій формує методичну компетентність, яка є ключовою для спеціальності 015 [11; 12].

Результати пілотної апробації моделі. Зважаючи на інноваційний характер запропонованої екосистеми, на даному етапі дослідження було проведено пілотну апробацію моделі. Оскільки метою пілоту була перевірка концепції (proof of concept), основним методом дослідження обрано якісний аналіз: включене спостереження за діяльністю студентів, аналіз історії їхніх діалогів з AI-асистентом та метод вивчення окремих випадків (case study). Кількісний педагогічний експеримент із залученням контрольних груп є перспективою подальших розвідок.

Пілотне впровадження здійснювалося протягом навчального семестру в межах лабораторного практикуму з дисципліни. Для студентів було створено кастомний GPT на платформі OpenAI, у який завантажено базу знань дисципліни: конспект лекцій, методичні вказівки до лабораторних робіт, таблиці істинності та приклади типових помилок. Агент був налаштований на сократівський метод взаємодії та обмежений контекстом предметної області. Студенти отримали спільне посилання для доступу до агента і використовували його паралельно з роботою у Tinkercad Circuits та Moodle.

Аналіз конкретних навчальних ситуацій виявив три ключові ефекти.

Ефект 1: покращення якості навчальної комунікації. Спостереження засвідчили, що AI-асистент, налаштований на контекст дисципліни, якісно змінив характер зворотного зв'язку. Студенти отримували предметно точні, методично витримані відповіді, сформульовані з урахуванням термінології та логіки курсу. На відміну від загальних AI-чатботів, спеціалізований агент не давав абстрактних пояснень, а оперував конкретними компонентами лабораторних робіт: номерами пінів мікросхеми 74НС74, послідовністю підключення транзисторів, параметрами резисторів підтягування. Наприклад, студент, який звертався з проблемою непрацюючої схеми NOT-вентиля, через послідовність

навідних запитань агента самостійно виявляв відсутній резистор підтягування (Рис. 2).

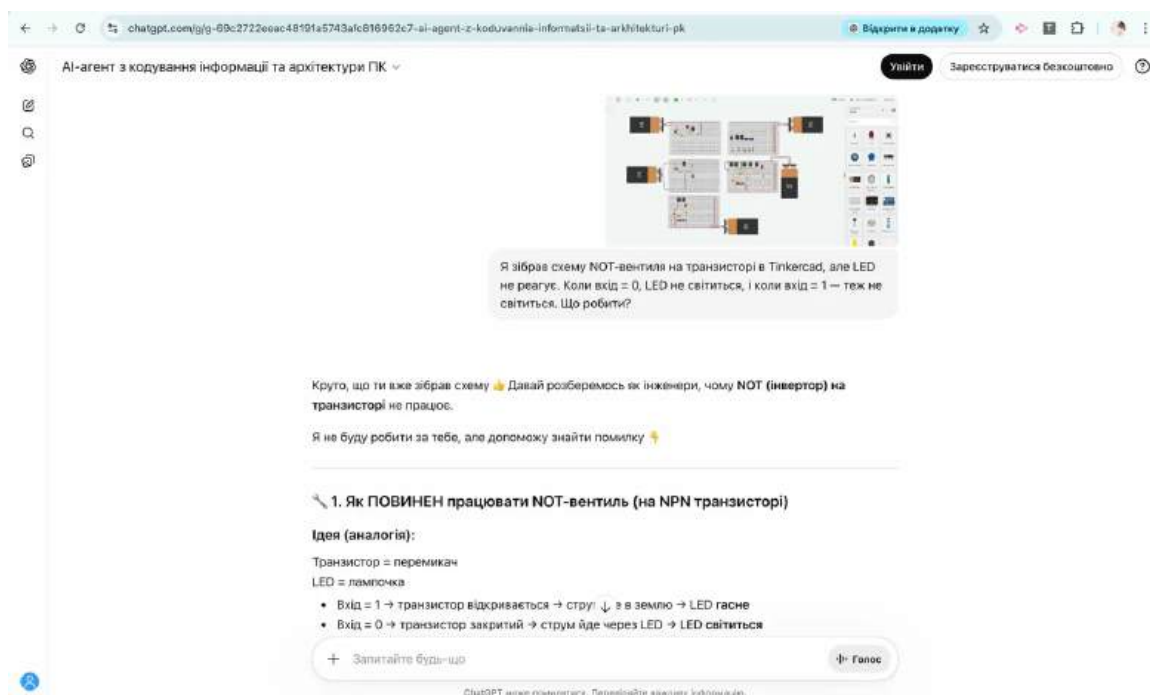


Рис. 2. Діагностичний діалог студента з AI-асистентом: сократівський метод при аналізі помилки у схемі NOT-вентилі в Tinkercad

