



ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА НАВЧАННЯ

УДК 378.147:004.8

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.20568937>

Дата-центричний підхід до вивчення штучного інтелекту в STEAM-освіті

Балик Анатолій Володимирович

аспірант кафедри інформатики та методики її навчання Тернопільського
національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка,
м. Тернопіль, Україна,
<https://orcid.org/0009-0005-5031-6059>

Прийнято: 15.04.2026 | Опубліковано: 30.04.2026

***Анотація:** Стрімке поширення генеративного штучного інтелекту (GenAI) актуалізує необхідність системної інтеграції оновлених рамок цифрової компетентності, зокрема DigComp 3.0, у підготовку майбутніх учителів інформатики. Водночас аналіз сучасних досліджень засвідчує домінування моделі-центричного підходу, орієнтованого на використання готових інструментів, що обмежує формування глибокого розуміння ролі даних у функціонуванні систем штучного інтелекту.*

Метою статті є проєктування, пілотна апробація та оцінка ефективності дата-центричної екосистемної моделі навчання, спрямованої на формування професійної стійкості майбутніх учителів у контексті STEAM-освіти.

Дослідження виконано в межах методології Design-Based Research із застосуванням одногрупного квазіекспериментального дизайну (pretest–posttest). У пілотному впровадженні авторського курсу взяли участь 34 здобувачі магістерського рівня спеціальності «Середня освіта (Інформатика)». Збір



емпіричних даних здійснювався за допомогою шкали Лайкерта та експертного оцінювання навчальних проєктів. Для перевірки статистичної значущості змін застосовано *t*-критерій Стьюдента для залежних вибірок.

Отримані результати засвідчили статистично значущу позитивну динаміку ($p < 0.001$) за всіма компонентами моделі. Найбільші прирости зафіксовано у розвитку навичок взаємодії з інструментами штучного інтелекту ($\Delta = 2.4$) та програмування на основі намірів ($\Delta = 3.0$), що свідчить про перехід від інструментального до більш усвідомленого використання ІІІ. Водночас менш виражена динаміка у світоглядному компоненті ($\Delta = 1.3$) вказує на складність формування етичних і ціннісних аспектів підготовки.

Наукова новизна полягає у концептуалізації дата-центричного підходу як основи підготовки майбутніх учителів інформатики та розробці екосистемної моделі навчання, узгодженої з дескрипторами DigComp 3.0. Практична цінність дослідження полягає у створенні масштабованого навчального курсу та методичних рішень для інтеграції штучного інтелекту в педагогічну освіту.

Ключові слова: підготовка вчителів інформатики; DigComp 3.0; дата-центричний підхід; Design-Based Research; штучний інтелект в освіті; STEAM-освіта; ІІІ-грамотність.

Data-Centric Approach to Studying Artificial Intelligence in STEAM Education

Balyk Anatolii Volodymyrovych

PhD student at the Department of Informatics and Methods of Teaching, Ternopil

Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ternopil, Ukraine,

<https://orcid.org/0009-0005-5031-6059>

Abstract: *The rapid proliferation of generative artificial intelligence (GenAI) in educational practice necessitates the systematic integration of updated digital*



competence frameworks, particularly DigComp 3.0, into the training of future computer science teachers. However, a review of current research reveals the predominance of a model-centric paradigm focused on the use of ready-made AI tools, which limits the development of a deeper understanding of the role of data in AI systems and reduces attention to data quality, bias, and ethical evaluation.

The aim of this study is to design, pilot, and evaluate the effectiveness of a data-centric ecosystem-based learning model aimed at fostering the professional resilience of future teachers within the context of STEAM education.

The study was conducted within the Design-Based Research (DBR) methodology using a one-group quasi-experimental pretest–posttest design. The pilot implementation involved 34 master’s students majoring in Secondary Education (Computer Science). Data were collected using a Likert-scale self-assessment instrument and expert evaluation of student-designed educational projects. Statistical significance of changes was assessed using a paired-samples t-test, allowing objective measurement of learning gains.

