

УДК378:[(004+51)+004.8]  
DOI: 10.31652/2412-1142-2025-78-222-238

**Клочко Оксана Віталіївна**

доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри математики та інформатики,  
Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського,  
м. Вінниця, Україна  
ORCID ID: 0000-0002-6505-9455  
*klochkoob@gmail.com*

**Спажев Олександр Миколайович**

аспірант кафедри цифрових технологій і професійної освіти,  
Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського,  
м. Вінниця, Україна  
ORCID ID: 0000-0002-6505-9455  
*o.spazhev@gmail.com*

## **РОЗВИТОК КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ МАЙБУТНІХ ВЧИТЕЛІВ ІНФОРМАТИКИ У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ РОБОТОТЕХНІКИ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

**Анотація.** У статті досліджено напрями розвитку критичного мислення майбутніх вчителів інформатики у процесі навчання робототехніки із використанням технологій штучного інтелекту. В процесі перетворень в системі освіти, зокрема в її STEM-моделі, що зумовлені суспільним замовленням на створення та використання цифрових технологій, особливо актуальним постає питання формування здатності педагогів критично мислити, приймати обґрунтовані рішення та усвідомлено застосовувати інтелектуальні технології у професійній діяльності. На основі аналізу законодавчих актів, наукових досліджень за 2020–2025 рр. було з'ясовано, що інтеграція штучного інтелекту та робототехніки в освітньому процесі сприяє розвитку критичного мислення, когнітивних навичок, творчого й системного мислення здобувачів освіти. Робототехніка розглядається як STEM-освіти, що забезпечує інтеграцію теоретичних знань, інженерного підходу та технологій штучного інтелекту для розвитку критичного мислення. У межах дослідження проведено кластерний аналіз наукових праць, представлених у базі Scopus за ключовими словами «Critical Thinking», «Artificial Intelligence», «Robotics», «Education» із використанням системи VOSviewer.

Результати дослідження підтверджують, що сучасна підготовка майбутніх учителів інформатики повинна ґрунтуватись на нейроорієнтованій, проєктній та контекстно збагаченій моделі освіти. Отримані результати надали можливість виокремити ключові тенденції розвитку сучасних педагогічних практик: взаємозв'язок між технологіями штучного інтелекту, робототехнікою та формуванням ключових навичок XXI століття; окреслення ролі Інтернету речей та великих даних у розбудові освітнього середовища Індустрії 4.0; формування критичного мислення в процесі проєктної діяльності з розробки робототехнічних засобів; забезпечення взаємовпливу соціальних і технологічних процесів у контексті роботизації та машинного навчання. Розвиток критичного мислення забезпечується не лише технічним опануванням інструментів штучного інтелекту та робототехніки, а й інтеграцією знань когнітивної психології, педагогіки та інженерії. У статті обґрунтовано те, що критичне мислення у професійній діяльності вчителя інформатики проявляється у здатності оцінювати достовірність даних, виявляти причинно-наслідкові зв'язки, прогнозувати наслідки використання технологій та приймати етичні рішення в умовах цифрового суспільства. Ключовими стратегіями формування критичного мислення на даному етапі визначено нейрокогнітивну та проєктну стратегію, стратегію технологічної інтеграції й ресурсного забезпечення, а також стратегію контекстуалізації та розвитку соціально-професійних компетентностей. Отримані результати можуть бути науково-методичною основою для модернізації освітніх програм та впровадження інноваційних стратегій розвитку критичного мислення майбутніх вчителів інформатики засобами робототехніки із використанням штучного інтелекту.

**Ключові слова:** критичне мислення; робототехніка; штучний інтелект; STEM; нейроорієнтоване навчання; майбутні вчителі інформатики; вища освіта; професійна освіта; середня освіта.

## 1. ВСТУП

В Українській освітній системі, яка завжди відкрита для інновацій, одним із сучасних ключових напрямків є розвиток критичного мислення із використанням технологій штучного інтелекту. Відповідно до напрямку вектора розвитку даної системи відбуваються інноваційні зміни в усіх освітніх галузях [1, 2, 3, 4, 5]. В умовах таких змін перебуває й STEM-модель освіти [5], зокрема під впливом штучного інтелекту. Вказані вище зміни орієнтовані на вирішення поставлених завдань, спрямованих на розвиток критичного мислення, креативності, навичок співпраці у здобувачів освіти.

Критичне мислення є однією з ключових компетентностей для фахівця будь-якої галузі, а особливо для вчителя інформатики, який має бути здатним мислити критично, творчо та системно. Майбутні педагоги повинні не лише вміти користуватися новими інструментами, але й аналізувати їхній потенціал, оцінювати ризики та приймати обґрунтовані рішення щодо їхнього впровадження в освітній процес [6, 7]. Інтеграція робототехніки та штучного інтелекту в процесі підготовки вчителів інформатики відкриває нові ефективні методології формування цієї життєво важливої навички [8]. Для майбутніх учителів інформатики це означає не лише опанування технічних засобів, а й розвиток когнітивних умінь аналізу, оцінювання та прогнозування результатів застосування інтелектуальних технологій [1, 6, 10].

Робототехніка, як інтегративний напрям STEM-освіти, в свою чергу, виступає потужним засобом розвитку критичного мислення, оскільки передбачає постановку проблем, інженерний підхід, роботу з інформатичними моделями, пошук оптимальних рішень, зокрема, й з використанням засобів штучного інтелекту, тощо.

В дослідженні А. Мусундіре (A. Musundire), з'ясовано перешкоди, що можуть бути наявними на шляху інтеграції освітньої робототехніки та штучного інтелекту, такі як обмежений доступ до ресурсів, невідповідна підготовка вчителів та проблеми з інфраструктурою [11]. Водночас, в роботі підкреслено потенційні переваги такого підходу, зокрема потенціал для розвитку критичного мислення, креативності та навичок студентів вирішувати проблеми. В роботі наголошено на важливості використання конструктивістських та культурно-релевантних педагогічних підходів, скоординованих зусиль урядів та освітніх установ для подолання різного роду викликів через удосконалення навчальних програм підготовки вчителів [11].

Автори А. С. Азар, Т. Еліас, М. Мутманна та С. Керл (A. S. Azar, T. Elyas, M. Muthmainnah, S. Curle) дослідили та проаналізували результати запровадження підходу до поєднання штучного інтелекту та робототехніки в навчальному процесі, розглядаючи таку систему як основу реалізації освітніх можливостей, виходячи за межі традиційних підходів до викладання дисциплін. [12]. За допомогою міждисциплінарного аналізу розвитку навчальних програм на основі робототехніки вони виявили синергію, яка не лише підвищує результати навчання, але й сприяє досягненню цілей сталого розвитку. В роботі основний акцент зроблено на унікальному поєднанні гуманітарних наук та технічних досліджень, показуючи, як інтеграція креативного та проблемного підходів створює нові шляхи для впровадження інновацій, розвитку критичного мислення, сталого розвитку [12]. У дослідженні підкреслюється, що розширення можливостей вчителів для використання потенціалу керованої штучним інтелектом робототехніки є ефективним у процесі реалізації цих освітніх інновацій.

