

УДК 37.011.3-051:5]:004.8

Воротникова Грина Павлівнакандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри природничо-математичної освіти і технологій
Інститут післядипломної освіти, Київського університету імені Бориса Грінченка, Київ, Україна

i.vorotnykova@kubg.edu.ua

ORCID: 0000-0003-1211-8885

ПРОФЕСІЙНИЙ РОЗВИТОК ВЧИТЕЛІВ ПРИРОДНИЧОЇ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ ГАЛУЗЕЙ З ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Анотація. Зміст статті акцентує на важливості підготовки вчителів природничої й математичної галузей до використання штучного інтелекту в професійній діяльності та розвитку їх компетентностей з метою підготовки учнів до сучасних викликів та можливостей, що надає ця технологія. Аналіз науково-методичної літератури дозволив визначити переваги і недоліки використання штучного інтелекту в освітньому процесі закладів загальної середньої освіти та запропонувати напрями підвищення кваліфікації вчителів природничої та математичної галузей. Використання штучного інтелекту в природничій і математичній освіті має потенціал для покращення результатів навчальних досягнень учнів і надання більш персоналізованого досвіду навчання, але з врахуванням потенційних ризиків та обмеження штучного інтелекту в освіті, наприклад, таких як ризик надмірної залежності від технологій, безпеки даних. Аналіз результатів опитування педагогів підтверджує готовність вчителів природничої і математичної галузей до професійного розвитку, опанування програм підвищення кваліфікації з використанням ШІ. Необхідною умовою запровадження ШІ є узгодження моделі штучного інтелекту з баченням педагогів щодо навчання, зокрема можливостям досягти освітніх цілей, узгодження з передовими практиками в освіті. Визначення інструментів штучного інтелекту для природничої і математичної галузі загальної середньої освіти на основі запровадження теоретичних методів дослідження дозволило узагальнити напрями професійного розвитку вчителів математичної і природничої галузей з питань впровадження ШІ та сформувати змістові лінії освітньо-професійної програми підвищення кваліфікації вчителів. Дослідження розглядає важливість та напрями підготовки вчителів для використання штучного інтелекту в післядипломній освіті та висвітлює ідеї та підходи, які допоможуть ефективно впроваджувати ці технології в навчальний процес, сприяючи підвищенню якості освіти та підготовці молодого покоління до викликів майбутнього.

Ключові слова: штучний інтелект; підвищення кваліфікації вчителів; цифрові технології; післядипломна освіта; інструменти штучного інтелекту; STEM; цифрова трансформація

«Штучний інтелект вже змінює те, як ми навчаємося, працюємо, живемо та отримуємо освіту. Кожен має вміння сприяти розвитку штучного інтелекту та отримувати від нього користь. Розробляючи етичні принципи ролі ШІ в освіті, ми можемо відкрити шлях для систем та рішень, які слід розробляти та використовувати в етичних, надійних і справедливих умовах в інклюзивний спосіб» [1, С.12].

Штучний інтелект (ШІ) є технологічним досягненням, яке трансформує суспільство і глибоко впливає на різні аспекти життя, включаючи освіту. Оскільки ШІ продовжує змінювати різні галузі та сектори, для майбутніх професіоналів вкрай важливо володіти необхідними навичками, щоб адаптуватися у сучасному світі.

Акшай Венкатеш, лауреат медалі Філдса у 2018 році, математик з Інституту перспективних досліджень у Принстоні зазначив: «Я хочу, щоб мої студенти усвідомили, що сфера, в якій вони працюють, сильно зміниться. Я не проти вдумливого та навмисного використання технологій для підтримки нашого людського розуміння. Але я твердо переконаний, що усвідомлення того, як ми його використовуємо, є важливим» [2].

ШІ має потенціал змінити освіту, забезпечити персоналізований та адаптивний досвід навчання для учнів. Аналіз великих масивів даних може визначити індивідуальні навчальні потреби кожного учня (учениці) та відповідним чином адаптувати їх навчання.

Використовуючи інструменти та платформи на основі штучного інтелекту, вчителі можуть створювати привабливі та інтерактивні навчальні середовища, які відповідають унікальним вимогам і потребам кожного учня. Із зростанням інтересу до використання штучного інтелекту в освіті, особливо в природничих і математичних дисциплінах, виникає необхідність підготовки вчителів, які зможуть успішно впроваджувати його у навчальний процес.

Сучасні педагоги мають розуміти технології штучного інтелекту, інтегрувати у методики навчання та прогнозувати і враховувати їх переваги та недоліки для викладання та навчання. Програми підвищення кваліфікації вчителів мають забезпечити розвиток здатності курувати та оцінювати освітні ресурси на основі штучного інтелекту, розробляти навчальні дії на основі штучного інтелекту та надавати вказівки та підтримку учням, які працюють в навчальних середовищах, керованих ШІ. Професійний розвиток вчителів щодо ефективного використання ШІ в освіті, забезпечує зміну підходів до викладання не тільки сьогодні, але й на майбутнє.

В Україні, в умовах воєнного стану, неперервна післядипломна освіта вчителів природничих і математичних галузей забезпечує їх професійний розвиток, але має врахувати також і розвиток ШІ та інтеграції його інструментів у навчання та викладання.

Висвітлення сучасних тенденцій і викликів, пов'язаних із використанням штучного інтелекту в освітньому процесі, зокрема в природничих і математичних дисциплінах.

Дослідники наголошують на різних аспектах і можливостях використання штучного інтелекту, професійного розвитку вчителів в природничо-математичній, STEM освіті [9].

Європейська рамка цифрової компетентності громадян постійно оновлюється і вже враховує компетентності використання ШІ [3, С.77-82]. Н. Zhang та її колеги вважають, що для запровадження ШІ перш за все необхідно вивчити три основні сфери штучного інтелекту: технічні концепції та процеси, етичні та соціальні наслідки, а також можливості кар'єрного майбутнього в епоху штучного інтелекту для учнів [4].

Систематичний огляд 63 емпіричних досліджень AI-STEM з 2011 по 2021 рік, заснований на загальній теорії систем (GST) визначає, що дослідників насамперед цікавить як можна ШІ використати для:

- розробки інтелектуальних систем навчання, які можуть надати учням миттєвий зворотній зв'язок та персоналізоване керівництво (інтелектуальні системи навчання);
- аналізу даних учнів і прогнозування їхніх потреб у навчанні, дозволяючи вчителям адаптувати свої інструкції відповідно до цих потреб (профілювання та прогнозування);
- розробки адаптивних систем, які можуть регулювати рівень складності завдань на основі успішності учнів, забезпечуючи більш персоналізований досвід навчання (адаптивні системи та персоналізація) [5].

Акцентується увага науковців і на можливостях використання штучного інтелекту для розробки нових технологічних навчальних середовищ, які можуть забезпечити індивідуальний досвід навчання [6].