The results demonstrated statistically significant positive dynamics ($p < 0.001$) across all components of the model. The highest gains were observed in skills related to interaction with AI tools ($\Delta = 2.4$) and intent-based programming ($\Delta = 3.0$), indicating a shift from instrumental use toward more reflective and data-aware engagement with AI technologies. At the same time, lower growth in the ethical component ($\Delta = 1.3$) highlights the complexity of developing value-oriented competencies and confirms the presence of an “ethical lag” in teacher training.

The scientific novelty lies in conceptualizing a data-centric approach to AI education and developing an ecosystem-based model aligned with DigComp 3.0 descriptors. The practical significance of the study is reflected in the development of a scalable course and methodological solutions for integrating AI into teacher education.



Keywords: *computer science teacher education; DigComp 3.0; data-centric approach; Design-Based Research; artificial intelligence in education; STEAM education; generative AI; AI literacy.*

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток генеративних технологій штучного інтелекту актуалізує потребу перегляду підходів до підготовки майбутніх учителів інформатики, зокрема в частині формування ШІ-орієнтованих професійних компетентностей. У відповідь на ці виклики на міжнародному рівні активно розробляються рамки цифрових і професійних компетентностей, серед яких DigComp 3 посідає провідне місце як орієнтир для інтеграції штучного інтелекту в освітню практику. Водночас більшість таких рамок мають переважно нормативний і концептуальний характер, що ускладнює їх безпосереднє впровадження у зміст і дизайн програм педагогічної освіти, особливо в контексті підготовки вчителів інформатики.

Наявні дослідження у галузі ШІ-освіти зосереджуються переважно на окремих інструментах, технологіях або моделях компетентностей, залишаючи поза увагою питання їх системної інтеграції в освітні програми. Зокрема, обмежено представлено емпіричні роботи, що демонструють, яким чином ШІ-орієнтовані дескриптори компетентностей можуть бути трансформовані в цілісні моделі освітніх програм, узгоджені з педагогічними, технологічними та етичними вимірами підготовки вчителя. Це формує проєктно-дизайнерську прогалину між високорівневими рамками компетентностей і практиками їх реалізації в умовах університетської підготовки майбутніх фахівців з інформатики.

З огляду на зазначене, у статті пропонується екосистемний підхід до інтеграції штучного інтелекту в підготовку майбутніх учителів інформатики, реалізований у формі пілотного навчального курсу, узгодженого з рамкою DigComp 3. Вибір саме цієї цільової аудиторії є стратегічним: у контексті



сучасної школи вчителі інформатики традиційно виступають головними інтеграторами технологічних інновацій та драйверами розвитку міждисциплінарної STEAM-освіти. Тому пілотування дата-центричної екосистеми на цій вибірці дозволяє не лише розв'язати проблему їхньої фахової підготовки, а й закласти надійне методологічне підґрунтя для подальшого масштабування цього досвіду на підготовку вчителів усіх STEAM-дисциплін. Дослідження ґрунтується на методології Design-Based Research і спрямоване на емпіричну перевірку дієвості педагогічного дизайну в реальному освітньому контексті. Метою статті є проектування, пілотна апробація та аналітичне осмислення екосистемно орієнтованої моделі курсу як одного з можливих шляхів операціоналізації III-орієнтованих компетентностей у підготовці майбутніх учителів інформатики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стрімка дифузія генеративного штучного інтелекту (GenAI) в освітні практики спричинила експоненційне зростання наукового інтересу до трансформації цифрової компетентності вчителя. Сучасна наукова думка еволюціонує від техноцентричних підходів до системних, екосистемних моделей, де інтеграція технологій, педагогіки та етики розглядається як цілісний процес. Аналіз джерельної бази за останні п'ять років дозволяє виокремити ключові вектори досліджень, які формують теоретичний фундамент цієї роботи.