Дослідження Б. Рой, С. Гхош, П. Рой, С. К. Саркар та Н. Р. Чоудхурі (B. Roy, S. Ghosh, P. Roy, S. K. Sarkar, N. R. Choudhury) також присвячене інтеграції робототехніки та штучного інтелекту в освітні практики, визначенні їхніх переваг та викликів [13]. Автори наголошують на позитивному впливі цих технологій STEM-освіти на розвиток критичного мислення та підвищення залученості студентів. Однак, серед перешкод на даному шляху виділено високу вартість технічного й програмного забезпечення, необхідність у технічній підтримці та ризики зменшення часу живого спілкування [13]. Для подолання цих проблем та забезпечення успішного впровадження цих технологій в освітній процес автори надають

рекомендації, які включають залучення грантів, формування партнерських відносин з різними підприємствами та організаціями. В дослідженні також наголошується на потребі в безперервному професійному розвитку вчителів, необхідності подальшого розвитку технологій (як-от блокчейн та віртуальна/доповнена реальність) для адаптивного навчання, а також важливості захисту даних в навчальних цифрових середовищах [13].

М. М. Піньейро та В. Сантос (M. M. Pinheiro, V. Santos) праналізували можливості інтеграції робототехніки та штучного інтелекту у навчальні програми, підкреслюючи їхню необхідність для підготовки студентів XXI століття [Pinheiro, Santos, 2025]. У дослідженні комплексно розглянуто ці освітні інновації з точки зору цілей сталого розвитку, зокрема забезпечення загального доступу до якісної освіти для всіх, вивчено їхній потенціал для покращення викладання та навчання [14]. Автори дослідили як ці технології сприяють розвитку критичного мислення та навичок вирішення проблем на всіх рівнях освіти, від дитячого садка до вищої освіти [14]. Значна увага ними приділялась питанням безперервної підготовки викладачів та важливості міждисциплінарної співпраці для успішного впровадження цих інновацій.

Науковий пошук Ó. Бедоя-Кано, Ж.-А. Марін-Марін та Ж. Лопес-Бельмонте (Ó. Bedoya-Cano, J.-A. Marín-Marín, J. López-Belmonte) був зосереджений на вивченні розглянутих вище питань, тобто інтеграції цифрових технологій (зокрема робототехніки та штучного інтелекту) у STEM-освіту, підкреслюючи їхню важливість для розвитку навичок, необхідних для Індустрії 4.0 та Освіти 4.0. Автори вказують на ефективність використання доступних платформ, таких як Arduino, що надає можливість студентам займатися практичними проєктами, наприклад, створювати робота-дослідника з датчиком вологості для симуляції пошуку води [15]. В роботі продемонстровано, як впровадження штучного інтелекту може суттєво розширити можливості робототехнічних засобів, підвищуючи їхню автономність і здатність до прийняття рішень. Автори рекомендують використовувати такі технології машинного навчання, – як навчання з підкріпленням та кореляція даних з кількох датчиків [15]. Крім того, наголошується на потенціалі соціальної робототехніки для підвищення активної «співпраці» між студентами та роботизованими системами. Дослідниками підкреслено, що освітня робототехніка та штучний інтелект є необхідними інструментами для підготовки студентів до цифрового майбутнього, використання яких може сприяти підвищенню рівня сформованості аналітичних та практичних навичок, спрямованих на вирішення проблем.

Дослідження Дж. Гензе, К. Шатц, С. Малік та А. Бресгес (J. Henze, C. Schatz, S. Malik, A. Bresges) присвячене розробці, тестуванню та оцінці інноваційного педагогічного концепту, спрямованого на розвиток компетентностей 4К (Креативність, Співпраця, Комунікація та Критичне мислення) у семикласників. Автори створили концепцію, яка інтегрує STEM-підхід (з акцентом на науці та мистецтві), цифрові технології (робототехніку, кодування та штучний інтелект) та цілі сталого розвитку, використовуючи їх в якості засобів для вирішення глобальних викликів [16]. Даний концептуальний підхід ґрунтується на моделі 5E (BSCS) (Залучення (Engage), Дослідження (Explore), Пояснення (Explain), Узагальнення/Поглиблення (Elaborate), Оцінювання (Evaluate)). До цих п'яти компонентів автори додали шосту компоненту Обміну (Exchange). Результати дослідження показали, що розширена модель 5E за допомогою додаткового шостого етапу Обміну (Exchange) досвідом добре підходить для реалізації STEM-проєктів у класі за допомогою цифрових інструментів [16]. Дослідниками також проаналізовано можливості сприйняття цього підходу вчителями, адаптації його до конкретних умов, а також те, як це змінило їхні погляди на роль цифрових технологій в освіті.

Таким чином, науковцями розглянуто широкий спектр різних аспектів інтеграції штучного інтелекту та робототехніки в освіту, підкреслено їхню роль у модернізації навчальних програм та підготовці студентів до викликів XXI століття. Дослідники вказують на те, що ці технології можуть сприяти розвитку критичного мислення, а також інших

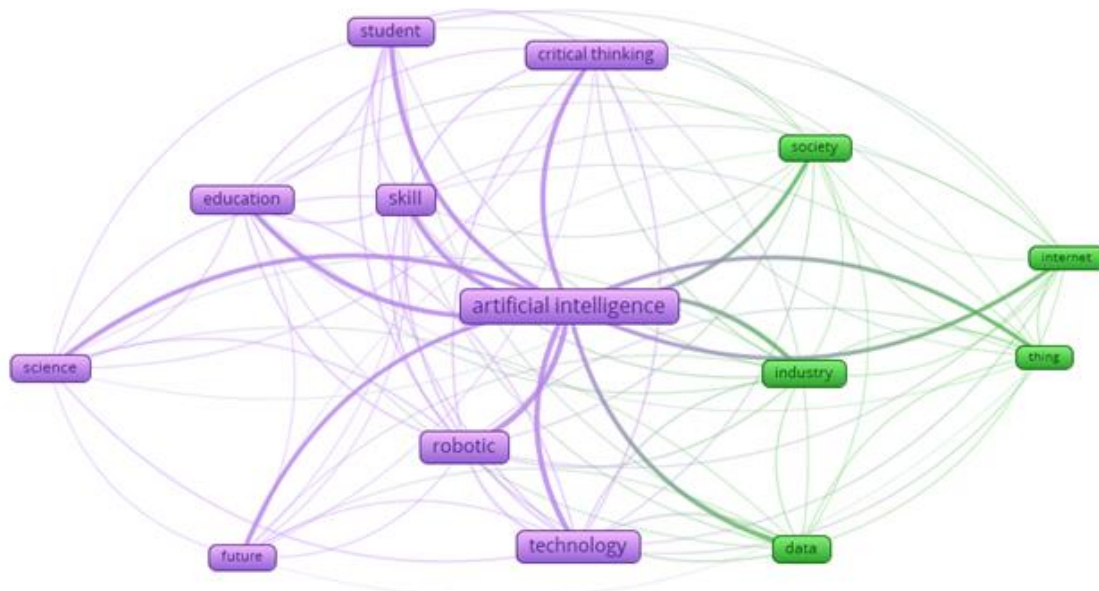
ключових навичок, таких як креативність та вирішення проблем, тощо. Проте, незважаючи на велику кількість праць науковців, присвячених проблемі розвитку критичного мислення, залишається недостатньо дослідженим питання визначення педагогічних стратегій, методологій які б стосувались саме розвитку критичного мислення майбутніх вчителів інформатики у процесі навчання робототехніки із використанням технологій штучного інтелекту. Автори розглянутих нами досліджень більше зосереджуються на впровадженні різних цифрових технологій, міждисциплінарній інтеграції (наприклад, робототехніки, математики, програмування) та проблемах підготовки вчителів чи наявністю програмного та технічного забезпечення. В роботах не були досліджені питання як саме використання штучного інтелекту та робототехніки у навчанні майбутніх вчителів інформатики може впливати процес формування критичного мислення.

