

АНАТОЛІЙ БАЛИК

ORCID ID: 0009-0005-5031-6059

vodinn@tnpu.edu.ua

здобувач третього (освітньо-наукового) рівня

вищої освіти спеціальності 011 Освітні, педагогічні науки

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. Максима Кривоноса, 2, м. Тернопіль

РОЗВИТОК ОСВІТНІХ ЕКОСИСТЕМ У КОНТЕКСТІ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ ШІ-МОДЕЛЕЙ

У статті проаналізовано розвиток інструментів штучного інтелекту (ШІ) в освітньому процесі: від універсальних чат-ботів до спеціалізованих агентних систем. Визначено, що головною проблемою масових ШІ-рішень у вищій освіті є недостатня точність даних у конкретних наукових галузях та складність їх застосування у комплексних навчальних сценаріях. Методологія дослідження поєднує системний аналіз архітектури ШІ, положення теорії когнітивного навантаження та метод кейс-стаді. Це дало змогу обґрунтувати модель інтегрованого навчального середовища, що забезпечує мультимодальну інтеграцію знань (текст, програмний код, візуальні об'єкти). Теоретично обґрунтовано модель автономного ШІ-агента як інструментарію дослідницького навчання, що функціонує за циклом «планування–дія–спостереження». Доведено, що етапи роботи таких агентів відповідають фазам наукового пошуку, що дозволяє використовувати їх як ефективні засоби інтелектуальної підтримки у професійній підготовці майбутніх учителів інформатики. На прикладі платформи NotebookLM та технології RAG підтверджено ефективність механізму технологічного заземлення відповідей на базі фахових джерел. Встановлено, що використання верифікованої бази знань (стандарту DigComp 3.0, методичних рекомендацій МОН України тощо) дозволяє мінімізувати ризик виникнення фактичних помилок ШІ, забезпечуючи високу академічну достовірність навчального контенту. У висновках підкреслено, що впровадження таких екосистем трансформує роль викладача від ретранслятора інформації до проєктувальника навчального середовища, який координує процеси взаємодії майбутніх учителів інформатики з інтелектуальними системами.

Ключові слова: штучний інтелект в освіті, автономні ШІ-агенти, RAG-архітектура, дослідницьке навчання, мультимодальне середовище, DigComp 3.0.

ANATOLII BALYK

Postgraduate Student (third-cycle higher education)

in the specialty 011 Educational and Pedagogical Sciences

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University

2 Maksym Kryvonis Str., Ternopil

DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL ECOSYSTEMS IN THE CONTEXT OF AI MODEL SPECIALIZATION

The systemic evolution of Artificial Intelligence (AI) tools in higher education is currently shifting from general-purpose generative models toward specialized agentic architectures. In the context of modern pedagogical science, this shift is driven by the limitations of mainstream AI solutions, which often lack accuracy in specific scientific domains and exhibit complexity when applied to comprehensive educational scenarios. This necessitates the implementation of specialized environments capable of ensuring high factual reliability while optimizing the cognitive resources of both students and educators. According to the updated European Digital Competence Framework (DigComp 3.0, 2025), developing the capacity for critical algorithm management and the use of verified knowledge bases has become a strategic priority for professional teacher training. The study aims to substantiate a multimodal agentic ecosystem as a methodological framework for inquiry-based learning that enhances academic integrity and professional competence in informatics teacher training. This model defines the AI agent not merely as a chatbot but as a functional instrument for intellectual support, bridging the gap between advanced architectural solutions and practical pedagogical strategies. The methodology combines a systemic approach to AI architecture analysis, a synthesis of cognitive load theory, and empirical verification via a case study involving the NotebookLM platform. This involved an analysis of how agentic workflows facilitate the transition from linear information retrieval to iterative research cycles. Furthermore, a comparative assessment was conducted to evaluate the efficiency of the proposed framework in automating routine data structuring. The results confirm that the proposed model is a valid framework, showing strong alignment with the requirements for multimodal knowledge integration across text, code, and visuals. A central finding is the effectiveness of RAG-architecture

in grounding AI responses in verified professional corpora, such as national educational guidelines. Testing within a «Prompt Engineering» course demonstrated that specialized agentic systems significantly minimize factual errors, allowing students to shift their cognitive focus from data verification to high-level synthesis and critical evaluation of educational content. The research concludes that modern informatics teacher training must integrate multimodal agentic systems to prepare specialists capable of managing dynamic knowledge bases. Ultimately, this transforms the teacher's role from a knowledge transmitter to a designer of the learning environment, coordinating the «teacher – AI-agent – student» interaction within a unified digital ecosystem.

Key words: artificial intelligence in education, autonomous AI agents, RAG architecture, inquiry-based learning, multimodal environment, DigComp 3.0.