Фундаментальні дослідження підкреслюють, що III-грамотність (AI Literacy) не є тотожною загальній цифровій грамотності. Автори дослідження [1] визначають III-грамотність як багатовимірний конструкт, що включає знання концепцій III, навички їх застосування та етичні принципи. Як виявили у своєму огляді Х. Тан (X. Tan) та колеги [2], попри поширення інструментів, існує критичний розрив: вчителі часто оволодівають інструментальними навичками, але відчувають дефіцит концептуального розуміння («чорна скринька»).



Т. Назарецький та ін. [3] підтвердили, що без належної підготовки педагоги схильні до надмірної довіри та некритичного сприйняття рішень ШІ.

Нормативною базою для європейського простору тривалий час слугували рамки DigCompEdu [4] та DigComp 2.2 [5], які, як зауважують А. Феррарі (A. Ferrari) та ін. [6], не враховували специфіку генеративних моделей. Вихід DigComp 3 (2025) [7] та глобальної рамки UNESCO [8] став відповіддю на ці виклики, актуалізувавши людиноцентричний підхід та управління даними. Ці напрями модернізації відображені й у працях українських науковців (В. П. Олексюк, О. М. Спірін [9]; Л. Л. Нежива, С. О. Семеріков [10]), які досліджують прикладні аспекти генеративного ШІ для стійкого освітнього розвитку. Водночас В. Холмс та М. Біалік (W. Holmes & M. Bialik) [11], а також М. Бонд (M. Bond) і співавтори [12] аргументують, що ізольоване використання інструментів не дає ефекту без розбудови комплексної «цифрової освітньої екосистеми» [13].

Саме екосистемний підхід стає критично важливим для інтеграції міждисциплінарних STEAM-проектів, де штучний інтелект виступає не лише інструментом обчислень, а й засобом дослідження складних взаємозв'язків між наукою, технологіями та мистецтвом. У цьому контексті активно переосмислюється класична методична модель TRACK. Концепції Intelligent-TRACK (І. Челік (I. Celik) [14]) та AI-TRACK (П. Мішра (P. Mishra) [15], Й. Тондер (J. Tondeur) [16]) вказують на пріоритетність контекстуальних знань при використанні ШІ [17]. Паралельно зростає увага до етичних та екологічних аспектів: Л. Флоріді (L. Floridi) [18] та Р. Шварц (R. Schwartz) [19] актуалізують концепцію «зеленого» ШІ (Green AI), а М. Бірман (M. Bearman) [20] та Т. Траст (T. Trust) [21] наголошують на важливості когнітивного суверенітету, подолання алгоритмічної непрозорості та розвитку оцінювального судження. Для наочності результати систематизації літератури щодо розвитку ШІ-грамотності та методичних підходів подано у порівняльних таблицях (Таблиця 1, Таблиця 2).

Таблиця 1.

Порівняльний аналіз основних підходів до розвитку ІІІ-компетентності у майбутніх учителів інформатики

Підхід / модель	Концептуальний фокус	Сильні сторони	Обмеження	Відповідність DigComp 3
Цифрова компетентність (DigCompEdu, DigComp 2.2) [4–5]	Загальні цифрові компетентності педагогів	Стандартизована структура, валідовані дескриптори, широке впровадження	Обмежена увага до ІІІ та генеративних моделей	Часткова
ІІІ-грамотність (AI literacy) [1–3]	Концептуальне розуміння ІІІ, алгоритмічні принципи, етичні аспекти	Формує базове розуміння ІІІ, включає етичний компонент	Недостатня інтеграція у педагогічні практики	Висока
DigComp 3.0 [7]	Інтеграція ІІІ, взаємодія з інтелектуальними агентами, цифрове благополуччя	Оновлена модель з урахуванням ІІІ, системність і міждисциплінарність	Обмежена апробація (новий стандарт)	Висока
AI-TRACK [14–15]	Інтеграція технологій ІІІ, педагогіки та змісту навчання	Орієнтація на практичне застосування ІІІ в навчанні, підтримка персоналізації	Відсутність уніфікованих індикаторів оцінювання	Висока
Системно-орієнтований (екосистемний) підхід до цифрової освіти [10–13]	Інтеграція технологій, педагогіки, політик та інституційного середовища	Комплексне бачення цифрової трансформації освіти, врахування контексту	Висока складність реалізації, ресурсозалежність	Висока

Джерело: власна розробка автора

Примітка. Екосистемний підхід узагальнено на основі досліджень цифрової трансформації освіти та інтеграції ІІІ [10–13].