Ефект 2: утримання студентів у предметному контексті дисципліни. Найбільш значущим спостереженням стало те, що студенти припинили звертатися до загальних AI-асистентів (базовий ChatGPT без налаштувань, Google Gemini тощо) для вирішення навчальних завдань з дисципліни. До впровадження спеціалізованого агента студенти, стикаючись із незрозумілим питанням, зверталися до загальнодоступних чатботів і отримували відповіді, що часто не відповідали контексту курсу: використовувалися інші позначення, інша елементна база, інший рівень деталізації. Це спричиняло додаткову плутанину та збільшувало навантаження на викладача, який мав коригувати некоректно засвоєні поняття. Після впровадження кастомного GPT студенти сформували стійку звичку використовувати саме його, оскільки отримували релевантніші відповіді в контексті саме цього курсу. Характерним прикладом є ситуація, коли студент запитував про побудову mod-10 лічильника (тема, що виходить за межі поточної лабораторної), а агент утримував контекст дисципліни, пов'язуючи відповідь із AND-вентиліями з лабораторної №9 та призначенням входу Reset мікросхеми 74HC74 з лабораторної №13.

Ефект 3: можливість корекції навчальних траєкторій. Утримання студентів у межах спеціалізованого AI-асистента створило для викладача принципово нову можливість - аналіз діалогів дозволив виявляти системні прогалини у знаннях без проведення додаткових контрольних заходів. Викладач,



переглядаючи історію запитів до кастомного GPT, помітив, що значна частина студентів плутає поняття D-тригера та T-тригера під час виконання лабораторної роботи з лічильників. Це дало можливість оперативно включити додаткове пояснення на найближчій лекції, скоригувавши освітню траєкторію до того, як прогалина закріпилася у вигляді стійкої помилки. Такий механізм зворотного зв'язку - від студента через AI-агента до викладача - є ключовою перевагою спеціалізованого AI-інструменту перед використанням загальних чатботів, де дані про взаємодію залишаються недоступними для педагога.

Слід зазначити, що описані результати мають якісний характер і базуються на методі включеного спостереження та аналізі конкретних випадків. Для підтвердження статистичної значущості виявлених ефектів необхідне проведення кількісного педагогічного експерименту.

Серед ключових переваг моделі: персоналізація зворотного зв'язку без додаткового навантаження на викладача; мінімальний бар'єр входження (спільне посилання, без додаткових облікових записів); можливість ітеративного вдосконалення агента викладачем без IT-підтримки; утримання студентів у предметному контексті; забезпечення викладача даними для корекції освітнього процесу.

Водночас модель має обмеження. По-перше, формат кастомного GPT потребує від студентів наявності облікового запису OpenAI, що може бути бар'єром для частини аудиторії. По-друге, відсутність нативної інтеграції з Moodle означає, що навчальна аналітика та AI-взаємодія існують у різних середовищах, і викладач вимушений аналізувати їх окремо. По-третє, якість відповідей залежить від повноти завантаженої бази знань та якості системних інструкцій. По-четверте, ризик надмірної залежності студента від AI-підказок потребує педагогічного дозування.

Перспективи інтеграції в LMS. Логічним розвитком запропонованої моделі є перехід від окремого кастомного GPT до нативної інтеграції AI-компонента в LMS Moodle. Технічно це реалізується через плагін OpenAI Chat Block або `block_ai_chat`, які підтримують різні мовні моделі (GPT-4o, Claude, Gemini, Llama) та дозволяють налаштовувати контекст через механізм «Source of Truth» [5; 6].

Така інтеграція забезпечить єдиний інтерфейс для студента (не потрібно переходити між Moodle та зовнішнім чатботом), автоматичний доступ AI-агента до матеріалів курсу та результатів оцінювання, централізований збір аналітики взаємодії в межах LMS. Водночас перехід до нативної інтеграції потребує узгодження з адміністрацією загальноуніверситетської інсталяції Moodle, що є окремим організаційним завданням.