Динамічний розвиток технологій генеративного штучного інтелекту (ШІ) зумовив зміну підходів до проєктування та подання навчального контенту. На початковому етапі інтеграції великих мовних моделей у вищу освіту переважало використання універсальних чат-ботів як допоміжних інструментів для пошуку інформації. Проте практичний досвід виявив певні обмеження таких рішень: недостатню точність у вузьких наукових галузях, схильність до фактологічних помилок та складність їх застосування у комплексних навчальних сценаріях.

З позицій теорії когнітивного навантаження [15], використання універсальних моделей без спеціальної адаптації потребує від студентів надмірних зусиль для постійної верифікації даних. Це зумовлює необхідність впровадження спеціалізованих агентних систем, інтегрованих у мультимодальне середовище. Такий підхід змінює роль ШІ: від пасивного довідника до інструмента інтелектуальної підтримки, здатного до одночасного опрацювання тексту, програмного коду та графічних об'єктів.

У межах нашого дослідження освітня екосистема розглядається як динамічна мережа взаємодії між викладачами, студентами та ШІ-агентами. Трансформація цієї екосистеми передбачає перехід від репродуктивної передачі знань до створення адаптивних умов, де агентні системи забезпечують гнучкість та персоналізацію навчального процесу.

Вирішення окресленої проблеми безпосередньо корелює з пріоритетними завданнями державної політики щодо цифровізації вищої освіти України. Зокрема, це стосується впровадження інтелектуальних систем для підвищення якості підготовки фахівців, що є критично важливим для забезпечення конкурентоспроможності випускників у сучасному цифровому середовищі.

Питання цифровізації освіти та методології впровадження ШІ є об'єктом інтенсивних дискусій, де акцент поступово зміщується від загальної технологічної готовності до методичної специфікації інструментів. Зокрема, стратегічні напрями та методичні особливості використання штучного інтелекту в системі підготовки майбутніх фахівців природничих галузей ґрунтовно досліджено Г. Р. Генсєрук та М. І. Громяком [1]. Автори акцентують увагу на потенціалі інтелектуальних систем у контексті вимог Нової української школи.

Теоретичні засади та практичний досвід використання штучного інтелекту для розвитку цифрової компетентності науково-педагогічних працівників ґрунтовно проаналізовано у дослідженні В. Олексюка, О. Спіріна та ін. [4]. Паралельно з цим, питання трансформації професійних навичок викладача в епоху генеративного ШІ розглядають Б. М. Каліндруз та В. Кібаленко [2], наголошуючи на необхідності перегляду традиційних складників ІКТ-компетентності. Питання моделювання навчального процесу на засадах ШІ для формування навичок майбутнього розкрито у працях Н. В. Морзе та співавторів [3]. Психолого-педагогічний вимір взаємодії людини з інтелектуальними системами, зокрема механізми довіри та прийняття рішень, висвітлено у дослідженні Л. Помиткіної та ін. [5]. Окрему увагу етичним аспектам, проблемам упередженості алгоритмів та концепціям справедливості в інтелектуальних системах приділяють у своїх розвідках Л. Флоріді [8] та Р. Біннс [6].

Водночас, попри значний доробок у галузі текстової взаємодії з ШІ, недостатньо вивченою залишається методологія переходу від репродуктивного використання нейромереж до впровадження автономних агентних архітектур. Більшість актуальних праць розглядають ШІ як допоміжний інструмент генерації контенту, фактично ігноруючи операційну автономність агентних систем (цикл «планування – дія – спостереження») та їхню здатність до реалізації складних дослідницьких сценаріїв у межах мультимодальних екосистем. Саме відсутність цілісних моделей такого переходу та недостатня вивченість механізмів мультимодальної інтеграції знань визначають доцільність нашого дослідження.

Мета статті полягає у теоретичному обґрунтуванні та практичній верифікації моделі переходу від універсальних ШІ-рішень до спеціалізованих мультимодальних архітектур як необхідної умови формування професійної екосистеми та розвитку цифрової компетентності майбутнього вчителя інформатики.

Методи дослідження. Для реалізації мети використано системний аналіз – з метою визначення теоретичних засад агентності в освіті; моделювання освітніх сценаріїв у мультимодальному середовищі; метод кейс-стаді на прикладі платформи NotebookLM для оцінювання точності та автономності ШІ-систем у межах курсу «Prompt-інжиніринг» для здобувачів спеціальності «Середня освіта (Інформатика)». У межах кейс-стаді застосовано метод якісного аналізу результатів верифікації контенту для порівняння достовірності відповідей універсальних та спеціалізованих моделей штучного інтелекту.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у теоретичному обґрунтуванні моделі мультимодального ШІ-агента як інструментарію дослідницького навчання, що дозволяє інтегрувати роботу з текстом, кодом та графікою в межах єдиного операційного циклу «планування–дія–спостереження»; вперше доведеній ефективності застосування архітектури RAG для верифікації відповідей штучного інтелекту в освітньому процесі, що забезпечує зниження частоти фактичних помилок завдяки використанню профільних баз знань; визначенні методичних засад переходу від репродуктивного використання алгоритмів до свідомого методичного проєктування навчального процесу здобувачами, що відповідає вимогам оновленої рамки цифрових компетентностей DigComp 3.0.