Враховуючи викладене вище, *метою* дослідження є пошук стратегій розвитку критичного мислення майбутніх вчителів інформатики у процесі навчання робототехніки із використанням технологій штучного інтелекту.

## 2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Під час дослідження питання визначення стратегій розвитку критичного мислення майбутніх вчителів інформатики під час навчання робототехніки із використанням технологій штучного інтелекту був проведений кластерний аналіз на основі змісту праць науковців за 2020-2025 роки. Задля визначення напрямків розвитку критичного мислення студентів у цій сфері були відібрані праці дослідників, розміщені в наукометричній базі Scopus [17], за ключовими словами «Critical Thinking», «Artificial intelligence», «Robotics» та «Education». Кластеризація проводилась в системі VOSviewer [18] зі встановленими параметрами «Binary counting» (Рисунок 1) та «Full Counting» (Рис. 2).

На Рис. 1 представлено два кластери токенів, отримані на основі праць науковців з урахуванням спільного використання ключових слів «Critical Thinking», «Artificial intelligence», «Robotics» та «Education» з використанням алгоритму бінарного підрахунку екземплярів даних.



**Рис. 1.** Карта карта кластерів термінів, розроблена на основі спільного використання термінів «Critical Thinking», «Artificial intelligence», «Robotics» та «Education» з 2020 року по 2025 рік, встановленим параметром «Binary counting»

(Розроблено автором в системі VOSviewer [18] на основі праць науковців, розміщених в наукометричній базі Elsevier's Scopus database [17].)

Нами були визначені вказані нижче кластери, що характеризують основні напрямки досліджень науковців за 2020-2025 роки.

Вміст Кластера 1.1 характеризуємо як стратегію досліджень науковців – «Освіта майбутнього» (штучний інтелект, робототехніка та розвиток критичного мислення). Елементи кластера виділені на рисунку фіолетовим кольором. Дослідження характеризують зв'язки освіти, технологій майбутнього та навичок, необхідних для опанування цих технологій. Кластер 1.1 складається з 9 об'єктів, основний його фокус – це майбутнє освіти та вплив технологій, зокрема штучного інтелекту та робототехніки, на формування ключових навичок студентів (як-от критичне мислення). Кластер відображає важливий науковий освітній напрям підготовки студентів до реалій майбутнього, в якому будуть інтенсивно розроблятися та використовуватися цифрові технології. Основний акцент досліджень робиться на тому, як наука та новітні технології (штучний інтелект та робототехніка) трансформують освіту та яких навичок (насамперед, критичне мислення) повинні набути студенти, щоб бути успішними на ринку праці майбутнього.

Також можна виділити основні тематичні сегменти Кластера 1.1:

1. Майбутнє та технології. Терміни кластера сфокусовані на інноваційних та прогностичних аспектах освітнього процесу, пов'язаних з сучасними технологіями: future (майбутнє), artificial intelligence (штучний інтелект), robotic (робототехніка), technology (технологія).

2. Освіта та наука. Елементи кластера вказують безпосередньо на освітньо-науковий напрям застосування технологій та набуття студентами знань: education (освіта), student (студент), science (наука).

3. Ключові навички. Об'єкти кластера характеризують пріоритетність розвитку конкретних когнітивних здатностей (критичного мислення), необхідних для майбутніх фахівців: critical thinking (критичне мислення), skill (навичка).

Вміст Кластера 1.2 можна охарактеризувати як «Цифрове суспільство та індустрія» (суспільство, промисловість, інтернет речей). Об'єкти кластера представлені на рисунку зеленим кольором. Дослідження науковців, які представлені у даному кластері, сфокусовані використанні всесвітньої мережі Інтернет, технології Інтернету речей та їх впливі на економіку та соціум. Цей кластер складається з 5 елементів, але його терміни відображають ключові компоненти сучасного цифрового середовища та Індустрії 4.0, зосереджуючись на взаємодії технологій та соціуму. Кластер описує екосистему, в якій функціонують сучасна людина та освіта. Це середовище характеризується великим обсягом даних, що передаються через Інтернет, взаємодією між фізичними об'єктами (thing – річ) і застосуванням цих технологій як у виробничій сфері (industry – індустрія), так і в суспільстві. Вміст кластера характеризує середовище, в якому відбуваються всі інші, більш спеціалізовані процеси (наприклад, процес освіти).

Тематичними сегментами кластера є:

1. Цифровий технологічний вимір. Він визначається поєднанням термінів «Internet» (Інтернет), «thing» (річ) та «data» (дані) та представляє технології Інтернету речей (IoT) та управління великими даними.

2. Соціально-економічний вимір. Він характеризується використанням термінів, окреслюють широке застосування технологій – в індустрії та в житті людей: industry (індустрія), society (суспільство).

Проаналізуємо результати кластеризації екземплярів даних, отриманих на основі вмісту праць науковців, відібраних за ключовими словами «Critical Thinking», «Artificial intelligence», «Robotics» та «Education». Для отримання даних було використаний алгоритм повного підрахунку екземплярів даних. Згідно з результатами кластеризації було сформовано 4 кластери (Рисунок 2).

Тематику робіт Кластеру 2.1 можна визначити як «Студентоцентроване STEM-навчання» (студент, освітня робототехніка, математика, розвиток обчислювального



Основні тематичні сегмента кластера є такими:

1. Технології та автоматизація. Терміни даного сегмента кластера представляють використання складних автономних систем та технологій штучного інтелекту, що імітують або доповнюють людські функції: «robot» (робот), «humanoid robot» (гуманоїдний робот), «machine» (машина), «machine learning» (машинне навчання).

2. Людський та соціальний фактори. Тематична зона кластера окреслює централізацію ролі людини та соціального контексту взаємодії з технологіями штучного інтелекту та робототехнічними засобами: «human» (людина), «person» (особа), «society» (суспільство).