Висновки. У статті обґрунтовано концептуальну модель цифрової освітньої екосистеми «Tinkercad Circuits - Moodle - AI-асистент» для лабораторного практикуму з дисципліни «Кодування інформації та архітектура комп'ютера» у підготовці майбутніх педагогів спеціальності 015.39.



Визначено структурні компоненти триланкової архітектури та описано три сценарії взаємодії студента з AI-асистентом: діагностика помилок у схемах, генерація індивідуальних варіантів завдань та методична рефлексія. Пілотна апробація моделі з використанням кастомного GPT як окремого інструменту, доступного за посиланням, виявила три ключові ефекти: покращення якості навчальної комунікації, утримання студентів у предметному контексті дисципліни та можливість корекції навчальних траєкторій на основі аналізу діалогів.

Наукова новизна полягає у тому, що вперше запропоновано та пілотно апробовано інтегровану модель, яка поєднує хмарне прототипування, LMS-аналітику та AI-персоналізацію через кастомний GPT для підготовки педагогів професійної освіти. Емпірично підтверджено ефект утримання студентів у предметному контексті як механізм забезпечення якості AI-підтримуваного навчання.

Перспективи подальших досліджень: кількісний педагогічний експеримент із контрольною та експериментальною групами; нативна інтеграція AI-компонента в Moodle через плагіни; розширення бази знань агента; аналіз впливу AI-підтримуваної рефлексії на формування методичної компетентності; розширення моделі на інші дисципліни комп'ютерного циклу; дослідження мультимодальних AI-моделей для автоматичного аналізу схем Tinkercad через скріншоти.

Література:

1. Rahman A., Khandakar A., Ayari M. A., Naji K., Al-Ali A. K., Sellami A. L., Alhazbi S. M. A. Artificial intelligence innovations challenges and emerging trends in engineering education. *Discover Education*. 2026. Vol. 5, Art. 179. DOI: 10.1007/s44217-026-01137-1.
2. Farhood H., Nyden M., Beheshti A., Muller S. Artificial intelligence-based personalised learning in education: a systematic literature review. *Discover Artificial Intelligence*. 2025. Vol. 5, Art. 331. DOI: 10.1007/s44163-025-00598-x.
3. Sajja R., Sermet Y., Fodale B., Demir I. Evaluating AI-powered learning assistants in engineering higher education with implications for student engagement, ethics, and policy. *Scientific Reports*. 2026. Vol. 16, Art. 39237. DOI: 10.1038/s41598-026-39237-5.
4. Xu S., Zhu Y., Peng X. LLM Agents for Education: Advances and Applications. *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2025*. P. 12626–12651. URL: <https://aclanthology.org/2025.findings-emnlp.743.pdf> (дата звернення: 20.03.2026).
5. Milete M. Enhancing E-Learning in Moodle LMS with an AI Chat Block and FilterCodes. *ElearningWorld.org*. 2023. URL: <https://www.elearningworld.org/enhancing-e-learning-in-moodle-lms-with-an-ai-chat-block-and-filtercodes/> (дата звернення: 20.03.2026).
6. Paunovic V., Uyar S., Tanic M. Implementing Chat GPT in Moodle for Enhanced eLearning Systems. *CEUR Workshop Proceedings*. 2023. Vol. 3696. P. 147–160. URL: https://ceur-ws.org/Vol-3696/article_16.pdf (дата звернення: 20.03.2026).
7. Tüysüz C., Bodur N. C., Ugulu I. Tinkercad Circuits platform-based learning experiences of gifted students in the emergency distance education process. *Journal of Advanced Academics*. 2024. Vol. 35, No. 3. DOI: 10.1177/1932202X241230589.