Аналізуючи технологічну еволюцію інструментарію, варто зауважити, що першим етапом подолання обмежень традиційних ШІ-моделей стало впровадження систем, що базуються на зовнішніх базах знань. Модель використання великих мовних моделей як закритих систем поступово трансформується, поступаючись місцем динамічним інтеграціям.

Сучасна трансформація освітніх екосистем визначається зміною підходу до використання інтелектуальних систем [2; 3]. Відповідно до засад етичного та функціонального впровадження ШІ у суспільні процеси [8], відбувається перехід від застосування моделей загального призначення до проєктування спеціалізованих агентних архітектур [10]. Такий підхід дозволяє переорієнтувати когнітивний ресурс студента з рутинних операцій на розв'язання творчих завдань, що є критично важливим для запобігання когнітивному перевантаженню [15].

На етапі появи інтелектуальних систем в освіті переважав підхід «універсального асистента». Проте практика засвідчила [13], що надмірна універсальність моделей призводить до втрати контекстуальної точності. Через імовірнісну природу генерації тексту такі системи мають схильність до викривлення фактів, що підтверджується результатами порівняльних тестувань [11]. У спеціалізованих наукових галузях та під час підготовки вчителів інформатики це стає суттєвим бар'єром, оскільки потребує переходу від загальних рішень до мультимодальних архітектур із механізмами верифікації знань [10].

Сьогодні ми спостерігаємо перехід до спеціалізованих моделей. На відміну від універсальних систем, вони проходять додаткове навчання на перевірених академічних текстах. Це гарантує не лише високу точність, а й дотримання наукового стилю та термінології.

Суттєвим етапом у цьому контексті є впровадження агентної логіки, за якої ШІ функціонує як система, здатна до вибудовування логічних міркувань. Завдяки застосуванню ітераційних циклів – зокрема схеми ReAct (поєднання міркування та дії) – ШІ-агент декомponує складне навчальне завдання на послідовні кроки: планування, реалізацію та критичний аналіз результату. Це дозволяє системі не просто генерувати статистично імовірну відповідь, а автономно звертатися до зовнішніх інструментів: обчислювальних модулів або верифікованих баз даних. Важливою перевагою є здатність агента автоматично перевіряти проміжний результат перед його представленням здобувачу освіти, що мінімізує поширення помилкових тверджень.

Перехід до агентної логіки змінює структуру освітнього середовища. Традиційні системи, де викладач був єдиним джерелом знань, трансформуються у відкриті мережі. У такій структурі ШІ-агент забезпечує інтелектуальну та технічну підтримку, що дозволяє адаптувати складність завдань під індивідуальні запити здобувача освіти. Принципова відмінність між пасивною генерацією тексту та активним плануванням полягає у зміні структури зв'язків: від лінійної передачі інформації до циклічного зворотного зв'язку. Графічне представлення цієї трансформації наведено на рисунку 1.

Педагогічні та когнітивні аспекти трансформації. З позицій сучасної дидактики, перехід до агентних рішень дозволяє вивести персоналізацію навчання на новий рівень. Спеціалізована модель у такому контексті адаптується до індивідуального темпу та запитів студента, надаючи потрібний інструмент (код, модель чи пояснення) саме в той момент, коли він необхідний.

Особливого значення така адаптивність набуває в межах теорії когнітивного навантаження [15]. Використання агентних систем дозволяє мінімізувати сторонні зусилля під час роботи зі складними