І. Мулінар для розуміння можливостей і проблем, пов'язаних із різними освітніми сценаріями використання ШІ акцентує на необхідності залучити зацікавлених дослідників, освітян, підприємців і політиків для розвитку концепції гібридного інтелекту, спрямувати дослідження на розробку інтелектуальних систем, які збільшують, а не замінюють людський інтелект, враховують думку вчителя і відповідно вимагають від нього належної підготовки. Дослідник стверджує, що «важко відокремити ШІ в освіті від людського пізнання, і цю систему потрібно розглядати, розвивати та досліджувати як гібридну систему людини та ШІ. Освіта має унікальний характер як сфера, в якій

співпраця людини та штучного інтелекту та бачення об'єднаної сили людського та штучного інтелекту є важливими» [7, С.643]. На його думку, більшість технологій навчання з ШІ поєднує кілька типів адаптивності систем і зосереджені на двонаправленому зв'язку між учнем і програмою без урахування ролі вчителя. Дослідником запропоновано шість рівнів моделі автоматизації використання ШІ в навчанні, які допомагають сформулювати розподіл контролю між людьми та ШІ в різних випадках його використання, що дозволяє поступово переходити від регулювання навчальних досягнень і плану навчання ШІ до саморегулювання самим учнем [8].

Штучний інтелект може допомогти в таких галузях, як комп'ютерне бачення чи глибоке навчання, зрозуміти та дослідити математичні концепції. У майбутньому вчителі математики зможуть мати загальні інструменти штучного інтелекту для покращення вивчення загальних і складних концепцій у своїй галузі [9], допомогти учням глибше розвинути концептуальне розуміння математики [10]. Огляд різних систем ШІ, які використовуються в сучасних цифрових інструментах математичної освіти представлено у [10, 11, 12,13].

Аналіз 20 досліджень вченими із США і Мексики щодо використання ШІ в математичній освіті, показав що наукові розвідки дослідників в більшості стосуються використання робототехніки, систем, інструментів та агентів навчання та комплексного підходу до їх використання. ШІ можна також використовувати для розробки автоматизованих систем, які можуть оцінювати завдання та надавати студентам зворотний зв'язок. Базове навчання математиці на основі ШІ адаптує та приділяє увагу розвитку особистості учнів за існуючих умов навчання [12]. Потенціалом для майбутніх досліджень і швидкого розвитку науково-обґрунтованої методики щодо викладання та вивчення математичних знань є використання робототехніки [12], синтезу великих обсягів даних і виявлення закономірностей [13].

Загальні рамки цифрових компетенцій DigComp 2.2 [11], DigCompEdu [14] (Європейська рамка цифрових компетенцій громадян і вчителів) та P21 (Американська рамка Partnership for 21st Century Learning) пропонують рекомендації для підтримки педагогів і дослідників у просуванні освіти ШІ в їхніх класах і академічних колах [15]. Відповідно до сучасних викликів і підходів, педагоги повинні своєчасно оновлювати свої навички та знання, щоб створити відповідне середовище навчання для своїх учнів [15].

Аналізуючи необхідні сьогодні компетентності вчителів, автори досліджують можливості та проблеми використання систем ШІ та те, як вони можуть покращити викладання, навчання та оцінювання. В концептуальну основу майбутнього навчального плану компетентностей вчителя щодо використання ШІ входять чотири ключові домени [16, С.155]:

- «Професійне залучення вчителя», яке ілюструє здатність покращувати викладання та полегшувати професійну взаємодію із зацікавленими сторонами;
- «Дизайн навчання» для отримання відповідних знань, розробки відповідних педагогічних методів, технологій та інструментів оцінювання для досягнення цілей навчання учнів;
- «Вибір вмісту», яке складається з когнітивних областей, які вимірюють знання та досягнення учнями навичок від нижчих (знати та розуміти ШІ) до навичок мислення вищого рівня (оцінювати та створювати ШІ), а також етику ШІ. Зміст навчання може бути розроблений так, щоб сприяти розвитку грамотності учнів у сфері штучного інтелекту в різних предметних областях (наприклад, математика, природознавство).
- «Навчальні компетенції» охоплюють набір знань, умінь і цінностей учнів (наприклад, життєві та кар'єрні навички, навички навчання та інновації, технологічні навички) які розвивають у студентів широкий набір компетенцій ШІ.

Поза увагою дослідників залишається професійний розвиток вчителів щодо використання ШІ безпосередньо в природничій та математичній галузях.

Метою статті є визначення стратегій і напрямів професійного розвитку вчителів природничої та математичної галузей в післядипломній освіті з метою успішного впровадження та використання штучного інтелекту в професійній діяльності.

Завдання статті:

- Висвітлення сучасних тенденцій і викликів, пов'язаних із використанням штучного інтелекту в освітньому процесі, зокрема в природничих і математичних галузях.
- Аналіз потреб вчителів природничих і математичних галузей у підвищенні своєї кваліфікації та адаптації до нових технологій, пов'язаних із ШІ.
- Визначення інструментів штучного інтелекту для природничої і математичної галузей загальної середньої освіти.
- Визначення стратегій та напрямів професійного розвитку вчителів для ефективного впровадження інноваційних інструментів штучного інтелекту.

Для розкриття теми використано теоретичні методи: аналіз наукових досліджень та статей з питань використання ШІ в освіті та досвід професійного розвитку вчителів природничої та математичної галузей в післядипломній освіті та аналіз змісту навчальних програм, матеріалів та ресурсів, які використовуються для професійного розвитку вчителів, для визначення наявності матеріалів, пов'язаних із штучним інтелектом.

Емпіричні методи дозволили визначити потреби вчителів природничих і математичних галузей у підвищенні своєї кваліфікації та адаптації до нових технологій, пов'язаних із ШІ. В межах дослідження проведено анкетування серед вчителів для з'ясування їхнього рівня знань та обізнаності щодо штучного інтелекту та їхніх потреб у професійному розвитку в цій області, глибинні інтерв'ю з досвідченими вчителями, які вже використовують штучний інтелект у навчальному процесі, для вивчення їхнього досвіду та найкращих практик, спостереження за навчанням вчителів інструментам ШІ та визначення найбільш ефективних інструментів з метою оцінки їхньої ефективності та впливу на навчання учнів.

Результати. Для аналізу потреб вчителів природничих і математичних галузей у підвищенні своєї кваліфікації, цифрової компетентності та адаптації до нових технологій, пов'язаних із штучним інтелектом проведено опитування 77 педагогів.

Більшість з опитаних вчителів мають понад 20 років стажу (66,2%) та визначають рівень підготовленості себе і своїх колег до використання цифрових технологій достатнім (Рис.1, Рис.2).

Педагогічний стаж
77 відповідей

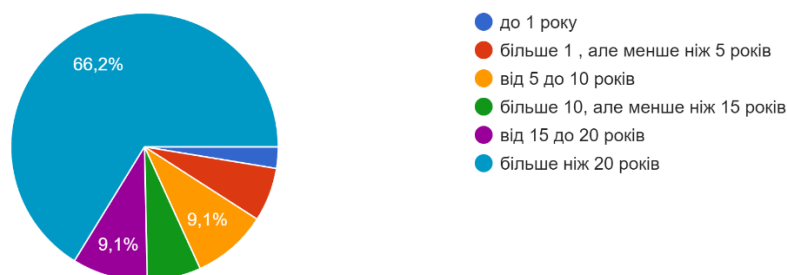


Рис. 1. Педагогічний стаж вчителів математики та природничих наук, які взяли участь в опитуванні

Як Ви оцінюєте підготовку вчителів до використання цифрових технологій в освітньому процесі в умовах воєнного стану?
77 відповідей

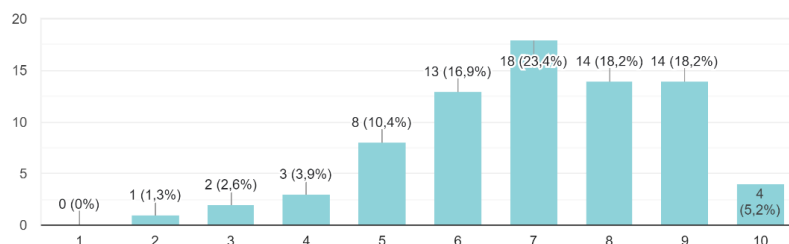


Рис. 2. Оцінка підготовки вчителів до використання цифрових технологій на думку інтерв'юерів за 10 бальною шкалою.