3. Контекст застосування технологій. Термін сегмента кластера «industry» (індустрія/промисловість) вказує на сектор економіки як на основне середовище для застосування технологій.

Наступний Кластер 2.3 «Інтеграція цифрових технологій Четвертої промислової революції в університетську освіту», позначений на Рисунку 2 фіолетовим кольором. Він складається з 5 елементів. Об'єкти кластера демонструють зв'язок між університетським освітнім середовищем та інтеграцією ключових цифрових технологій Індустрії 4.0. Вмість Кластера 2.3 відображає необхідність адаптації університетів до вимог Четвертої промислової революції. Основний акцент в даному кластері зроблено на інтеграції ключових цифрових технологій, зокрема Інтернету речей (IoT), в освітні та дослідницькі процеси вищої школи. Метою такої інтеграції є підготовка фахівців, які відповідатимуть потребам Індустрії 4.0.

Відповідно до отриманих результатів виділяємо ключові тематичні зони кластера:

1. Технології та економіка. Вмість зони кластера окреслює сучасну технологічну основу, що трансформує економіку та промисловість: «fourth industrial revolution» (Четверта промислова революція, або Індустрія 4.0), «digital technology» (цифрова технологія), «iot» (IoT, Інтернет речей).

2. Інтеграція технологій в університетську освіту. Зона кластера сфокусована на процесі впровадження (інтеграції) згаданих вище технологій у систему вищої освіти: university (університет), integration (інтеграція).

Окремо виділено Кластер 2.4, що представляє «Ресурсне забезпечення» (освітні, технологічні та людські ресурси). Він складається лише з одного елемента «resource» (ресурс). На Рисунку 2 кластер позначений жовтим кольором. Вміст кластера вказує на необхідність наявності відповідних засобів, які потрібно використовувати в освітній, науковій чи виробничій діяльності. У контексті, в якому представлені інші кластери (освіта, технології, розвиток та ін.), цей термін виступає як ключовий загальний фактор, необхідний для реалізації освітніх, технологічних або промислових процесів. Даний ключовий аспект – ресурси, – може стосуватися освітніх ресурсів (підручники, навчальні матеріали, платформи), технологічних ресурсів (обладнання, програмне забезпечення), людських ресурсів (вчителі та фахівці інших галузей). Оскільки це єдиний термін в кластері 2.4, він слугує загальною категорією в наукових дослідженнях, представлених в інших кластерах. Він підкреслює необхідність наявності відповідних засобів для успішної інтеграції технологій, розвитку навичок, реалізації навчальних програм.

Узагальнюючи аналіз термінів, згрупованих у кластери, які були відібрані на основі праць науковців, розміщених в наукометричній базі Scopus, при спільному використанні термінів «Critical Thinking», «Artificial intelligence», «Robotics» та «Education» з 2020 року по 2025 рік, відповідно до тематики дослідження можемо зробити висновок про те, що підготовка майбутніх вчителів інформатики потребує переходу до нейроорієнтованої, проєктної та практико-орієнтованої моделі освіти. В якій розвиток критичного мислення досягається не лише технічним навчанням робототехніки та штучному інтелекту, а й через інтеграцію наукових знань про когнітивні процеси з практичними інноваційними завданнями, орієнтованими на вирішення соціальних та економічних викликів цифрової епохи.

Критичне мислення являє собою інтегровану здатність індивідуума до цілеспрямованого аналізу даних, виведення логічних висновків, перевірки достовірності фактів та прийняття обґрунтованих рішень. Відповідно, в процесі професійної підготовки вчителя інформатики критичне мислення охоплює такі вміння:

- оцінювати достовірність даних, отриманих з різних джерел;
- аналізувати продуктивність алгоритмів та інших програмних рішень;
- виявляти логічні помилки в кодах чи структурах даних;
- прогнозувати наслідки впровадження ІТ-технологій у освітній процес;
- та ін.

Викладання робототехніки сприяє розвитку цих компетентностей завдяки роботі над міждисциплінарними завданнями, які поєднують інформатику, фізику, математику, інженерію та штучний інтелект.

Навчання робототехніки передбачає проектно-дослідницьку діяльність, під час якої студенти формулюють гіпотези, перевіряють їх експериментально та вдосконалюють продукти навчальної діяльності на основі аналізу результатів. Робота із робототехнічними засобами, такими як Arduino, BBC micro:bit, LEGO Mindstorms, Raspberry Pi або іншими, надає можливість створювати навчальні проекти – від автоматизації простих процесів до моделювання інтелектуальних систем [19, 20, 21, 22, 23]. Ключовими чинниками розвитку критичного мислення у цьому процесі є:

- постановка відкритих проблемних завдань, що мають кілька варіантів розв’язання;
- аналітична рефлексія власних рішень й алгоритмів;
- командна взаємодія, в процесі якої відбувається обмін ідеями, аргументація позицій, оцінка результатів колег;
- та ін.

Використання штучного інтелекту у навчанні робототехніки відкриває нові можливості для формування критичного мислення. Зокрема, використання в проектній діяльності таких інструментів, як TensorFlow, OpenCV, Teachable Machine, ChatGPT або Google Gemini [24, 25], надасть можливості студентам створювати моделі розпізнавання зображень, мовлення та жестів, програмувати адаптивні алгоритми поведінки роботів, аналізувати етичні та безпекові аспекти застосування штучного інтелекту, моделювати процес прийняття рішень на основі даних (data-driven decision-making (DDDM)). Такі проекти потребують глибокого розуміння принципів функціонування штучного інтелекту, перевірки достовірності результатів й критичного осмислення обмежень моделей, що є стимулом аналітичної діяльності студентів.

Наведемо приклад завдання на тему управління рухом робота, що демонструє використання штучного інтелекту у навчанні робототехніці. В даному завданні інтегровано засоби комп’ютерного зору (Python та OpenCV) з Arduino (Tinkercad) через монітор порту Serial [26, 27, 28, 29]. Його метою є навчити студентів поєднувати симуляцію Arduino в Tinkercad із Python-програмою в іншому програмному середовищі, а саме використовувати штучний інтелект (розпізнавання кольору) для управління роботом та відпрацювання зв’язку між штучним інтелектом (реалізованим на програмному рівні з використанням мови Python) та робототехнічною апаратною частиною (Arduino). Для виконання завдання необхідний такий інструментарій: зареєстрований акаунт у Tinkercad; схема Arduino Uno та світлодіод (для імітації руху робота); середовище Python 3.x, бібліотеки OpenCV, cv2, serial.

На першому етапі завдання студенти створюють в середовищі Tinkercad схему з використанням плати Arduino UNO та світлодіоду, підключеного до 13 піна (через резистор 220 Ом), пишуть код (Рисунок 3). З використанням коду, представленого на рисунку 3, реалізовується можливість очікування введення команди через Serial: команда «GO» вмикає світлодіод (робот «їде»); команда «STOP» вимикає світлодіод (робот «зупиняється»).