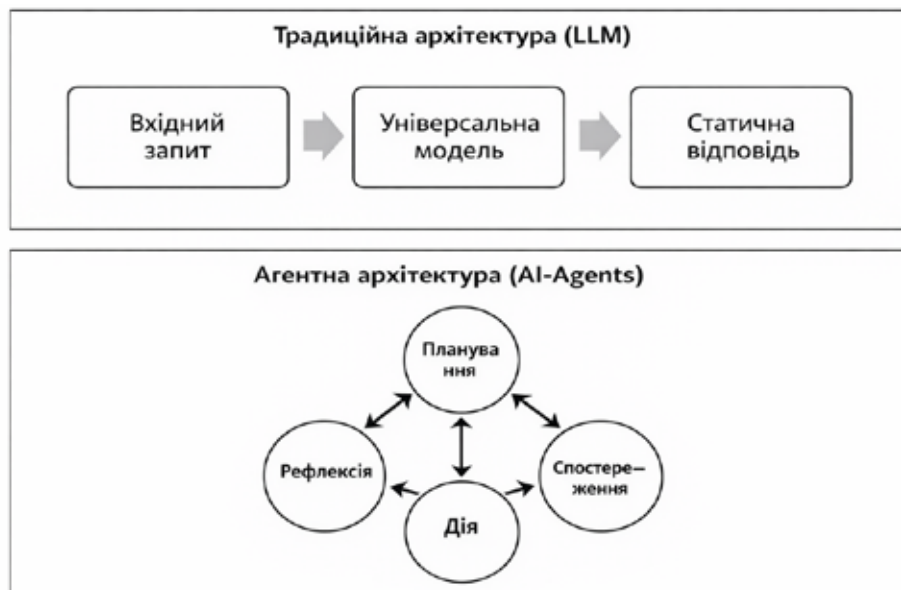


Рис. 1. Еволюція взаємодії з ШІ в освітньому процесі: від лінійної генерації до агентного планування

даними. У той час як універсальні моделі часто перевантажують пам'ять студента через необхідність постійно фільтрувати й перевіряти неточну інформацію, агентна архітектура бере на себе технічну рутину: розрахунки, структурування даних та первинну перевірку [12; 13]. Це звільняє інтелектуальні ресурси студента для справжнього розуміння матеріалу та пошуку власних рішень.

Логічним продовженням такої автономії є мультимодальна архітектура, що розглядається не як набір окремих медіафайлів, а як єдиний інтелектуальний простір [14]. Технологічна суть цього явища, згідно з концепцією мультимодальних систем [9], полягає у здатності алгоритмів опрацьовувати та синтезувати зміст (текст, програмний код, візуальні об'єкти) у межах спільного семантичного ядра (простору спільних векторних представлень). Це дозволяє уникати ізольованості різних форм представлення інформації та динамічно адаптувати контент під конкретний запит користувача.

Центральне семантичне ядро функціонує як інтеграційний вузол, що забезпечує узгоджений перехід знань між різними модальностями. Така системна цілісність сприяє глибшому засвоєнню матеріалу майбутніми вчителями інформатики, оскільки фахова інформація подається через взаємодоповнюючі канали сприйняття. Графічну модель цієї взаємодії зображено на рисунку 2.

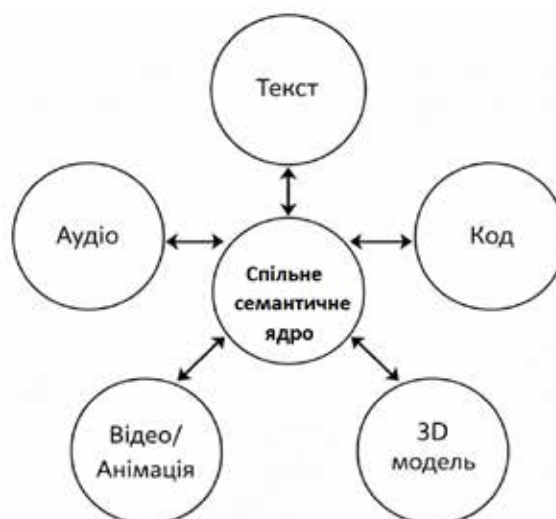


Рис. 2. Матриця мультимодальної взаємодії: об'єднання різноформатних даних у цілісне навчальне середовище

Мультимодальна взаємодія у навчанні. Процес взаємодії студента з інтелектуальним агентом трансформується у безперервний ланцюжок: Текстова концепція → Програмна реалізація → Візуальна інтерпретація. На практиці це працює як цикл: агент, отримавши запит на пояснення фізичного закону, генерує код для його моделювання, виконує його та презентує студенту динамічну візуалізацію. Це усуває неузгодженість між теоретичним матеріалом та практикою його перевірки, що зазвичай виникає при традиційних підходах.

Сьогодні цей принцип втілено у низці освітніх платформ. Наприклад, Microsoft Copilot автоматично трансформує структуровані дані з таблиць у методичні презентації. Платформа Khanmigo від Khan Academy реалізує сократичний діалог, у межах якого агент не надає готових рішень, а за допомогою навідних запитань стимулює студента до самостійного виявлення помилок та корекції програмного коду. Спеціалізований інструмент NotebookLM від Google використовує RAG-архітектуру для генерації аудіооглядів та конспектів, що ґрунтуються виключно на завантажених користувачем першоджерелах.