Результати опитування показали, що більшість вчителів (87%) вважають рівень власної цифрової компетентності вище середнього (Рис.3) та готові до цифрової трансформації освіти (Рис.4).

Оцініть рівень Вашої цифрової компетентності
77 відповідей

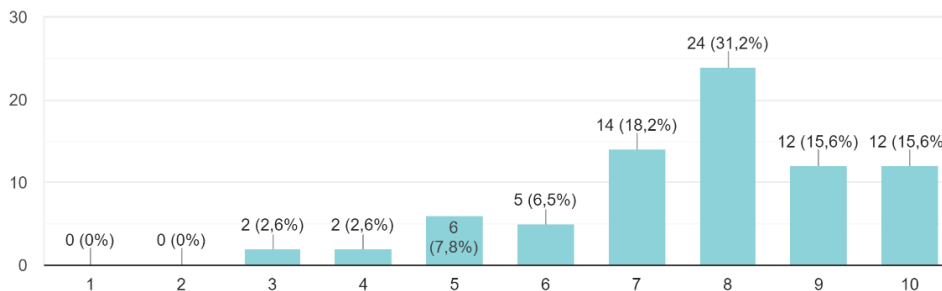


Рис. 3. Самооцінка цифрової компетентності вчителів

Необхідною умовою цифрової трансформації та якості освіти, на думку вчителів, є ефективне використання сучасних цифрових технологій і даних за рахунок розвитку цифрових навичок та компетентностей всіх стейкохолдерів освітнього процесу, створення безпечного освітнього середовища, цифровізація усіх складових освітнього процесу (Рис.4).

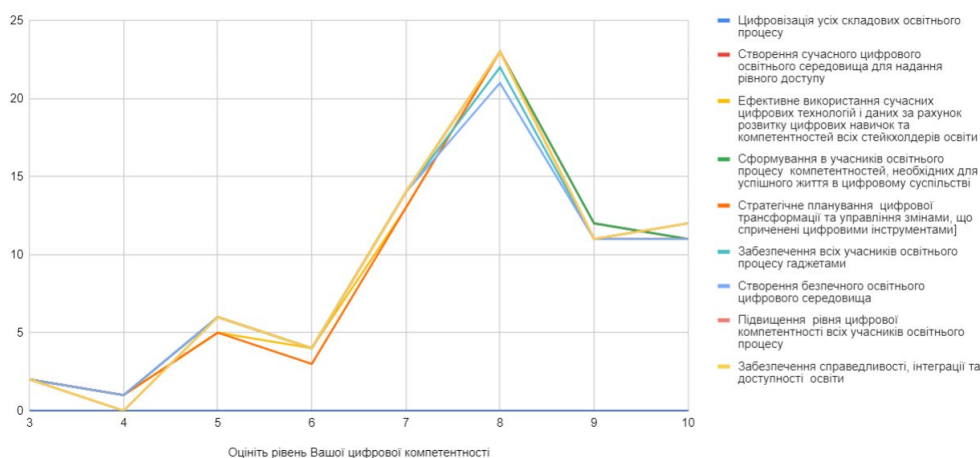


Рис. 4. Вибір напрямів цифрової трансформації освіти відповідно до цифрової компетентності учасників опитування.

Більше ніж 40% педагогів стверджують, що технології ІІІ можуть мати як переваги так і недоліки, більше 39% вважають необхідним його використання і лише 4 % педагогів вважають, що використання ІІІ є загрозою в усіх сферах життєдіяльності та негативно вплине на якість освіти (Табл. 1).

Табл. 1

Думка вчителів щодо використання ІІІ в навчанні

№	Твердження	Відсоток вчителів, які погодились з твердженням
1.	ІІІ не можна використовувати в навчанні	4,2 %
2.	Безумовно за використанням ІІІ в освіті- майбутнє, потрібно використовувати	38,6%
3.	Вважаю, що використання ІІІ в навчання має свої переваги та недоліки: <ul style="list-style-type: none"> • більше недоліків ніж переваг у використанні ІІІ в навчанні • більше переваг ніж недоліків використання ІІІ в навчанні 	43,7% <ul style="list-style-type: none"> • 12, 0% • 31,7%
4.	Власна думка <ul style="list-style-type: none"> • Питання не достатньо вивчено • Освіта має адаптуватись до сучасних умов розвитку ІІІ • Важко зрозуміти чи більше переваг чи недоліків • Не можемо розвиток ІІІ зупинити, значить маємо опанувати • Не маю стійкої обґрунтованої позиції • Не замислювалась над цим питанням 	8,5%

Мають намір підвищити кваліфікацію з питань використання ІІІ 68,8% опитаних педагогів. Вчителі крім того намагаються опанувати нові технології і інструменти, 24,7% із них вже використовують ІІІ для підготовки до занять і 16,9% опитаних беруть участь у підвищенні кваліфікації з цього питання (Табл. 2.).

Табл.2

Потреби вчителів у підвищенні кваліфікації з ІІІ та використання в професійній діяльності

№	Твердження	Відсоток вчителів, які погодились з твердженням,
1.	Не знаю як використати ІІІ в освіті	6,5%
2.	Розумію як запровадити ІІІ у професійній діяльності, але не роблю цього	10,4%
3.	Використовую інструменти ІІІ для підготовки занять	24,7%
4.	Беру участь в підвищенні кваліфікації з питань використання ІІІ	16,9%
5.	Маю намір підвищити кваліфікації з питань використання ІІІ	68,8%
6.	Інше	0%

Опитування свідчить про готовність вчителів природничої та математичної галузі до професійного розвитку з питань використання ІІІ в професійній діяльності.

Визначимо інструменти штучного інтелекту для природничої і математичної галузі загальної середньої освіти.

Більшість інструментів ІІІ мають великий потенціал в освіті, надаючи учням персоналізований досвід навчання, покращуючи їх залученість і досягнення. Американські дослідники виділяють шість бажаних характеристик моделей ІІІ, які можуть бути використані для освіти:

1. *Узгодження моделі штучного інтелекту з баченням педагогів щодо навчання:* при використанні ІІІ в освітніх системах пріоритет віддається освітнім цілям, відповідно до відомих практик і методики про те, як люди навчаються та узгоджується з передовими практиками в освіті, заснованими на фактичних даних.

2. *Конфіденційність даних*: важливість забезпечення безпеки та конфіденційності даних учнів, викладачів та інших людей.