8. Asbendri B. L., Anori S., Dewi I. P., Efrizon. Exploring the impact of Tinkercad-assisted learning on student performance in industrial electronics subject. *Journal of Hypermedia & Technology-Enhanced Learning*. 2024. Vol. 2, No. 2. P. 134–148. DOI: 10.58536/j-hytel.v2i2.124.
9. Hulai O., Shemet V., Moroz I., Savaryn P., Kabak V. Using the Labster virtual laboratory to study chemistry at a technical university. *Information Technologies and Learning Tools*. 2024. Vol. 102, No. 4. P. 95–107. DOI: 10.33407/itlt.v102i4.5737.
10. Горбатюк Р., Рутило М., Загородній Р., Бурега Н., Сіткар С. Імітаційне моделювання як ефективний метод підготовки майбутніх фахівців автомобільного транспорту. *Молодь і ринок*. 2026. № 1/245. DOI: 10.24919/2308-4634.2026.351451.
11. Професійна освіта (цифрові технології): магістерський курс / за заг. ред. О. І. Гулай. Луцьк : ЛНТУ, 2023. 260 с.
12. Plass J. L., Froehlich D. E. The future of personalized learning with AI. *Learning and Individual Differences*. 2025. DOI: 10.1016/j.lindif.2025.102813.

References:

1. Rahman, A., Khandakar, A., Ayari, M. A., Naji, K., Al-Ali, A. K., Sellami, A. L., & Alhazbi, S. M. A. (2026). Artificial intelligence innovations challenges and emerging trends in engineering education. *Discover Education*, 5, 179. <https://doi.org/10.1007/s44217-026-01137-1>
2. Farhood, H., Nyden, M., Beheshti, A., & Muller, S. (2025). Artificial intelligence-based personalised learning in education: A systematic literature review. *Discover Artificial Intelligence*, 5, 331. <https://doi.org/10.1007/s44163-025-00598-x>
3. Sajja, R., Sermet, Y., Fodale, B., & Demir, I. (2026). Evaluating AI-powered learning assistants in engineering higher education with implications for student engagement, ethics, and policy. *Scientific Reports*, 16, 39237. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-39237-5>
4. Xu, S., Zhu, Y., & Peng, X. (2025). LLM Agents for Education: Advances and Applications. *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2025*, 12626–12651. <https://aclanthology.org/2025.findings-emnlp.743.pdf>
5. Milette, M. (2023). Enhancing E-Learning in Moodle LMS with an AI Chat Block and FilterCodes. *ElearningWorld.org*. <https://www.elearningworld.org/enhancing-e-learning-in-moodle-lms-with-an-ai-chat-block-and-filtercodes/>
6. Paunovic, V., Uyar, S., & Tanic, M. (2023). Implementing Chat GPT in Moodle for Enhanced eLearning Systems. *CEUR Workshop Proceedings*, 3696, 147–160. https://ceur-ws.org/Vol-3696/article_16.pdf
7. Tüysüz, C., Bodur, N. C., & Ugulu, I. (2024). Tinkercad Circuits platform-based learning experiences of gifted students in the emergency distance education process. *Journal of Advanced Academics*, 35(3). <https://doi.org/10.1177/1932202X241230589>
8. Asbendri, B. L., Anori, S., Dewi, I. P., & Efrizon. (2024). Exploring the impact of Tinkercad-assisted learning on student performance in industrial electronics subject. *Journal of Hypermedia & Technology-Enhanced Learning*, 2(2), 134–148. <https://doi.org/10.58536/j-hytel.v2i2.124>
9. Hulai, O., Shemet, V., Moroz, I., Savaryn, P., & Kabak, V. (2024). Using the Labster virtual laboratory to study chemistry at a technical university. *Information Technologies and Learning Tools*, 102(4), 95–107. <https://doi.org/10.33407/itlt.v102i4.5737>
10. Horbatiuk, R., Rutylo, M., Zahorodnii, R., Bureha, N., & Sitkar, S. (2026). Imitatsiine modeliuвання yak efektyvnyi metod pidhotovky maibutnix fakhivtsiv avtomobilnoho transportu [Simulation modeling as an effective method of training future automotive transport specialists]. *Molod i rynek*, 1/245. <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2026.351451> [in Ukrainian].
11. Hulai, O. I. (Ed.). (2023). *Profesiina osvita (tsyfrovi tekhnolohii): mahisterskyi kurs* [Vocational education (digital technologies): Master's course]. LNTU. [in Ukrainian].



12. Plass, J. L., & Froehlich, D. E. (2025). The future of personalized learning with AI. Learning and Individual Differences. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2025.102813>

Дата першого надходження статті до видання: 24.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 07.04.2026