Попри ефективність, впровадження таких агентів містить ризики, зокрема появу так званих «логічних петель» (циклових галюцинацій). Це стан, за якого агент у процесі самокорекції потрапляє в замкнене коло, намагаючись виправити одну помилку за допомогою іншої. Такі ситуації можуть дезорієнтувати здобувача освіти та призвести до засвоєння хибних даних.

Для нівелювання цих ризиків важливо впроваджувати механізм поетапного людського контролю, який передбачає включення викладача в ключові ланки роботи ІІІ-системи. У такій моделі викладач стає модератором навчального процесу: він визначає межі автономії ІІІ, встановлює критерії оцінювання проміжних результатів та втручається в процес, якщо дії агента відхиляються від освітньої мети. Поєднання викладацького досвіду з обчислювальною потужністю ІІІ гарантує якість результатів у цифровому середовищі.

В основі описаних процесів лежить ітераційний цикл «планування – дія – спостереження». Ці етапи є технологічними відповідниками ключових фаз дослідницького навчання:

- планування відповідає етапам орієнтації та висунення гіпотез. Агент структурує складне завдання, моделюючи шлях наукового пошуку;
- дія тотожна активному експерименту. Агент виконує програмний код чи опрацьовує дані, дозволяючи студенту в реальному часі перевірити обрану стратегію;
- спостереження та рефлексія відповідають формуванню висновків. Завдяки циклам самокорекції агента студент може проаналізувати сам процес досягнення результату.

Така взаємодія спонукає студента до критичного прийняття рішень та вимагає розуміння того, наскільки можна довіряти результатам роботи алгоритмів [5]. У цьому контексті цикл «планування – дія – спостереження» виходить за межі технічного алгоритму і стає методичною основою, що структурує дослідницьку роботу студента та допомагає йому засвоїти логіку наукового пошуку. Це дозволяє виокремити два основні варіанти практичної роботи: використання ІІІ як допоміжного інструмента у дослідженні та роботу в середовищі з керованим контекстом знань на основі архітектури RAG.

У межах першої моделі ІІІ-агент виступає технологічним посередником, який допомагає студенту автоматизувати рутинні операції: обробку даних, виконання обчислювального коду та візуалізацію результатів. Це дозволяє майбутньому фахівцю перенести акцент із технічної рутини на перевірку гіпотез та змістовну інтерпретацію виявлених зв'язків.

Для майбутнього вчителя інформатики така циклічна взаємодія має додаткове методичне значення: вона не лише пришвидшує розв'язання технічних задач, а й слугує еталонною моделлю алгоритмічного мислення. Опановуючи етапи планування та рефлексії разом із ІІІ-агентом, здобувач фактично вивчає методику декомпозиції складних завдань, що є базовою професійною компетентністю при подальшому викладанні програмування чи основ штучного інтелекту в школі.

Друга модель – «середовище з керованим контекстом знань» (на основі архітектури RAG). У цьому сценарії ІІІ-агент стає навігатором по верифікованих джерелах, що були попередньо дібрані викладачем. Ключовою перевагою цієї моделі є технологічне «заземлення» відповідей ІІІ на конкретній базі навчальних матеріалів, наукових статтях та посібниках. Це не лише зводить до мінімуму ризик отримання хибних фактів, а й створює надійний фундамент для дотримання принципів академічної доброчесності.

Ще однією важливою дидактичною перевагою агентних рішень є їхня здатність демонструвати ланцюжки міркувань. Завдяки цьому здобувач освіти може наочно відстежувати внутрішню логіку розв'язання складних задач. ІІІ перестає бути «чорною скринькою», а процес пошуку відповіді стає відкритим для аналізу та педагогічної рефлексії.

Зазначені технологічні можливості радикально змінюють традиційну систему «викладач – студент», перетворюючи її на динамічний трикутник взаємодії «викладач – ШІ-агент – студент». Замість лінійної передачі контенту формується екосистема, де студент отримує оперативну методичну підтримку від агента, що робить навчання більш гнучким. Водночас автоматизація рутинних операцій дозволяє викладачеві вийти за межі ролі «контролера» та зосередитися на стимулюванні вищих когнітивних навичок студентів – критичного мислення, креативності та здатності до наукового синтезу.

Графічне представлення переходу від лінійної схеми до динамічного трикутника взаємодії, що забезпечує підтримку суб'єктності студента, відображено на рисунку 3.