3. *Повідомлення та пояснення*: викладачі повинні мати можливість перевіряти навчальний процес, щоб визначити, як ШІ в нього інтегрується, робити інструкції та поправки.

4. *Алгоритмічний захист від дискримінації*: мінімізація упередженості та сприяння справедливості в моделях ШІ від розробників і авторів.

5. *Безпечність та ефективність*: використання моделей штучного інтелекту в освіті базується на доказах їх ефективності (використовуючи стандарти, вже встановлені в освіті для цієї мети) для різних учнів та різних типів навчальних закладів.

6. *Людські альтернативи, розгляд і зворотній зв'язок*: моделі ШІ, мають підтримувати прозоре, підзвітне та відповідальне використання ШІ в освіті шляхом залучення людей, які могли би переконатися, що освітні цінності та принципи залишаються пріоритетними» [18, С.56].

Загалом важливо також враховувати потенційні ризики та обмеження штучного інтелекту в освіті, такі як ризик надмірної залежності від технологій і потенційна втрата роботи для вчителів. ЮНІСЕФ розробив настанову, в якій досліджуються системи штучного інтелекту та розглядаються способи, якими вони впливають на дітей, зокрема можуть підтримувати або негативно впливати на їх права [18].

Враховуючи вищезазначені підходи та думку вчителів, які впроваджують ШІ в професійній діяльності і те, що бібліотеки інструментів ШІ для освіти постійно поповнюються (<https://gpte.ai/tag/education>), наведемо окремі приклади інструментів ШІ для викладання математики та природничих наук в загальній середній освіті.

– Чат боти Bard, GPT (bard.google.com, <https://chat.openai.com>).

Використання чат боту для вивчення математики та природничих наук може бути корисним, оскільки він може надавати відповіді на питання, пояснення та навіть створювати вправи та задачі, розробки, сценарії уроків. Наприклад, чат боту можна задати питання про математичні концепції, формули або правила, концепції, теорії, явища у фізиці, хімії, біології або інших науках, попросити пояснити принципи роботи конкретного експерименту або наукової теорії, надати дані про важливі відкриття в науці, рішення певної математичної задачі або викласти алгоритм розв'язання, скласти конспект уроку або пояснювальний матеріал на певну тему, створити навчальну презентацію, інформаційні матеріали, набір вправ або тестових завдань для перевірки знань, практичні завдання або досліди при вивченні певної теми.

Компанія Майкрософт анонсує використання ШІ в своїх програмах, зокрема її пошукова система Bing вже має функції ШІ, а у Word ШІ на запит може переписати певний абзац, зробивши його коротшим, змінити тон тексту або скласти проектну пропозицію за наявними даними; в Excel - прогнозувати зміни при введенні нових даних та будувати діаграми для наочності; у PowerPoint - перетворити ідеї на презентації або в Teams - розшифрувати розмову в режимі реального часу і дати висновки зі сказаного [19].

Інтелектуальні тьютори: програми, які допомагають засвоювати матеріал швидше і ефективніше, надаючи індивідуальні рекомендації та завдання. Наприклад, Brain Buddy та інші навчальні платформи на основі штучного інтелекту надають індивідуальну допомогу для освітнього, професійного та особистого розвитку (<https://brain-buddy.com>, <https://hellothinkster.com>, <https://community.uuki.live>).

Автоматизовані системи оцінювання: програми, які допомагають вчителям ефективно оцінювати роботу учнів (<https://www.conker.ai>, <https://www.questionwell.org>, <https://gradecam.com>, <https://gradecam.com/pricing>, <https://examsoft.com>, <https://www.gradescop.com>).

Віртуальні лабораторії та симулятори: програми, які допомагають навчатися практичних навичок, без реального доступу до обладнання (<https://www.golabz.eu/labs>, <https://www.labster.com>, <https://ch.mathworks.com>, <https://www.ni.com/en-us/shop/labview.html>).

Аналітика навчання: програми, які допомагають вчителям та адміністраторам шкіл збирати, аналізувати та використовувати дані про навчання для покращення якості освіти (<https://quizlet.com/latest>, <https://yippity.io>). Наприклад, Google Classroom, Classtime може використовувати машинне навчання для розпізнавання тексту в завданнях та автоматичного оцінювання їх на основі заданих критеріїв.

Бібліотеки для машинного навчання, які дозволяють створювати та навчати моделі машинного навчання (<https://www.tensorflow.org>, <https://pytorch.org>) вже широко використовуються в математиці, статистиці та науках для аналізу даних та розв'язання завдань передбачення.

Створення уроків (https://www.canva.com/uk_ua, <https://www.querium.com>, <https://educationcopilot.com>, <https://curipod.com>, <https://www.wolframalpha.com>).

Створення відео, анімацій (<https://lumen5.com>, Alpha.genmo.ai, Synthesia.io, Heygen.com).

Створення навчальних презентацій (<https://tome.app>, <https://www.beautiful.ai>, <https://www.slidesai.io>).

Транскрибування та підсумки зустрічей в Google Meet, MS Teams, Zoom за допомогою ChatGPT (<https://app.fireflies.ai>).

Підготовка до занять. Пошук наукової літератури (<https://www.semanticscholar.org>, Pixlr.com).

Google також надає низку навчальних експериментів з штучним інтелектом (<https://experiments.withgoogle.com>), включаючи можливості створення нейромереж та вивчення основ машинного навчання та розробляє плагіни для інтеграції ШІ в Гугл документи.

Крім того для реалізації інноваційної діяльності вчитель математики чи природничих наук може використати набір інструментів ШІ (<https://ai.boardofinnovation.com>) для інноваторів. (Рис. 5).

The screenshot shows the AI Board of Innovation interface. On the left, there is a sidebar with navigation options like 'Більше інструментів ШІ', 'Розробник сценарію майбутнього', 'Короткий опис дослідження', 'Сценарій співбесіди', 'Персона', 'Оцінка можливостей', 'Картка з розумінням проблеми', 'Як ми можемо завдати', 'Мозковий шторм Бадді', and 'Стратегічні поради'. The main area is titled 'Цільова аудиторія' and 'проблема'. Below this, there is a table titled 'Ідеї для вирішення «Як ми можемо створити проект STEM?»'.

Інструмент ідеї	Тригер ідеї	Опис ідеї	Ім'я
Ідея заснована на Dublin	процес	Створіть порокосовий поєдинок, який у ній повинні співдівати, щоб створити власний проект STEM	Штук проекту STEM
Ідея на основі SCAMPER	Комбінуйте	Подивіться різні предмети STEM, щоб створити міждисциплінарний проект	STEM Fusion
Ідея заснована на аналогії	аналогія	Створіть STEM-проект на основі концепції будівництва мосту	STEM Bridge Builders
Ідея заснована на випадковості	Кристали	Створіть проект STEM, де студенти вирощують власні кристали та досліджують їхні властивості	STEM Crystal Quest

Рис. 5. Використання ШІ для генерування ідей, досліджень

Для вивчення математики, фізики вчителі вже використовують різноманітні середовища (Geogebra, Desmos), які хоч і не мають вбудованих інструментів ШІ, але дозволяють використовувати інструменти машинного навчання для розв'язання складних алгебраїчних рівнянь або обчислення похідних. Чат боти можуть надавати підказки та рекомендації щодо того, як краще досліджувати конкретні математичні концепції або розв'язувати завдання. Інтелектуальні алгоритми здатні допомагати GeoGebra оптимізувати використання ресурсів, наприклад, розраховувати оптимальні

розташування об'єктів на полотні або підбирати найкращі параметри графічних відображень. Інструменти ШІ здатні адаптувати матеріали та завдання до використання в GeoGebra до індивідуальних потреб та рівня знань кожного користувача, що сприяє більш ефективному навчанню. За допомогою Humata (<https://www.humata.ai>) можна зробити підсумки в документах.