Таблиця 2.

Основні технологічні та етичні тренди у підготовці майбутніх учителів до роботи з ШІ

Тренд	Опис	Значення для формування компетентностей	Джерела
Використання генеративного ШІ в освіті	Застосування моделей типу ChatGPT для підтримки навчання, оцінювання та створення контенту	Розвиток навичок взаємодії з ШІ, критичного оцінювання результатів	[17], [21]
Етичне використання ШІ	Дотримання принципів прозорості, відповідальності та захисту даних	Формування етичних і правових компетентностей	[6], [18]
Зелений ШІ (Green AI)	Оптимізація використання ресурсів і зменшення енергоспоживання моделей	Розвиток екологічної свідомості та відповідального використання технологій	[19]
Педагогіка роботи з «чорним ящиком» ШІ	Осмислення непрозорості моделей та навчання ефективної взаємодії з ними	Розвиток критичного мислення та метакогнітивних навичок	[20]
ШІ-грамотність як базова компетентність	Знання принципів роботи ШІ, обмежень і можливостей	Основа для інтеграції ШІ у професійну діяльність	[1–3]
Інтеграція ШІ у педагогічні моделі (AI-TRACK)	Використання ШІ в контексті педагогіки та змісту навчання	Розвиток здатності створювати інноваційні освітні рішення	[14–15]

Джерело: власна розробка автора

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Проведений порівняльний аналіз підходів до формування ШІ-компетентності (див. Табл. 1) демонструє, що сучасні дослідження охоплюють широкий спектр концептуальних рамок — від цифрової компетентності та ШІ-грамотності до інтегративних моделей на кшталт AI-TRACK і DigComp 3.0. Водночас ці підходи переважно зосереджені на інтеграції технологій у педагогічну практику та розвитку відповідних професійних умінь.

Аналіз технологічних і етичних трендів (див. Табл. 2) додатково підтверджує цю тенденцію: актуальні напрями досліджень акцентують увагу на використанні генеративного штучного інтелекту, етичних аспектах його застосування, а також розвитку критичного мислення при взаємодії з непрозорими («black-box») моделями.

Попри це, обидва аналітичні зрізи виявляють спільну методологічну обмеженість — домінування моделі-центричної (model-centric) парадигми, у межах якої штучний інтелект розглядається переважно як готовий інструмент або сервіс. Такий підхід фокусує увагу на ефективному використанні моделей, але майже не охоплює процеси формування, відбору та критичного аналізу даних, на яких ці моделі базуються.

У результаті поза належною увагою залишаються ключові аспекти дата-центричного підходу, зокрема:

- якість і репрезентативність навчальних даних,
- вплив інформаційного шуму та упереджень (data noise and bias) на результати роботи ШІ,
- методи етичної оцінки та валідації даних у освітньому процесі.

Ця прогалина є особливо критичною в контексті STEAM-освіти, де робота з даними становить основу наукового пізнання. Відсутність методично обґрунтованих підходів до інтеграції дата-центричного мислення у підготовку майбутніх учителів ускладнює формування їхньої цифрової стійкості, здатності до критичного аналізу та відповідального використання штучного інтелекту.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

З огляду на виявлену невідповідність між сучасними підходами до використання ШІ (табл. 1), актуальними технологічними трендами (табл. 2) та недостатньою увагою до дата-центричного виміру, метою статті є теоретичне обґрунтування, проєктування та пілотна апробація дата-центричного підходу до вивчення штучного інтелекту в STEAM-освіті.