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  pinMode(13, OUTPUT);  
}  
  
void loop() {  
  if (Serial.available() > 0) {  
    String cmd = Serial.readStringUntil('\n');  
    cmd.trim();  
  
    if (cmd == "GO") {  
      digitalWrite(13, HIGH);  
    }  
    else if (cmd == "STOP") {  
      digitalWrite(13, LOW);  
    }  
  }  
}
```

Рис. 3. Код, що реалізує процес очікування введення команди через Serial: «GO» або «STOP»

На наступному етапі в середовищі Python з OpenCV студенти створюють код (Рисунок 4), який захоплює відео з вебкамери розпізнає червоний або зелений колір та відправляє в середовище Arduino (Tinkercad) команду «STOP» або команду «GO» через Serial.

Таким чином, якщо сигнал на камері розпізнається як червоний, у Arduino в Tinkercad по Serial надсилається команда «STOP» – світлодіод гасне, інакше надсилається команда «GO» – світлодіод світиться. Оскільки світлодіод є індикатором руху, то відповідно робот рухається або зупиняється. В усіх інших випадках зміни у поведінці робота не відбуваються.

Серед педагогічних умов, які спрямовані на забезпечення ефективного розвитку критичного мислення майбутніх учителів інформатики з інтегрованим використанням засобів робототехніки та штучного інтелекту, доцільно виділити такі:

1. Проєктне навчання. Наприклад, виконання командних STEM-проєктів.
2. Рефлексивно-аналітична діяльність, пов'язана з оцінюванням власних рішень, моделюванням альтернативних підходів.
3. Використання навчальних кейсів із проблемними ситуаціями, що потребують застосування штучного інтелекту.
4. Створення відповідного цифрового освітнього середовища із забезпеченням доступу до симуляторів, віртуальних лабораторій, платформ машинного навчання.

Навчання робототехніки виступає стимулятором розвитку критичного мислення, оскільки за своєю природою потребує його застосування. Це може відбуватись в процесі:

1. Аналізу проблеми та постановки завдання. Наприклад, студенти визначають, що саме повинен робити робот, та за необхідності розділяють складні завдання на менші частини.
2. Проєктування та програмування. Наприклад, студенти повинні обрати оптимальний алгоритм, структуру програми та компоненти робота, що потребує оцінювання альтернатив і логічного обґрунтування свого вибору.
3. Тестування та налагодження. Наприклад, створений робот з першого разу може працювати не ідеально. Процес пошуку та виправлення помилок являє собою цикл «гіпотеза–експеримент–аналіз результату–корекція», що є своєрідною квінтесенцією критичного мислення.

```

import cv2
import serial
import time

arduino = serial.Serial('COM3', 9600)
time.sleep(2)

cap = cv2.VideoCapture(0)

while True:
    ret, frame = cap.read()
    if not ret:
        break

    hsv = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)

    lower_red = (0, 120, 70)
    upper_red = (10, 255, 255)
    mask = cv2.inRange(hsv, lower_red, upper_red)

    if mask.sum() > 50000:
        print("STOP")
        arduino.write(b"STOP\n")
    else:
        print("GO")
        arduino.write(b"GO\n")

    cv2.imshow("Frame", frame)
    cv2.imshow("Mask", mask)