Професійний розвиток вчителів має бути збалансованим: це не лише обговорення можливостей ШІ, але й отримання навичок аналізу ризиків, що дозволить уникнути пасток використання технології.

Визначимо стратегії та напрями професійного розвитку вчителів для ефективного впровадження інноваційних інструментів штучного інтелекту.

В основі підготовки вчителів має бути стандарт цифрової компетентності вчителя DigCompedu [14] та громадянина DigComp 2.2 [3], який містить 5 цифрових областей компетенції: інформаційна грамотність, спілкування та співпраця, створення цифрового контенту, безпека, розв'язування задач. Кожна сфера компетенції далі містить 21 компонент. В оновленій рамці визначаються вимоги до знань, навичок та ставлення до ШІ: знати, що системи ШІ роблять і чого не роблять, розуміти переваги та обмеження, виклики систем ШІ, використовувати, взаємодіяти та давати відгуки для систем ШІ як кінцевого користувача, налаштовувати, контролювати та адаптувати (наприклад, перезапис, налаштування), людська відповідальність і контроль, критичне, але відкрите ставлення, етичні міркування щодо використання [3, С.77-82].

Кожен вчитель може зробити самооцінювання власної цифрової компетентності та отримати рекомендації за напрямками професійного залучення, використання цифрових ресурсів, викладання та навчання та оцінювання, розширення можливостей та фасилітації цифрових компетентностей інших учасників освітнього процесу [20].

ШІ пропонує вчителю адаптувати існуючі педагогічні практики, звернути увагу на можливості інструментів ШІ: персоналізоване навчання, аналіз даних, автоматичне адміністрування навчального процесу, створення нових цифрових ресурсів, забезпечення безпечного цифрового середовища та власний професійний розвиток (Рис.6).

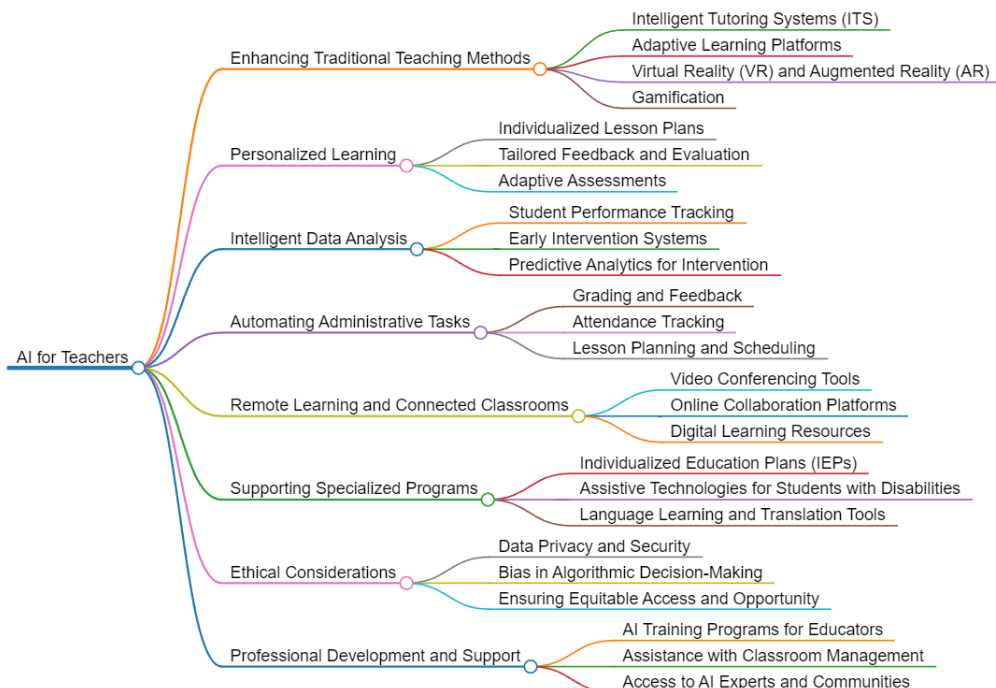


Рис. 6. Карта знань (GPT Mined Maps Maker) створена ШІ за запитом «Штучний інтелект для вчителя»

Вчителі в інтерв'ю висловили занепокоєння щодо необхідності зміни підходів навчання і викладання в умовах стрімкого розвитку інструментів ШІ, зменшення поваги до викладачів або меншої цінності їхніх навичок та зазначили готовність до розробки методики запровадження ШІ, опанування не тільки його інструментів але і методики формування безпечного освітнього середовища та критичного мислення учнів.

ЮНЕСКО наголошує на важливості політики використання ШІ в семи сферах: загальносистемне бачення та стратегічні пріоритети, вищий принцип політики ШІ та освіти, міждисциплінарне планування та міжгалузеве управління, політика та правила справедливого, інклюзивного та етичного використання; управління освітою, викладання, навчання та оцінювання; пілотне тестування, моніторинг та оцінка, створення доказової бази та підтримки локальних проєктів з використання ШІ в освіті [21].

Fengchun Miao, керівник відділу технологій та ШІ в освіті ЮНЕСКО, запропонував для обговорення рамку компетентностей вчителя з використання ШІ [22].

Табл.3.
Рамка компетентностей вчителя з використання ШІ [30]

Аспекти	Прогрес		
	Розуміння	Застосування	Створення
Уявлення про ШІ в освіті	Розуміння переваг і недоліків	Контекстна стратегія	Управління довготривалим впливом
Етика ШІ	Людський чинник	Особистісно-орієнтоване використання	Навички суспільства ШІ
ШІ фундаментальні знання	Алгоритм і дані грамотності	Використання аналітики ШІ	Кодування та моделі даних
Навички використання	Тестування і використання	Вплив ШІ	Інтеграція інструментів ШІ
Педагогіка ШІ	ШІ для навчання	ШІ для глибокого навчання	ШІ для спільної творчості
Професійний розвиток	ШІ для адміністративних задач	ШІ для навчального дизайну та доставки	ШІ для розширення можливостей

Узагальнюючи підходи до навчання дорослих та впровадження інновацій в педагогіці [23,24,25] професійний розвиток вчителя природничої і математичної галузей післядипломної освіти з питань ШІ має базуватись на розвитку його цифрової компетентності і забезпечено неперервно і в формальній і неформальній, інформальній післядипломній освіті.

Ресурсами для самоосвіти педагогів можуть стати дистанційні курси: «Початок роботи з GPT» (<https://prometheus.org.ua>), «ШІ для кожного» (<https://www.coursera.org/learn/ai-for-everyone>), «ШІ для освіти» (<https://www.teachingwithai.co>) та електронна книга [25] та інші.