Для досягнення поставленої мети визначено такі дослідницькі завдання:

- Концептуалізувати авторську екосистемну модель навчання, що зміщує фокус із використання готових ШІ-інструментів на критичну роботу з даними як основою функціонування штучного інтелекту.
- Розробити та здійснити пілотне впровадження навчального курсу для майбутніх учителів інформатики із застосуванням методології Design-Based Research (DBR), що забезпечує ітеративне вдосконалення освітнього рішення в реальному навчальному середовищі.
- Емпірично оцінити ефективність запропонованого підходу щодо формування професійної стійкості, а також етико-технологічних і дата-центричних компетентностей здобувачів освіти.

Наукова новизна дослідження полягає у такому:

1. Концептуальний рівень (ключова новизна)

Обґрунтовано та концептуалізовано зміщення акценту від моделі-центричної до дата-центричної парадигми у підготовці майбутніх учителів інформатики, що передбачає перехід від переважного використання готових інструментів штучного інтелекту до системної роботи з даними як основою функціонування ШІ.

На відміну від існуючих підходів, запропонований підхід акцентує:

- критичний аналіз якості та репрезентативності даних,
- виявлення та мінімізацію впливу шуму й упереджень (data noise and bias),
- етичну оцінку даних як окремий компонент професійної підготовки педагога.

2. Методичний рівень

Набула подальшого розвитку методика імплементації дескрипторів європейської рамки DigComp 3.0 у практику підготовки майбутніх учителів інформатики шляхом розробки цілісної екосистемної моделі навчання.



Запропонована модель інтегрує:

- технологічний компонент (використання інструментів ІІІ),
- педагогічний компонент (АІ-ТРАСК),
- світоглядно-етичний компонент (відповідальне використання ІІІ, принципи сталого розвитку, цифрова гігієна), що забезпечує комплексний розвиток професійних компетентностей у контексті STEAM-освіти.

3. Емпіричний рівень

Виявлено та описано дисбаланс у формуванні компонентів ІІІ-компетентності майбутніх учителів, що проявляється у швидшому розвитку інструментально-технологічних навичок порівняно з етичними та світоглядними аспектами професійної підготовки.

Цей ефект інтерпретовано як «етичний лаг» у підготовці педагогічних кадрів, що вказує на необхідність цілеспрямованої інтеграції етичного та дата-центричного компонентів у зміст навчання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як відповідь на виявлену в процесі аналізу літератури проєктно-дизайнерську прогалину, нами розроблено концепцію освітньої екосистеми, що спирається на дата-центричний підхід до вивчення штучного інтелекту в STEAM-освіті. Відхід від традиційної моделі-центричної парадигми дозволяє розглядати ІІІ не як «чорну скриньку» для генерації відповідей, а як інструмент для глибокої аналітики, візуалізації та управління масивами даних, що є критично важливим для наукового методу в STEAM-дисциплінах.

Концептуалізація екосистемної моделі та робочі гіпотези

Теоретичним підґрунтям нашого дослідження стала інтегрована ІІІ-екосистема (Рис. 1), що пропонує перехід від лінійного вивчення інструментів до цілісного розвитку професійних компетентностей.

Рисунок 1

Екосистемна модель розвитку компетентностей вчителя засобами ШІ



Джерело: власна розробка автора

Запропонована модель інтегрує п'ять стратегічних векторів: ШІ-грамотність та європейську рамку DigComp 3 як нормативний фундамент, AI-ТРАСК як методичне ядро, загальний екосистемний підхід як середовище підтримки, а також актуальні технологічні та етичні тренди (зокрема, «зелений» ШІ та цифрову гігієну). Рисунок ілюструє, що сучасна підготовка вимагає органічного поєднання технологічних навичок і етики. У контексті STEAM-освіти нормативний орієнтир DigComp 3 фокусується передусім на управлінні даними та критичному ставленні до інформаційного шуму (так званого «нейросміття»). На основі розробленої моделі було сформульовано дві робочі гіпотези:

Впровадження дата-центричної екосистемної моделі забезпечить статистично значущий перехід студентів від пасивного використання інструментів (техноцентризм) до суб'єктної взаємодії, що виражається у



здатності до «програмування на основі намірів» (intent-based coding) та оркестрації мультиагентних систем.