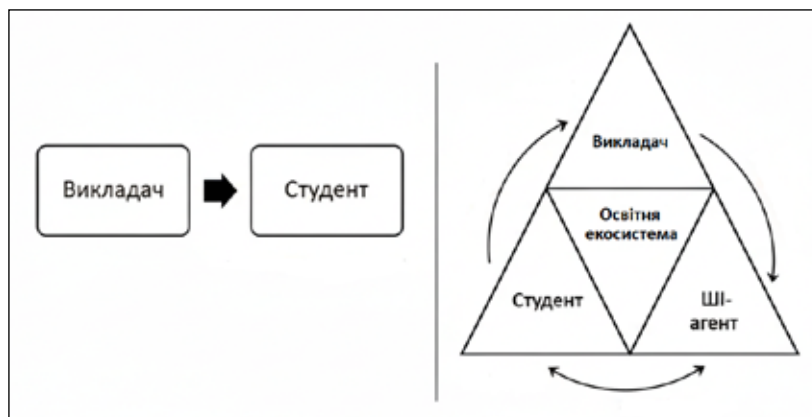


Рис. 3. Модель суб'єкт-суб'єктної взаємодії в освітній екосистемі з агентною підтримкою ШІ

У професійному профілі майбутнього вчителя інформатики роль проєктувальника освітнього середовища, відображена в цій моделі, стає домінуючою. Оскільки предметна галузь інформатики змінюється динамічно, здатність учителя налаштовувати агентні системи та керувати «базою знань» RAG-моделей стає важливим інструментом підтримки актуальності навчального контенту. Це дозволяє педагогу змістити акцент із простої трансляції технологічних оновлень на розвиток критичного мислення та дослідницьких навичок учнів у межах керованого інтелектуального середовища.

Апробація та практичні результати. Практична верифікація запропонованого підходу здійснювалася в межах курсу «Prompt-інжиніринг» для здобувачів вищої освіти спеціальності «Середня освіта (Інформатика)». Бібліотеку першоджерел було сформовано з методичних рекомендацій МОН України, специфікацій сучасних мов програмування та положень оновленого європейського стандарту цифрової компетентності DigComp 3.0 [7].

Використання мультимодальних можливостей платформи NotebookLM дозволило здобувачам завантажувати масив релевантних фахових джерел, на основі яких агент синтезував структуровані відповіді та генерував аудіогляди у форматі професійної дискусії. Під час апробації було встановлено, що ефективність ШІ-агента безпосередньо залежить від якості підготовки бази знань. Викладач у цій моделі виступає проєктувальником контексту: він відбирає фахові джерела для заземлення моделі, що дозволяє адаптувати універсальні алгоритми до специфіки підготовки вчителів інформатики. Такий механізм забезпечує інтегроване подання інформації: від аналізу текстів до їхнього звукового відтворення.

Емпіричне підтвердження дидактичної цінності підходу дозволило виокремити результати, що свідчать про зміну навчальної діяльності.

По-перше, досягнуто високої академічної достовірності контенту через мінімізацію фактичних помилок. Порівняльний аналіз відповідей універсальних моделей та спеціалізованого агента підтвердив, що використання технологічного заземлення суттєво знижує частоту помилок ШІ [10; 11]. Це звільняє здобувача від потреби в надмірному контролі фактичних даних, дозволяючи зосередити ресурс на змістовному аналізі та критичному оцінюванні матеріалу.

По-друге, застосування агентних систем забезпечило реалізацію цифрових компетентностей, визначених у DigComp 3.0, зокрема в аспекті керування алгоритмічними системами. Замість репродуктивного опрацювання інформації, здобувачі продемонстрували здатність до активної верифікації результатів генерації. Це підтвердило тезу, що перехід до спеціалізованих систем на базі RAG потребує від педагога нових компетентностей у галузі управління даними та архітектурою знань. Автоматизація

структурування контенту дозволяє майбутньому вчителю інформатики зосередитися на методичному аналізі: оцінюванні релевантності відповідей та їхньому дидактичному опрацюванні.

По-третє, оптимізовано етап науково-методичного пошуку. Завдяки здатності системи проводити нелінійний аналіз джерел, було підтверджено ефективність моделі, де майбутній вчитель інформатики виступає проєктувальником інтелектуального середовища. Вміння налаштовувати агентні системи та керувати локальними базами знань стає важливим інструментом підтримки актуальності навчання в динамічній ІТ-галузі.

Водночас впровадження таких інструментів потребує уваги до ризику «когнітивної залежності». Пріоритетним вектором вбачається розбудова локальних екосистем на базі університетських репозиторіїв, зокрема ТНПУ імені Володимира Гнатюка, що дозволить поєднати технологічні переваги ШІ з дотриманням стандартів фахової точності.

Висновки. У ході дослідження обґрунтовано перехід від використання універсальних діалогових моделей до впровадження спеціалізованих агентних рішень, адаптованих до конкретних дидактичних завдань. Ефективність такої моделі підтверджено шляхом апробації методики навчання майбутніх учителів інформатики на основі мультимодальних систем та архітектури RAG. Це дозволило організувати роботу студентів із верифікованим корпусом джерел (професійними стандартами, методичними рекомендаціями), забезпечивши одночасну обробку тексту, програмного коду та візуальних об'єктів у єдиному робочому середовищі.