Узагальнюючи можливості використання ШІ в математичній освіті [26], в тому числі роботів [27] та базуючись на міжнародному досвіді професійного розвитку вчителів з використання ШІ [28, 29] та основних сучасних інноваціях ШІ [30] та результатах нашого дослідження можемо зробити рекомендації щодо програм підвищення кваліфікації вчителів.

В формальній післядипломній освіті на базі інститутів післядипломної освіти мають бути розроблені освітньо-професійні програми, які включають наступні напрями підвищення кваліфікації:

- уявлення про штучний і генеративний інтелект в освіті;
- етика використання ШІ, дотримання академічної доброчесності;

- переваги і недоліки використання ШІ в освіті;
- аналіз інструментів ШІ для викладання і навчання, автоматизації освітнього процесу, контролю навчальних досягнень;
- можливості і особливості методики використання інструментів ШІ для навчання і викладання окремих галузей (наприклад, математики та природничих наук);
- створення електронних освітніх ресурсів з використанням ШІ;
- створення безпечного освітнього середовища, розвиток критичного мислення учасників освітнього процесу в умовах використання інструментів ШІ;
- можливості кар'єрного майбутнього в епоху штучного інтелекту для учнів

Висновки, рекомендації, перспективи подальших досліджень. Дослідження дозволило визначити напрями професійного розвитку вчителів природничої та математичної галузей в післядипломній освіті для успішного впровадження та використання штучного інтелекту в професійній діяльності.

На основі досліджень [3, 17, 21, 20, 22, 25, 28, 30] вдалось окреслити стандарти розвитку цифрової компетентності вчителів та змістові лінії освітньо-професійних програм для підвищення кваліфікації: уявлення про штучний і генеративний інтелект в освіті; етика використання ШІ, переваги і недоліки використання ШІ в освіті; аналіз інструментів ШІ для викладання і навчання, можливості і особливості методики використання інструментів ШІ для навчання і викладання математики та природничих наук, створення безпечного освітнього середовища та електронних освітніх ресурсів з використанням ШІ, розвиток критичного мислення учасників освітнього процесу в умовах використання інструментів ШІ; можливості кар'єрного майбутнього в епоху штучного інтелекту для учнів.

Результати опитування підтвердили потреби і інтерес вчителів природничих і математичних галузей у підвищенні своєї кваліфікації, цифрової компетентності та адаптації до нових технологій, пов'язаних із штучним інтелектом. Бачать перспективу використання ШІ і сьогодні і в майбутньому більше ніж 38% педагогів, вважають, що ризиків більше ніж переваг у використанні цих технологій лише 12%, а негативне ставлення до запровадження мають 4% педагогів. Вчителі розуміють важливість цифрової трансформації освіти та мають достатній рівень цифрової грамотності та бажають його неперервно підвищувати, що також свідчить про готовність до опанування нової методики і інструментів.

Визначення інструментів штучного інтелекту для природничої і математичної галузей загальної середньої освіти дозволяє визначити стратегії та напрями професійного розвитку вчителів для ефективного впровадження інноваційних інструментів штучного інтелекту. Вивчення потреб вчителів у підвищенні кваліфікації та навичках, пов'язаних зі штучним інтелектом, може допомогти розробити більш індивідуальні та спеціалізовані програми навчання в післядипломній освіті.

Перспективами та потенційними напрямками для подальших досліджень можуть бути: аналіз ефективності використання штучного інтелекту в навчанні для визначення успішних практик і інструментів для забезпечення якості природничої та математичної галузей та розвитку компетентностей учнів, в тому числі з питання етики й соціокультурних викликів, реалізуючи прозорість, безпеку даних та вплив на соціалізацію учнів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Directorate-General for Education. Ethical guidelines on the use of artificial intelligence (AI) and data in teaching and learning for educators, Publications Office of the European Union. 2022. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2766/153756>

2. Roberts S.. A.I. Is Coming for Mathematics, Too. The New York Times. 2023, July 2. URL: <https://www.nytimes.com/2023/07/02/science/ai-mathematics-machine-learning.html> (date of access: 12.10.2023).
3. Vuorikari R., Kluzer S., Punie Y. DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens - With new examples of knowledge, skills and attitudes. JRC Publications Repository. 2022. URL: <https://doi.org/10.2760/115376> (date of access: 12.10.2023).
4. Zhang H., Lee I., Ali S., DiPaola D., Cheng Y., Breazeal, C. Integrating Ethics and Career Futures with Technical Learning to Promote AI Literacy for Middle School Students: An Exploratory Study. International Journal of Artificial Intelligence in Education. 2023. №33(2). P. 290–324. URL: <https://doi.org/10.1007/s40593-022-00293-3> (date of access: 12.10.2023).
5. Xu W., Ouyang F. The application of AI technologies in STEM education: a systematic review from 2011 to 2021. International Journal of STEM Education. 2022. № 9(1). vol. 59. URL: <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00377-5> (date of access: 12.10.2023).
6. Mathematics Education in the Age of Artificial Intelligence: How Artificial Intelligence can Serve Mathematical. Richard P. R and all (Eds.). Human Learning Springer International Publishing. 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-86909-0> (date of access: 12.10.2023).
7. Molenaar I. Towards hybrid human-AI learning technologies. European Journal of Education, 2022. №57(4). P.632–645. URL: <https://doi.org/10.1111/ejed.12527> (date of access: 12.10.2023).
8. Molenaar I. The concept of hybrid human-AI regulation: Exemplifying how to support young learners' self-regulated learning. Computers and Education: Artificial Intelligence, 2022. №3. 100070. URL: <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100070> (date of access: 12.10.2023).
9. Martínez-Sevilla Á., Alonso S. AI and Mathematics Interaction for a New Learning Paradigm on Monumental Heritage. In P. R. Richard, M. P. Vélez, S. Van Vaerenbergh (Eds.), Mathematics Education in the Age of Artificial Intelligence: How Artificial Intelligence can Serve Mathematical Human Learning. 2022. pp. 107–136. Springer International Publishing. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-86909-0_6 (date of access: 12.10.2023).
10. Mohamed M. Z. bin, Hidayat R., Suhaizi N. N. binti, Sabri N. binti M., Mahmud M. K. H. bin, Baharuddin S. N. binti. Artificial intelligence in mathematics education: A systematic literature review. International Electronic Journal of Mathematics Education. 2022. №17(3). em0694. URL: <https://doi.org/10.29333/iejme/12132> (date of access: 12.10.2023).
11. Van Vaerenbergh, S., Pérez-Suay, A. A Classification of Artificial Intelligence Systems for Mathematics Education. In P. R. Richard, M. P. Vélez, & S. Van Vaerenbergh (Eds.), Mathematics Education in the Age of Artificial Intelligence: How Artificial Intelligence can Serve Mathematical Human Learning. Springer International Publishing. 2022. P. 89–106. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-86909-0_5. (date of access: 12.10.2023).
12. Zhong B., Xia L. (2020). A Systematic Review on Exploring the Potential of Educational Robotics in Mathematics Education. International Journal of Science and Mathematics Education. 2020. 18(1). P.79–101. URL:<https://doi.org/10.1007/s10763-018-09939-y>. (date of access: 12.10.2023).
13. Wu R. Visualization of basic mathematics teaching based on artificial intelligence. Journal of Physics: Conference Series. 2021. №1992(1). 042042. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1992/4/042042> (date of access: 12.10.2023).