Формування етичних компетентностей, зокрема навичок «когнітивної гігієни» для виявлення алгоритмічної упередженості в наборах даних, супроводжуватиметься нижчою динамікою розвитку порівняно з технічними навичками, утворюючи так званий «етичний лаг».

Методологія та інструментарій дослідження. Для емпіричної перевірки гіпотез дослідження виконано в межах методології Design-Based Research (DBR) з використанням квазіекспериментального одногрупного дизайну pretest–posttest. Як фундаментальна парадигма, DBR орієнтована на поєднання освітньої теорії та практики шляхом ітеративного проєктування та вдосконалення навчальних рішень в автентичних освітніх середовищах [22]. Переваги методології: DBR дозволяє одночасно враховувати педагогічні процеси та контекстуальні обмеження реального навчального середовища [23], що робить її ідеальною для аналізу технологічно насичених ШІ-екосистем та поступового вдосконалення складних цифрових рішень [24]. Обмеження дослідження: одногрупний дизайн без контрольної групи обмежує можливості жорсткого встановлення причинно-наслідкових зв'язків. Крім того, мала вибірка унеможливорює масову статистику.

Для мінімізації впливу зазначених обмежень у дослідженні було застосовано стратегію тріангуляції даних: поєднання суб'єктивного самооцінювання за п'ятибальною шкалою Лайкерта та об'єктивного експертного аналізу розроблених студентами навчальних проєктів. У пілотному впровадженні спецкурсу, побудованого за модульним принципом (інструментальний, методичний та світоглядний блоки), взяли участь 34 здобувачі магістерського рівня спеціальності «Середня освіта (Інформатика)». Аналіз отриманих результатів здійснювався шляхом обчислення різниці (Δ) між показниками вхідного (pretest) та підсумкового (posttest) вимірювань, а для

перевірки статистичної значущості було використано t-критерій Стюдента для залежних вибірок.

Аналіз результатів та підтвердження гіпотез

Ключовим етапом дослідження стала кількісна та якісна оцінка впливу розробленої методичної системи на формування професійної стійкості та цифрової компетентності майбутніх учителів. Зведені емпіричні дані, що демонструють динаміку змін за кожним компонентом екосистемної моделі, представлено в Таблиці 3.

Варто зауважити, що оцінювання етичного компонента («Когнітивна гігієна та етика») здійснювалося виключно на основі рефлексивного самооцінювання через складність прямої об'єктивізації ціннісних орієнтацій в межах аналізу технічних проєктів. Натомість інструментальні та методичні навички (оркестрація моделей, створення агентів, програмування) пройшли подвійну верифікацію шляхом зіставлення результатів тестування та експертного оцінювання розроблених студентами продуктів.

Таблиця 3.

Динаміка сформованості ІІІ-компетентностей у межах дата-центричного підходу (N = 34)

Компетентнісний блок (компонент моделі)	Середній бал (Pretest), Mpre	Середній бал (Posttest), Mpost	Динаміка, Δ	Експертна оцінка (макс. 5)	t-емпіричне*	p-value
Оркестрація моделей (Тренди)	1.8	4.2	+2.4	4.0	14.3	< 0.001
Програмування на основі намірів (ІІІ-грамотність / Тренди)	1.5	4.5	+3.0	4.3	18.1	< 0.001
Створення педагогічних агентів (AI-ТРАСК)	1.2	3.9	+2.7	3.8	15.6	< 0.001



Критичне оцінювання (ШІ-грамотність)	2.9	4.1	+1.2	3.9	6.8	< 0.001
Когнітивна гігієна та етика (Етика / Екосистема)	2.1	3.4	+1.3	—	5.2	< 0.001

*Примітка: Критичне значення t-критерію для $df = 33$ при $p < 0.001$ становить 3.64.