    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
        break

cap.release()
arduino.close()
cv2.destroyAllWindows()

```

**Рис. 4.** Код, що надає можливість захопити відео з вебкамери та розпізнати червоний або зелений кольори, та відправляє в середовище Arduino (Tinkercad) команду «STOP» або команду «GO» через Serial.

В процесі розробки робототехнічних засобів з використанням технологій штучного інтелекту відбувається перетворення абстрактних концепцій програмування на «матеріальні» результати, що є результатом творчого підходу до вирішення завдань та формує/удосконалює навички студентів розв'язувати складні проблеми.

Також технології штучного інтелекту (наприклад, генеративний штучний інтелект, машинний зір, IoT, тощо), що впроваджені на базі робототехнічних засобів, можуть бути використані у підготовці майбутніх вчителів інформатики двома основними способами, – як об'єкт вивчення та як інструмент навчання.

Використання студентами штучного інтелекту (як об'єкта критичного аналізу) інтегративно з робототехнічними засобами, спонукає їх до потреби розуміти не лише механізми роботи штучного інтелекту, але й усвідомлювати соціальні, етичні та освітні наслідки такого використання [30]. Зважаючи на сказане вище, виділяємо такі напрямки розвитку критичного мислення:

1. Оцінювання достовірності та упередженості. Наприклад, аналіз того, як дані, на яких навчається штучний інтелект, можуть впливати на генеровані результати, та визначення потенційних алгоритмічних упереджень.

2. Етичне міркування. Наприклад, розгляд питань конфіденційності даних, авторського права та відповідальності при використанні штучного інтелекту в освітньому процесі.

3. Оцінка ефективності та доцільності. Наприклад, критичне осмислення студентом тих випадків, коли застосування штучного інтелекту є виправданим й корисним, а коли краще використовувати інші методи, спираючись на власний досвід.

Інтеграція штучного інтелекту в освітню робототехніку надає можливості створення студентами більш складних прикладних навчальних проєктів, що потребує глибшого критичного аналізу. Наприклад:

1. Створення роботів з машинним зором. Студенти програмують робота, щоб він міг «бачити/сприймати» та «інтерпретувати» навколишнє середовище (наприклад, розпізнавати об'єкти, слідувати лінії). Це потребує критичної оцінки точності моделей штучного інтелекту та їхнього відповідного налаштування.

2. Проєкти з використання глибокого навчання (Deep Learning). Створення роботів, які навчаються виконувати завдання (наприклад, орієнтуватися у лабіринті). Студенти повинні критично аналізувати параметри навчання робота та оптимізувати моделі для досягнення найкращих результатів.

3. Використання генеративного штучного інтелекту (наприклад, ChatGPT). Майбутні вчителі інформатики можуть використовувати інструменти штучного інтелекту для генерації стартового коду або ідей для проєкту з робототехніки. Однак, розвиток критичного мислення відбувається, наприклад, на етапі, коли студенти повинні перевірити, доповнити, адаптувати та обґрунтувати запропоноване штучним інтелектом рішення, а не «сліпо» його використовувати («сліпо» довіряти). Дослідження показують, що свідоме управління студентами процесом роботи зі штучним інтелектом та перевірки інформації, що надходить із зовнішніх джерел, розвиває критичне мислення.

Звісно, роль викладача у такому процесі розширюється, він виступає як ментор, фасилітатор на шляху розвитку критичного мислення майбутніх вчителів інформатики (Таблиця 1). Основний виклик полягає в тому, щоб навчити майбутніх вчителів інформатики використовувати штучний інтелект для розвитку «власного» критичного мислення, а не для його аутсорсингу. Оптимальне впровадження штучного інтелекту в освітній процес забезпечує когнітивне навантаження (управління процесом, перевірку), а не когнітивне розвантаження («сліпа» довіра).

Таким чином, на основі викладеного вище, можна виділити три ключові інтегровані стратегії, необхідні для ефективного розвитку критичного мислення майбутніх вчителів інформатики у процесі навчання робототехніки із використанням технологій штучного інтелекту. Ці стратегії відображають комплексний підхід, який поєднує інноваційну педагогіку, нейрокогнітивні основи та технології Індустрії 4.0.

1. *Нейрокогнітивна та проєктна стратегія (розвиток критичного мислення).* Стратегія спрямована на використання науково-обґрунтованих методів для цілеспрямованого розвитку у студентів складних когнітивних навичок критично мислити. Вона передбачає цілеспрямований його розвиток, наприклад, активне застосування принципів нейроосвіти та нейродидактики, що ґрунтуються на розумінні мозкової активності студентів, для оптимізації навчального процесу. А також інтеграцію навичок, наприклад, роботу над розвитком критичного мислення та обчислювального мислення (computational thinking), які є взаємодоповнюючими навичками, необхідними для програмування та аналізу результатів роботи робототехнічних систем із використанням штучного інтелекту. Проєктний та інноваційний підходи полягають у використанні освітньої робототехніки та реалізації проєктної діяльності як основного педагогічного методу. Це стимулює креативність, але потребує застосування науково обґрунтованих підходів для розв'язання проблем.

2. *Технологічна інтеграція та ресурсне забезпечення.* Стратегія охоплює питання впровадження новітніх технологій в освітнє середовище університету з метою відповідності вимогам Четвертої промислової революції. Інтеграція індустрії 4.0 у навчальні програми та педагогічну практику потребує відповідного програмного, технічного та інтелектуального забезпечення технологій, зокрема штучного інтелекту, інтернету речей (IoT) та робототехніки. Це надасть можливість майбутнім вчителям працювати з сучасними робототехнічними системами. Технологічна інтеграція в освітній сфері передбачає розвиток

цифрової компетентності студентів, наприклад, опанування відповідних інструментів (в контексті даного дослідження), для отримання нових знань, ефективної роботи з великими потоками даних, застосовуючи при цьому критичне мислення. Ресурсне планування на даному шляху розвитку критичного мислення студентів необхідне для забезпечення відповідними ресурсами, як технологічними (доступ до обладнання та платформ штучного інтелекту), так і кадрами (підвищення кваліфікації викладачів).

Таблиця 1

**Ролі викладача у формуванні критичного мислення майбутніх вчителів інформатики у процесі навчання робототехніки із використанням технологій штучного інтелекту.**

Аспект критичного мислення	Роль викладача	Приклади завдань
<i>Аналіз і оцінка даних</i>	Створення завдань із суперечливими вхідними даними, що потребують перевірки.	Аналіз двох різних моделей штучного інтелекту для одного робота, які дають різні результати (наприклад, розпізнавання обличчя).
<i>Обґрунтування та прийняття рішень</i>	Створення завдань на письмове чи усне обґрунтування вибору алгоритму штучного інтелекту, компонента штучного інтелекту чи методу машинного навчання.	Потрібно обґрунтувати «Чому для цього завдання було обрано алгоритм А замість алгоритму Б та які етичні ризики пов'язані з використанням даних».
<i>Рефлексія та самокорекція</i>	Організація обговорень результатів, заохочення самооцінювання та визначення «слабких місць» у проекті.	Проведення «аналізу результатів / рефлексії за підсумками / ретроспективного аналізу/оцінки ефективності» (post-mortem analysis) проекту зі створення робототехнічного засобу, який зазнав невдачі, зосередившись на критичних помилках.

3. *Контекстуалізація та розвиток соціально-професійної компетентності.* Дана стратегія сфокусована на широкому соціальному та професійному контексті середовища, в якому функціонуватиме майбутній вчитель інформатики. В соціально-етичному ракурсі розглядається взаємодія людини, суспільства та розумних машин, включно з гуманоїдними роботами, роботу яких забезпечують технології машинного навчання. Критичне мислення на даному шляху необхідне для аналізу змісту та етичних аспектів використання інтелектуальних засобів робототехніки. Необхідним на даному напрямку є формування м'яких навичок соціалізації, зокрема, розвиток толерантності, комунікативної компетентності уміння працювати в команді. Ці якості є критично важливими для вчителя та для розуміння впливу технологій на людське життя. Важливою соціально-професійною компетентністю є здатність орієнтації на майбутнє, зокрема, безперервне підвищення кваліфікації відповідно до трендів й вимог майбутнього, що гарантує міжнародну релевантність професійної підготовки майбутніх вчителів інформатики.