14. Skov, A. DigcompEDU. URL: <https://digital-competence.eu/digcompedu/en/survey/qid-8556/?uri=99b1d71f98db9ee246f2301c0523a9ad>. (date of access: 12.10.2023)
15. Williamson B., Eynon, R. Historical threads, missing links, and future directions in AI in education. *Learning. Media and Technology*. 2020. №45(3). P.223–235.
16. Ng Tsz Kit, Leung Jac & Su, Jiahong Ng Chi Wui, Chu, Samuel. Teachers' AI digital competencies and twenty-first century skills in the post-pandemic world. *Educational Technology Research and Development*. 2023. №71. 137-161. URL: [10.1007/s11423-023-10203-6](https://doi.org/10.1007/s11423-023-10203-6) (date of access: 12.10.2023).
17. U.S. Department of Education, Office of Educational Technology, Artificial Intelligence and Future of Teaching and Learning: Insights and Recommendations, Washington, DC, 2023. URL: <https://www2.ed.gov/documents/ai-report/ai-report.pdf>. (date of access: 12.10.2023).
18. Policy guidance on AI for children | UNICEF Office of Global Insight & Policy. URL: <https://www.unicef.org/globalinsight/reports/policy-guidance-ai-children> (date of access: 12.10.2023).
19. Microsoft вбудує штучний інтелект у свої офісні програми: деталі. Інформатор UA. URL: <https://informer.ua/uk/microsoft-vbuduye-shtuchniy-intelekt-u-svoji-ofisni-programi-detali> (date of access: 12.10.2023).
20. Skov A. The Digital Competence Wheel. URL: <https://digital-competence.eu> (date of access: 12.10.2023).
21. UNESCO. AI and education: Guidance for policy-makers. 2021. URL: <https://doi.org/10.54675/PCSP7350> (date of access: 12.10.2023).
22. A proposed AI Competency Framework for teachers – AI Pioneers. URL: <https://aipioneers.org/a-proposed-ai-competency-framework-for-teachers> (date of access: 12.10.2023).
23. Інноваційні педагогічні методи в цифрову епоху: навчальний посібник. Морзе Н.В. та ін. Київ: ТОВ «Друкарня «Рута», 2021. 320с. URL: <https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/35888>. (date of access: 12.10.2023).
24. Дистанційне та змішане навчання як засіб реалізації індивідуальної траєкторії професійного зростання педагога / І. Воротникова та ін. Київ: Київ. Ун-т ім. Б. Грінченка, 2022. 256 с. URL: <https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/41018> (date of access: 12.10.2023).
25. AI for Teachers, An Open Textbook: Edition 1. 2023. URL: <https://www.ai4t.eu/book/ai-for-teachers-an-open-textbook-version-1-english/about-this-book> (date of access: 12.10.2023).
26. Van Vaerenbergh S., Pérez-Suay A. A Classification of Artificial Intelligence Systems for Mathematics Education. In P. R. Richard, M. P. Vélez, S. Van Vaerenbergh (Eds.). *Mathematics Education in the Age of Artificial Intelligence: How Artificial Intelligence can Serve Mathematical Human Learning*. 2022. P. 89–106. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86909-0_5. (date of access: 12.10.2023).
27. Garvis S., Keane T. A Literature Review of Educational Robotics and Early Childhood Education. In S. Garvis & T. Keane (Eds.), *Technological Innovations in Education*. 2023. P. 71–83. Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2785-2_6 (date of access: 12.10.2023).
28. Smith C., Gillespie M.. Research on Professional Development and Teacher Change: Implications for Adult Basic Education. In J. Comings, B. Garner, C. Smith, *Review of Adult Learning and Literacy*, 2023. Volume 7 (1st ed., P. 205–244). (date of access: 12.10.2023). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003417996-7>. (date of access: 12.10.2023).

29. University of Virginia, Lebovitz S., Levina N., New York University, Lifshitz-Assa, H., New York University. Is AI Ground Truth Really True? The Dangers of Training and Evaluating AI Tools Based on Experts' Know-What. *MIS Quarterly*, 2021.45(3), P. 1501–1526. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2021/16564> (date of access: 12.10.2023).
30. Verganti R., Vendraminelli L., Iansiti M. Innovation and Design in the Age of Artificial Intelligence. *Journal of Product Innovation Management*. 2020. 37(3), P. 212–227. <https://doi.org/10.1111/jpim.12523> (date of access: 12.10.2023).

Матеріал надіслано до редакції 15.10.2023 р.

PROFESSIONAL DEVELOPMENT OF SCIENCE AND MATHEMATICS TEACHERS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Iryna Vorotnykova

candidate of pedagogical sciences, associate professor, head of the department of science and mathematics education and technologies of the Institute In Service Teacher's Training Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine,
i.vorotnykova@kubg.edu.ua
ORCID: 0000-0003-1211-8885

Abstract. The content of the article emphasizes the importance of training teachers of natural and mathematical fields to use artificial intelligence in their professional activities and developing their competencies to prepare students for modern challenges and opportunities provided by this technology. The analysis of scientific and methodical literature made it possible to determine the advantages and disadvantages of using AI in the educational process of institutions of general secondary education and to propose directions for improving the qualifications of teachers of natural sciences and mathematics. The use of artificial intelligence in science and mathematics education has the potential to improve student achievement outcomes and provide a more personalized learning experience, but with consideration of the potential risks and limitations of artificial intelligence in education, such as the risk of over-reliance on technology, data security. The analysis of the results of the survey of teachers confirms the readiness of science and mathematics teachers for professional development, mastery of advanced training programs for the use of AI. A necessary condition for the introduction of AI is the alignment of the artificial intelligence model with the vision of teachers regarding education, in particular the possibilities of achieving educational goals, alignment with advanced practices in education. The definition of artificial intelligence tools for the science and mathematics field of general secondary education based on the introduction of theoretical research methods made it possible to generalize the directions of professional development of teachers of mathematics and science fields on the implementation of AI and to form the content lines of the educational and professional program of teacher training. The study considers the importance and directions of training teachers for the use of artificial intelligence in postgraduate education and highlights ideas and approaches that will help to effectively introduce these technologies into the educational process, contributing to the improvement of the quality of education and the preparation of the younger generation for the challenges of the future.