Джерело: власна розробка автора

Отримані результати дозволяють повністю підтвердити першу робочу гіпотезу. Найвищий приріст зафіксовано у навичках «програмування на основі намірів» ($\Delta = 3.0$) та «оркестрації ШІ-інструментів» ($\Delta = 2.4$). Враховуючи вкрай низькі вхідні показники (1.5 та 1.8 відповідно), такий стрибок є свідченням ефективності дата-центричного фокусу інструментального модуля. Студенти, працюючи з даними у STEAM-проектах, успішно подолали бар'єр «чорної скриньки» і навчилися вибудовувати ланцюжки взаємодії спеціалізованих агентів, перейшовши від пасивного споживання до агентної, суб'єктної взаємодії з технологіями.

Водночас емпіричні дані підтверджують і другу гіпотезу дослідження. Згідно з результатами, найменшу динаміку росту виявлено у блоці «Когнітивна гігієна та етика» ($\Delta = 1.3$), де фінальний бал склав 3.4 з 5. Цей феномен емпірично підтверджує складність формування ціннісних та етичних компетентностей порівняно з технічними навичками, фіксуючи наявність «етичного лагу». В контексті STEAM-освіти це означає, що навчити здобувача вищої освіти генерувати код чи інтегрувати фізичну формулу за допомогою ШІ значно простіше, ніж навчити його виявляти маніпуляції у навчальних вибірках (нейросміття) та критично оцінювати енергоємність обчислень (зелений ШІ). Ретроспективний аналіз довів узгодженість змісту курсу з дескрипторами DigComp 3, проте саме ці дані актуалізують необхідність значно глибшої інтеграції принципів цифрової гігієни в усі види навчальної діяльності, а не лише в межах окремого світоглядного модуля.



Висока узгодженість між результатами самооцінювання та незалежною експертною оцінкою проєктів (відхилення не перевищує 0.2 бала) беззаперечно свідчить про валідність обраного інструментарію та підтверджує практичну цінність розробленої екосистеми для підготовки фахівців цифрової ери.

Висновки. У дослідженні здійснено теоретичне обґрунтування та пілотну апробацію дата-центричного підходу до вивчення штучного інтелекту в підготовці майбутніх учителів інформатики. Запропонована екосистемна модель навчання, узгоджена з рамкою DigComp 3.0, забезпечує інтеграцію технологічного, педагогічного та етичного компонентів професійної підготовки.

Застосування методології Design-Based Research дозволило здійснити ітеративну перевірку ефективності навчального дизайну в реальному освітньому середовищі. Результати пілотного впровадження засвідчили позитивну динаміку формування ключових компетентностей, зокрема у сфері взаємодії з інструментами штучного інтелекту, програмування на основі намірів та роботи з даними.

Водночас виявлений дисбаланс між швидкістю розвитку інструментальних та етичних компонентів (так званий «етичний лаг») підтверджує необхідність цілеспрямованого посилення світоглядного складника підготовки майбутніх педагогів.

Ретроспективний аналіз показав узгодженість змісту курсу з дескрипторами DigComp 3.0, що свідчить про ефективність підходу випереджувального навчального дизайну в умовах швидких технологічних змін. Водночас встановлено потребу в глибшій інтеграції принципів сталого використання технологій (зокрема Green AI) у структуру підготовки.

Обмеження дослідження пов'язані з пілотним характером вибірки та відсутністю контрольної групи, що визначає перспективи подальших досліджень, зокрема використання порівняльних експериментальних дизайнів і довгострокового моніторингу сформованих компетентностей.