Емпірична перевірка результатів діяльності студентів засвідчила, що використання спеціалізованих баз знань мінімізує ризики фактичних помилок ШІ, що є критичним для розробки достовірних навчальних матеріалів. Встановлено, що делегування алгоритмам операцій із структурування даних дозволяє переорієнтувати ресурс майбутнього вчителя на методичну експертизу та адаптацію контенту до конкретних навчальних ситуацій.

Доведено, що впровадження таких інструментів сприяє переходу здобувача від репродуктивного використання технологій до свідомого методичного проєктування. Це забезпечує відповідність професійної підготовки вимогам оновленої європейської рамки DigComp 3.0 у частині критичного керування алгоритмічними системами та системної інтеграції ШІ-компетентностей. Використання спеціалізованих мультимодальних агентів дозволяє оперативно актуалізувати навчальний контент, що є принциповим для динамічної ІТ-галузі.

Перспективи подальших розвідок полягають у розробці діагностичного інструментарію для оцінювання цифрових компетентностей студентів в умовах взаємодії з автономними ШІ-агентами. Потребує додаткового вивчення ризик виникнення «когнітивної залежності» та її вплив на самостійність прийняття методичних рішень майбутніми педагогами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Генсерук Г. Р., Громяк М. І. Використання штучного інтелекту в освіті. *Підготовка майбутніх учителів фізики, хімії, біології та природничих наук в контексті вимог Нової української школи* : матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. (Тернопіль, 23–24 травня 2024 р.). Тернопіль: ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2024. С. 256–258.
2. Каліндруз Б. М., Кібаленко В. В. Цифрова компетентність викладача в епоху генеративного штучного інтелекту. *Цифрова трансформація в освіті: виклики та перспективи* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 15–16 квітня 2025 р.) / уклад. І. А. Твердохліб, Є. В. Малюх. Київ: Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, 2025. С. 12–15.
3. Морзе Н. В., Бойко М. А., Струтинська О. В., Смирнова-Трибульська Є. М. Якою має бути цифрова компетентність вчителів у галузі використання штучного інтелекту? *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2024. Вип. 16. С. 76–91. <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2024.166>.
4. Олексюк В. П., Спірін О. М., Іванова С. М., Мінтій І. С., Вакалюк Т. А., Кільченко А. В. Огляд досвіду використання штучного інтелекту для розвитку цифрової компетентності науково-педагогічних працівників. *Journal of Information Technologies in Education (ITE)*. 2025. Вип. 2(58). 146–158. <https://doi.org/10.14308/ite000806>.
5. Помиткіна Л., Помиткін Е., Кокарева А. Взаємодія людини з системами штучного інтелекту під впливом стресу: довіра, помилки та когнітивні механізми рішень. *Вісник Національного авіаційного університету. Серія: Педагогіка, Психологія*. 2025. 2(27). С. 81–88. <https://doi.org/10.18372/2411-264X.27.20726>.
6. Binns R. Binns R. On the apparent conflict between individual and group fairness. *Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*. 2020. P. 514–524. <https://doi.org/10.1145/3351095.3372864>.

7. Cosgrove, J., & Cachia, R. *DigComp 3.0: European Digital Competence Framework* / European Commission, Joint Research Centre. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2025. ISBN 978-92-68-32677-0. DOI: 10.2760/0001149.
8. Floridi L., Cowls J. A Unified Framework of Five Principles for AI in Society. *Machine Learning and the City: Applications in Architecture and Urban Design* / ed. by S. Carta. John Wiley & Sons Ltd, 2022. P. 535–545. <https://doi.org/10.1002/9781119815075.ch45>.
9. Gemini Team, Google. Gemini: A Family of Highly Capable Multimodal Models. *arXiv preprint arXiv:2312.11805*. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2312.11805>
10. Google Cloud. Grounding with Google Search and enterprise data. Google Cloud Documentation. 2024. URL: <https://cloud.google.com/ai/generative-ai/docs/grounding>.
11. Hughes S. Hallucination Leaderboard by Vectara. *Hugging Face Spaces*. 2023. URL: <https://huggingface.co/spaces/vectara/leaderboard>
12. Khan Academy. Khanmigo: Transforming the classroom with AI. *Annual Report 2023–2024*. 2024. URL: <https://2023-2024.annualreport.khanacademy.org/khanmigo>.
13. Microsoft Research. The New Future of Work Report 2023. 2023. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2023/12/NFWReport2023.pdf>
14. Mollick E. Co-Intelligence: Living and working with AI. New York: Portfolio/Penguin, 2024. 256 p.
15. Sweller J. Cognitive load theory and educational technology. *Educational Technology Research and Development*. 2020. Vol. 68 (1). P. 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09701-3>.