Таким чином, успішна підготовка майбутніх вчителів інформатики потребує переходу до нейроорієнтованої, проєктної та контекстуально-насиченої моделі освіти, що передбачає розвиток критичного мислення, який відбувається не лише в процесі безпосередньо «технічного» навчання студентів робототехніки із використанням штучного інтелекту, а й через глибоку інтеграцію наукових знань про когнітивні процеси з практичними інноваційними завданнями, орієнтованими на вирішення соціальних та економічних викликів цифрової епохи.

### 3. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розвиток критичного мислення майбутніх учителів інформатики є ключовою умовою їхньої готовності до професійної діяльності в умовах цифрового суспільства. Інтеграція

навчання робототехніки з технологіями штучного інтелекту сприяє формуванню вміння аналізувати дані, оцінювати алгоритми, прогнозувати результати та приймати обґрунтовані рішення. Такий підхід не лише підвищує ефективність підготовки майбутніх педагогів, а й формує в них культуру відповідального використання інтелектуальних технологій.

Проведене дослідження підтверджує необхідність цілеспрямованого розвитку критичного мислення у професійній підготовці майбутніх вчителів інформатики, що відповідає вимогам Четвертої промислової революції та модернізаційним векторам української STEM-освіти. В умовах, коли штучний інтелект та робототехніка стають невіддільною частиною навчального процесу та професійної діяльності, критичне мислення є ключовою метакомпетентністю, що надає можливість педагогу не лише ефективно використовувати новітні інструменти, але й здійснювати усвідомлений, етично обґрунтований вибір освітніх методів та рішень. Інтеграція робототехніки та технологій штучного інтелекту як міждисциплінарної проєктно-дослідницької діяльності, як об'єкта вивчення та інструмента критичного аналізу, виступає потужним каталізатором для формування вмінь аналізувати достовірність даних, оцінювати продуктивність алгоритмів, виявляти логічні помилки та прогнозувати наслідки впровадження інтелектуальних систем. Основним моментом, що відрізняє ефективну інтеграцію, є перехід від когнітивного розвантаження, викликаного «сліпою» довірою до систем штучного інтелекту, до когнітивного навантаження, при якому студенти свідомо управляють процесом, перевіряють, адаптують та обґрунтовують генеровані рішення.

Ключовими стратегіями розвитку критичного мислення на даному шляху визначаємо нейрокогнітивну та проєктну стратегії, стратегії технологічної інтеграції та ресурсного забезпечення та стратегію контекстуалізації та розвитку соціально-професійних компетентностей.

Згідно з аналізом публікацій науковців, зокрема, проведеним на їх основі кластерним аналізом термінів, зазначаємо, що отримані тематичні кластери відображують процес формування критичного мислення, який охоплює «Освіту Майбутнього», «Штучний Інтелект», «Робототехніку» та «Обчислювальне Мислення». Це підтверджує те, що світова наукова спільнота визнає інтегративний підхід як один з основних у підготовці фахівців цифрової епохи. Визначені педагогічні умови, зокрема, проєктне навчання на засадах STEM, забезпечення рефлексивно-аналітичної діяльності студентів, проєктного навчання, що потребують застосування технологій штучного інтелекту, є основою для побудови нейроорієнтованої та практично-орієнтованої моделі підготовки майбутніх вчителів інформатики.

Розвиток критичного мислення майбутніх вчителів інформатики через навчання робототехніки із використанням технологій штучного інтелекту є актуальним імперативом сучасної освіти. Цей інтегрований підхід забезпечує практичний контекст для застосування знань, потребує систематичного аналізу та прийняття обґрунтування рішень, і, що найважливіше, готує вчителів до відповідального та етичного впровадження високотехнологічних інструментів у свою майбутню педагогічну практику. Підготовка вчителів, які критично осмислюють технології, – це запорука успіху наступних поколінь учнів в епоху штучного інтелекту.

Перспективи подальших розвідок у цьому напрямку можуть бути спрямовані на забезпечення емпіричної бази дослідження, розробку методичного інструментарію тощо. Насамперед, існує потреба у валідації інструментів оцінювання критичного мислення, які були б адаптовані для аналізу рішень, прийнятих у процесі роботи над керованими штучним інтелектом робототехнічними проєктами (наприклад, оцінка якості обґрунтування вибору алгоритму машинного навчання чи критичної оцінки його упередженості). Ще одним напрямком досліджень може бути розробка та тестування педагогічних моделей, що представляють процеси взаємодії майбутнього вчителя з генеративним штучним інтелектом під час розробки проєктів. Подальші дослідження також можуть бути зосереджені на нейро-

педагогічному аспекті, визначенні як саме робота студента зі штучним інтелектом впливає на його когнітивні функції, а також на питаннях трансферу критичного мислення, що розвивається на базі використання робототехніки та штучного інтелекту, до інших педагогічних та професійних ситуацій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Fedorets, V. M., Klochko, O. V., Tverdokhlib, I. A., & Sharyhin, O. A. (2024). Cognitive aspects of interaction in the “Human—Artificial Intelligence” system. In *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 2871, No. 1, p. 012023. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1742-6596/2871/1/012023.
- [2] Гуревич, Р., Лазаренко, Н., & Жовнич, Л. (2021). Цифровізація сучасної освіти: виклики, можливості, напрями, ризики. Цифрова компетентність сучасного вчителя нової української школи: 2021 (Подолання викликів у період карантину, спричиненого COVID-19) : зб. матеріалів всеукр.наук.-практ.семінару (Київ, 2 березня 2021 р.) / за заг.ред. О.В. Овчарук. Київ: Інститут інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України. С. 43-46. URL: [https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/724632/3/digital\\_competence\\_2021.pdf](https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/724632/3/digital_competence_2021.pdf).
- [3] Державний стандарт базової середньої освіти. (2020). URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-deyaki-pitannya-derzhavnihstandartiv-rovnoyi-zagalnoyi-serednoyi-osviti-i300920-898>.
- [4] Державний стандарт профільної середньої освіти. (2024). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/851-2024-p#Text>.
- [5] Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти). (2021). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-p#Text>.
- [6] Клочко, О. (2024). Розвиток критичного мислення майбутніх вчителів інформатики та математики з використанням засобів штучного інтелекту. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, 72, 14-26. DOI: 10.31652/2412-1142-2024-72-14-26.
- [7] Коломієць А., Жовнич О. (2024). Можливості штучного інтелекту як інноваційної педагогічної технології. *Освіта для цифрової трансформації суспільства. Edukacja dla cyfrowej transformacji społeczeństwa. Education for digital transformation of society* : монографія. У 2 т. Т. 1 ; за наук. ред. В. Кременя, Н. Ничкало, Л. Лук'янової, Н. Лазаренко. Київ : ТОВ «Юрка Любченка». С. 260-270. URL: <https://dspace.vspu.edu.ua/items/2a5cb31f-3942-48d0-b8c1-f7c3c1f73b1d>.
- [8] Spazhev, O. M., & Klochko, O. V. (2025). Using artificial intelligence tools for automating the assessment of future computer science teachers' work. *Educational Dimension*, 12, 1-13. DOI: <https://doi.org/10.55056/ed.801>.
- [9] Vasyly Fedorets, Oksana Klochko, Vitalii Klochko, Oleksandr Sharyhin. (2025). Neuronal aspects of using the creative potential of art in STEM education. *Digital Transformation of Education: Challenges and Prospects* : Monograph / Institute of Pedagogy of NAES of Ukraine; ed.: O. Topuzov, M. Holovko, I. Tverdokhlib, Z. Sharlovych, K. Ladonia. – [Electronic edition]. Lomza – Kyiv. 344 с. <https://doi.org/10.32405/mono-lomza-kyiv-2025>. Pp 231-247.
- [10] Клочко О.В. Методична система навчання студентів геоінформаційним технологіям. *Вісник Луганського національного університету імені Т.Г. Шевченка*. № 17 (204). Серія: педагогічні науки: Збірник. Луганськ: ЛНУ, 2010. С. 40-50.
- [11] Musundire, A. (2025). Integrating educational robotics and artificial intelligence with African educational perspectives in science, technology, engineering, and mathematics: Challenges and opportunities. In *Innovations in Educational Robotics Advancing AI for Sustainable Development*. Pp. 129–155. DOI: 10.4018/979-8-3693-6165-8.ch007.
- [12] Azar, A. S., Elyas, T., Muthmainnah, M., & Curle, S. (Eds.). (2025). *Innovations in educational robotics: Advancing AI for sustainable development*. URL: <https://igiprodst.blob.core.windows.net/ancillary-files/d7d64195-9372-4260-af0c-5f878474055f.pdf>.