Список використаних джерел

1. Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Chu, K. W. S., & Qiao, M. S. Conceptualizing AI literacy: An exploratory review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2021, 2, Art. no. 100041. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100041>.
2. Tan, X., Cheng, G., & Ling, M. H. Artificial intelligence in teaching and teacher professional development: A systematic review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2025, 8, Art. no. 100355. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100355>.
3. Nazaretsky, T., Ariely, M., Cukurova, M., & Alexandron, G., Teachers' trust in AI-powered educational technology and a professional development program to improve it, *British Journal of Educational Technology*, 2022, 53(4), 914–931. DOI: <https://doi.org/10.1111/bjet.13232>.
4. Redecker, C. *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*. Luxembourg: Publ. Office Eur. Union, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2760/159770>.
5. Vuorikari, R., Kluzer, S., & Punie, Y. *DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens*. Luxembourg: Publ. Office Eur. Union, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2760/115376>.
6. *European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture, Ethical guidelines on the use of artificial intelligence (AI) and data in teaching and learning for educators*. Luxembourg: Publ. Office Eur. Union, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2766/153756>.
7. Cosgrove, J., & Cachia, R. *DigComp 3.0: European Digital Competence Framework – Fifth Edition*. Luxembourg: Publ. Office Eur. Union, 2025. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC144121>. DOI: 10.2760/0001149.



8. UNESCO. *AI Competency Framework for Teachers*. Paris: UNESCO, 2024. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391104>
9. 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, *Інформаційні технології в освіті*, 2025, 58, 148–158. DOI: <https://doi.org/10.14308/ite000806>.
10. Nezhyva, L. L., Palamar, S. P., Semenii, N. O., & Semerikov, S. O. AI tools for sustainable primary teacher education: Literary-artistic content generation, in *Proceedings of the 7th International Workshop on Augmented Reality in Education*. (AREdu), Kryvyi Rih, Ukraine, 2024, 134–148. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3918/paper304.pdf>.
11. Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. *Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning*. Boston, MA: Center for Curriculum Redesign, 2019, 228 p.
12. Bond, M. et al. A meta systematic review of artificial intelligence in higher education: a call for increased ethics, collaboration, and rigour. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 2024, 21, Art. no. 4. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00436-x>.
13. OECD. *OECD Digital Education Outlook 2023: Towards an Effective Digital Education Ecosystem*. Paris: OECD Publishing, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1787/c74f03de-en>.
14. Celik, I. Towards Intelligent-TPACK: An empirical study on teachers' professional knowledge to ethically integrate artificial intelligence (AI)-based tools into education. *Computers in Human Behavior*, 2023, 138, Art. no. 107496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107496>.



15. Mishra, P., Warr, M., & Islam, R. TPACK in the age of ChatGPT and Generative AI. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 2023, 39(4), 235–251. DOI: <https://doi.org/10.1080/21532974.2023.2247480>.
16. Tondeur, J., Scherer, R., Baran, E., Siddiq, F., Valtonen, T., & Sointu, E. Teacher educators as gatekeepers: Preparing the next generation of teachers for technology integration in education. *British Journal of Educational Technology*, 2019, 50(3), 1189–1209. DOI: <https://doi.org/10.1111/bjet.12748>.
17. Kasneci, E. et al. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 2023, 103, Art. no. 102274. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>.
18. Floridi, L. *The Ethics of Artificial Intelligence: Principles, Challenges, and Opportunities*. Oxford, U.K.: Oxford University Press, 2023. 272 p. DOI: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198883098.001.0001>.
19. Schwartz, R., Dodge, J., Smith, N. A., & Etzioni, O. Green AI. *Communications of the ACM*, 2020, 63(12), 54–63. DOI: <https://doi.org/10.1145/3381831>.
20. Bearman, M., & Ajjawi, R. Learning to work with the black box: Pedagogy for a world with artificial intelligence. *British Journal of Educational Technology*, 2023, 54(5), 1160–1173. DOI: <https://doi.org/10.1111/bjet.13337>.
21. Trust, T., Whalen, J. P., & Mouza, C. Editorial: ChatGPT: Challenges, opportunities, and implications for teacher education. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 2023, 23(1), 1–23. URL: <https://citejournal.org/volume-23/issue-1-23/editorial/chatgpt-challenges-opportunities-and-implications-for-teacher-education/>
22. Design-Based Research Collective. Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 2003, 32(1), 5–8. DOI: <https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>.



23. Wang, F., & Hannafin, M. J. Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 2005, 53(4), 5–23. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02504682>.
24. McKenney, S. & Reeves, T. C. *Conducting Educational Design Research*. 2nd ed. London, U.K.: Routledge, 2019. 256 p.