REFERENCES

1. Henseruk, H. R., & Hromiak, M. I. (2024). Vykorystannia shchuchnoho intelektu v osviti [Use of artificial intelligence in education]. In *Pidhotovka maibutnikh uchyteliv fizyky, khimii, biolohii ta pryrodnychkykh nauk v konteksti vymoh Novoi ukrainskoi shkoly: Proceedings of the VI International Scientific-Practical Conference* (pp. 256–258). Ternopil: Volodymyr Hnatiuk TNPU. [in Ukrainian]
2. Kalindruz, B. M., & Kibalenko, V. V. (2025). Tsyfrova kompetentnist vykladacha v epokhu heneratyvnoho shchuchnoho intelektu [Digital competence of a teacher in the era of generative artificial intelligence]. In I. A. Tverdokhlib & Ye. V. Maliukh (Eds.), *Tsyfrova transformatsiia v osviti: vykyky ta perspektyvy: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference* (pp. 12–15). Kyiv: Ukrainian State University named after Mykhailo Drahomanov. [in Ukrainian]
3. Morze, N. V., Boiko, M. A., Strutynska, O. V., & Smirnova-Trybulska, Yu. M. (2024). Yakoiu maie buty tsyfrova kompetentnist vchyteliv u haluzi vykorystannia shchuchnoho intelektu? [What should be the digital competence of teachers in the field of using artificial intelligence?]. *Open Educational E-Environment of Modern University*, 16, 76–91. <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2024.166> [in Ukrainian]
4. Oleksiuk, V. P., Spirin, O. M., Ivanova, S. M., Mintii, I. S., Vakaliuk, T. A., & Kilchenko, A. V. (2025). Ohliad dosvidu vykorystannia shchuchnoho intelektu dla rozvytku tsyfrovoi kompetentnosti naukovo-pedahohichnykh pratsivnykiv [Review of experience in using artificial intelligence for the development of digital competence of scientific and pedagogical workers]. *Journal of Information Technologies in Education (ITE)*, 2(58), 146–158. <https://doi.org/10.14308/ite000806> [in Ukrainian]
5. Pomytkina, L., Pomytkin, E., & Kokareva, A. (2025). Vzaiemodiia liudyny z systemamy shchuchnoho intelektu pid vplyvom stresu: dovira, pomylky ta kohnityvni mekhanizmy rishen [Human interaction with artificial intelligence systems under stress: trust, errors, and cognitive decision-making mechanisms]. *Proceedings of the National Aviation University. Series: Pedagogy, Psychology*, 2(27), 81–88. <https://doi.org/10.18372/2411-264X.27.20726> [in Ukrainian]
6. Binns R. On the apparent conflict between individual and group fairness. *Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*. 2020. P. 514–524. <https://doi.org/10.1145/3351095.3372864> [in English]
7. Cosgrove, J., & Cachia, R. *DigComp 3.0: European Digital Competence Framework* / European Commission, Joint Research Centre. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2025. ISBN 978-92-68-32677-0. DOI: 10.2760/0001149 [in English]
8. Floridi L., Cowls J. A Unified Framework of Five Principles for AI in Society. *Machine Learning and the City: Applications in Architecture and Urban Design* / ed. by S. Carta. John Wiley & Sons Ltd, 2022. P. 535–545. <https://doi.org/10.1002/9781119815075.ch45> [in English]
9. Google Cloud. Grounding with Google Search and enterprise data. Google Cloud Documentation. 2024. URL: <https://cloud.google.com/ai/generative-ai/docs/grounding> [in English]
10. Google Research. (2024). PaLM-E: A Multimodal Embodied AI System. Retrieved from <https://ai.google/research/pubs/archive/56713.pdf> [in English]
11. Hughes, S. (2023). Hallucination Leaderboard by Vectara. *Hugging Face Spaces*. 2023. Retrieved from <https://huggingface.co/spaces/vectara/leaderboard> [in English]

12. Khan Academy. (2024). Khanmigo: Transforming the classroom with AI. *Annual Report 2023–2024*. Retrieved from: <https://2023-2024.annualreport.khanacademy.org/khanmigo> [in English]
13. Microsoft Research. (2023). The New Future of Work Report 2023. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2023/12/NFWReport2023.pdf> [in English]
14. Mollick, E. (2024). *Co-Intelligence: Living and working with AI*. New York: Portfolio/Penguin. 256 p. [in English]
15. Sweller, J. (2020). Cognitive load theory and educational technology. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09701-3> [in English]



Стаття поширюється
на умовах ліцензії
відкритого доступу (CC BY 4.0)

Дата першого надходження статті до видання: 18.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 06.04.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026