Keywords: artificial intelligence; professional development of teachers; digital technologies; postgraduate education; artificial intelligence tools; STEM; digital transformation

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Directorate-General for Education, Y. (2022). Ethical guidelines on the use of artificial intelligence (AI) and data in teaching and learning for educators. Publications Office of the European Union. October 12, 2023. <https://data.europa.eu/doi/10.2766/153756>
2. Roberts, S. (2023, July 2). A.I. Is Coming for Mathematics, Too. *The New York Times*. October 12, 2023. <https://www.nytimes.com/2023/07/02/science/ai-mathematics-machine-learning.html>

3. Vuorikari, R., Kluzer, S., & Punie, Y. (2022, March 17). DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens - With new examples of knowledge, skills and attitudes. JRC Publications Repository. <https://doi.org/10.2760/115376>
4. Zhang, H., Lee, I., Ali, S., DiPaola, D., Cheng, Y., & Breazeal, C. (2023). Integrating Ethics and Career Futures with Technical Learning to Promote AI Literacy for Middle School Students: An Exploratory Study. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 33(2), 290–324. October 12, 2023. <https://doi.org/10.1007/s40593-022-00293-3>
5. Xu, W., & Ouyang, F. (2022). The application of AI technologies in STEM education: a systematic review from 2011 to 2021. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 59. October 12, 2023. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00377-5>.
6. Richard, P. R., Vélez, M. P., & Van Vaerenbergh, S. (Eds.). (2022). *Mathematics Education in the Age of Artificial Intelligence: How Artificial Intelligence can Serve Mathematical Human Learning* (Vol. 17). Springer International Publishing. October 12, 2023. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-86909-0>.
7. Molenaar, I. (2022). Towards hybrid HUMAN-AI learning technologies. *European Journal of Education*, 57(4), 632–645. <https://doi.org/10.1111/ejed.12527>.
8. Molenaar, I. (2022). The concept of hybrid human-AI regulation: Exemplifying how to support young learners' self-regulated learning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100070. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100070>.
9. Martínez-Sevilla, Á., & Alonso, S. (2022). AI and Mathematics Interaction for a New Learning Paradigm on Monumental Heritage. In P. R. Richard, M. P. Vélez, & S. Van Vaerenbergh (Eds.), *Mathematics Education in the Age of Artificial Intelligence: How Artificial Intelligence can Serve Mathematical Human Learning* (pp. 107–136). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86909-0_6.
10. Mohamed, M. Z. bin, Hidayat, R., Suhaizi, N. N. binti, Sabri, N. binti M., Mahmud, M. K. H. bin, & Baharuddin, S. N. binti. (2022). Artificial intelligence in mathematics education: A systematic literature review. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 17(3), em0694. <https://doi.org/10.29333/iejme/12132>.
11. Van Vaerenbergh, S., & Pérez-Suay, A. (2022). A Classification of Artificial Intelligence Systems for Mathematics Education. In P. R. Richard, M. P. Vélez, & S. Van Vaerenbergh (Eds.), *Mathematics Education in the Age of Artificial Intelligence: How Artificial Intelligence can Serve Mathematical Human Learning* (pp. 89–106). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86909-0_5.
12. Zhong, B., & Xia, L. (2020). A Systematic Review on Exploring the Potential of Educational Robotics in Mathematics Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 18(1), 79–101. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-09939-y>.
13. Wu, R. (2021). RETRACTED: Visualization of Basic Mathematics Teaching Based on Artificial Intelligence. *Journal of Physics: Conference Series*, 1992(4), 042042. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1992/4/042042>.
14. Skov, A. (2023). DigcompEDU. October 12, 2023. <https://digital-competence.eu/digcompedu/en/survey/qid-8556/?uri=99b1d71f98db9ee246f2301c0523a9ad>
15. Williamson, B., & Eynon, R. (2020). Historical threads, missing links, and future directions in AI in education. *Learning, Media and Technology*, 45(3), 223–235. <https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1798995>.
16. Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Su, J., Ng, R. C. W., & Chu, S. K. W. (2023). Teachers' AI digital competencies and twenty-first century skills in the post-pandemic world.

- Educational Technology Research and Development, 71(1), 137–161.
<https://doi.org/10.1007/s11423-023-10203-6>.
17. U.S. Department of Education, Office of Educational Technology (2023). Artificial Intelligence and Future of Teaching and Learning: Insights and Recommendations, Washington, DC. October 12, 2023.
<https://www2.ed.gov/documents/ai-report/ai-report.pdf>
 18. Policy guidance on AI for children | UNICEF Office of Global Insight & Policy. (2021, November 19). October 12, 2023.
<https://www.unicef.org/globalinsight/reports/policy-guidance-ai-children>
 19. Microsoft will build artificial intelligence into its office programs: details.. (2023, March 17). Informator UA. October 12, 2023.
<https://informator.ua/uk/microsoft-vbuduye-shtuchniy-intelekt-u-svoji-ofisni-programi-detali> (in Ukrainian).
 20. Skov, A. (2023). The Digital Competence Wheel. October 12, 2023.
<https://digital-competence.eu>.
 21. UNESCO. AI and education: Guidance for policy-makers. (2021). October 12, 2023.
<https://doi.org/10.54675/PCSP7350>
 22. Fengchun Miao на LinkedIn: A proposed AI competency framework for teachers to test initial. (2023). October 12, 2023.
https://www.linkedin.com/posts/fengchun-miao-5b999077_a-proposed-ai-competency-framework-for-teachers-activity-7096128261931327488-K_pM.
 23. Morse, N.V., Vasylenko, S.V., Varchenko-Trotsenko, L. O., Vember, V. P., Boyko, M. A., Vorotnikova, I. P., Smirnova-Trybulska, Y.M. & Dziabenko, O.V. (2021). Innovative pedagogical methods in the digital age: study guide, Kyiv: "Ruta Printing House" LLC. October 12, 2023.
<https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/35888> (in Ukrainian).
 24. Vorotnykova, I. (2022). Distance and blended learning as a means of realizing the individual trajectory of a teacher's professional growth. Kyiv: Borys Grinchenko Kuiv University. October 12, 2023.
<https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/41018>. (in Ukrainian).
 25. AI for Teachers, An Open Textbook: About this book. (2023). AI for Teachers, An Open Textbook: Edition 1. October 12, 2023.
<https://www.ai4t.eu/book/ai-for-teachers-an-open-textbook-version-1-english/about-this-book>
 26. Van Vaerenbergh, S., & Pérez-Suay, A. (2022). A Classification of Artificial Intelligence Systems for Mathematics Education. In P. R. Richard, M. P. Vélez, & S. Van Vaerenbergh (Eds.), Mathematics Education in the Age of Artificial Intelligence: How Artificial Intelligence can Serve Mathematical Human Learning (pp. 89–106). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86909-0_5.
 27. Garvis, S., & Keane, T. (2023). A Literature Review of Educational Robotics and Early Childhood Education. In S. Garvis & T. Keane (Eds.), Technological Innovations in Education (pp. 71–83). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2785-2_6.
 28. Smith, C., & Gillespie, M. (2023). Research on Professional Development and Teacher Change: Implications for Adult Basic Education. In J. Comings, B. Garner, & C. Smith, Review of Adult Learning and Literacy, Volume 7 (1st ed., pp. 205–244). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003417996-7>.
 29. University of Virginia, Lebovitz, S., Levina, N., New York University, Lifshitz-Assa, H., & New York University. (2021). Is AI Ground Truth Really True? The Dangers of

- Training and Evaluating AI Tools Based on Experts' Know-What. *MIS Quarterly*, 45(3), 1501–1526. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2021/16564>
30. Verganti, R., Vendraminelli, L., & Iansiti, M. (2020). Innovation and Design in the Age of Artificial Intelligence. *Journal of Product Innovation Management*, 37(3), 212–227. <https://doi.org/10.1111/jpim.12523>