- [13] Roy, B., Ghosh, S., Roy, P., Sarkar, S. K., & Choudhury, N. R. (2025). Digital technologies in education: AI, robotics, and generational challenges or opportunities. In *Impacts of digital technologies across generations*. Pp. 41–64. DOI: 10.4018/979-8-3693-6366-9.ch003.
- [14] Pinheiro, M. M., & Santos, V. (2025). Integrating Computational Thinking and Artificial Intelligence into Mathematics Education: A Pathway for the 21st-Century. In *Communications in Computer and Information Science*, Vol. 2479 CCIS, pp. 82-92. DOI: 10.1007/978-3-032-02675-0\_7.
- [15] Bedoya-Cano, Ó., Marín-Marín, J.-A., & López-Belmonte, J. (2025). Integrating Arduino and Artificial Intelligence in STEM Education. In *Studies in Computational Intelligence*. Vol. 1194, Pp. 149–165. DOI: 10.1007/978-3-031-82915-4\_7.
- [16] Henze, J., Schatz, C., Malik, S., & Bresges, A. (2022). How Might We Raise Interest in Robotics, Coding, Artificial Intelligence, STEAM and Sustainable Development in University and On-the-Job Teacher Training? *Frontiers in Education*, 7, Article 872637. DOI: 10.3389/feduc.2022.872637.
- [17] VOSviewer. (2025). Visualizing scientific landscapes. Centre for Science and Technology Studies, Leiden University, The Netherlands. URL: <https://www.vosviewer.com/>.
- [18] Elsevier B.V. (2025). Scopus. URL: <https://www.scopus.com/>.

- [19] Arduino.ua: Контроллер Arduino Uno Rev3 (оригінал, Італія) A000066. (2025). URL: <https://arduino.ua/prod32-arduino-uno-rev3-a000066>.
- [20] BBC micro:bit. (2025). URL: <https://microbit.org/>.
- [21] Arduino. (2025). URL: <https://www.arduino.cc/>.
- [22] LEGO® MINDSTORMS®. (2025). URL: <https://www.lego.com/>.
- [23] Raspberry Pi. (2025). URL: <https://www.raspberrypi.com/>.
- [24] OpenAI: ChatGPT. (2025). URL: <https://chatgpt.com/>.
- [25] Google AI: Google Gemini. (2025). URL: <https://gemini.google.com/>.
- [26] Tinkercad. (2025). URL: <https://www.tinkercad.com/>.
- [27] Python Software Foundation: Python. (2025). URL: <https://www.python.org/>.
- [28] OpenCV. (2025). URL: <https://opencv.org/>.
- [29] Arduino: Serial. (2025). <https://docs.arduino.cc/language-reference/en/functions/communication/serial/>.
- [30] Maesschalck, S. (2024). Critical thinking: The code to crack computer science education. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 23, Article 13. URL: <https://doi.org/10.28945/5387>.

## DEVELOPMENT OF CRITICAL THINKING OF FUTURE COMPUTER SCIENCE TEACHERS IN THE PROCESS OF LEARNING ROBOTICS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

### Klochko Oksana Vitaliivna

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,  
Professor of the Department of Mathematics and Informatics,  
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,  
Vinnytsia, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-6505-9455  
[klochkoob@gmail.com](mailto:klochkoob@gmail.com)

### Spazhev Oleksandr Mykolaiovych

Postgraduate student of the Department of Innovation and Information Technologies in Education,  
Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University,  
Vinnytsia, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-6505-9455  
[o.spazhev@gmail.com](mailto:o.spazhev@gmail.com)

**Abstract.** The article explores strategies for developing critical thinking among future computer science teachers in the process of learning robotics using artificial intelligence (AI) technologies. In the context of digital transformation of education and the modernization of the STEM learning model, special importance is given to forming educators' ability to critically analyze data, make informed decisions, and consciously apply intelligent technologies in their professional activities. Based on the analysis of regulatory documents and scientific studies (2020–2025), it is determined that the integration of artificial intelligence and robotics contributes to the development of critical thinking, cognitive abilities, creativity, and systemic thinking among students. Robotics is viewed as a powerful integrative tool of STEM education that combines theoretical knowledge, engineering approaches, and artificial intelligence to foster critical thinking.

Within the framework of the study, a cluster analysis of scientific papers indexed in the Scopus database by the keywords «Critical Thinking», «Artificial Intelligence», «Robotics», and «Education» was conducted using the VOSviewer system.

The research findings confirm that the modern training of future computer science teachers should be based on a neuro-oriented, project-based, and context-enriched educational model. The obtained results made it possible to identify key trends in the development of contemporary pedagogical practices: the interrelation between artificial intelligence technologies, robotics, and the formation of key 21st-century skills; the role of the Internet of Things and Big Data in shaping the educational environment of Industry 4.0; the development of critical thinking through project-based activities in designing robotic systems; and the interaction between social and technological processes in the context of automation and machine learning. The development of critical thinking is ensured not only through the technical mastery of AI and robotics tools but also through the integration of knowledge from cognitive psychology, pedagogy, and engineering. The article substantiates that critical thinking in the professional activity of computer science teachers is manifested in their ability to assess data reliability, identify cause-and-effect relationships, predict the consequences of technology use, and make ethical decisions in a digital society. The key strategies for developing critical thinking at this stage are defined as the neurocognitive and project-based strategy, the strategy of technological integration and resource support, and the strategy of

contextualization and development of socio-professional competences. The results obtained provide a scientific and methodological foundation for modernizing educational programs and implementing innovative strategies for developing critical thinking among future teachers through the use of robotics and artificial intelligence.

**Keywords:** critical thinking; robotics; artificial intelligence; future computer science teachers; STEM education; neuro-oriented learning; higher education; professional education; secondary education.

## References (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- [1] Fedorets, V. M., Klochko, O. V., Tverdokhlib, I. A., & Sharyhin, O. A. (2024). Cognitive aspects of interaction in the “Human—Artificial Intelligence” system. In *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 2871, No. 1, p. 012023. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1742-6596/2871/1/012023.
- [2] Hurevych, R., Lazarenko, N., & Zhovnych, L. (2021). Tsyfrovizatsiia suchasnoi osvity: vyklyky, mozhlyvosti, napriamy, ryzyky [Digitalization of modern education: challenges, opportunities, directions, risks]. *Tsyfrova kompetentnist suchasnoho vchytelia novoi ukrainskoi shkoly: 2021 (Podolannia vyklykiv u period karantynu, sprychynenoho COVID-19) : zb.materialiv vseukr.nauk.-prakt.seminaru (Kyiv, 2 bereznia 2021 r.) / za zah.red. O.V. Ovcharuk*. Kyiv: Instytut informatsiinykh tekhnolohii i zasobiv navchannia NAPN Ukrainy. C. 43-46. URL: [https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/724632/3/digital\\_competence\\_2021.pdf](https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/724632/3/digital_competence_2021.pdf).
- [3] Derzhavnyi standart bazovoi serednoi osvity [State Standard of Basic Secondary Education]. (2020). URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-deyaki-pitannya-derzhavnihstandarti-v-povnoyi-zagalnoyi-serednoyi-osviti-i300920-898>.
- [4] Derzhavnyi standart profilnoi serednoi osvity [State Standard of Profile Secondary Education]. (2024). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/851-2024-p#Text>.
- [5] Kontseptsiiia rozvytku pryrodnycho-matematychnoi osvity (STEM-osvity) [Concept of the Development of Natural Science and Mathematics Education (STEM Education)]. (2021). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-p#Text>.
- [6] Klochko, O. (2024). Development of critical thinking of future teachers of computer science and mathematics using artificial intelligence tools. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, 72, 14-26. DOI: 10.31652/2412-1142-2024-72-14-26.
- [7] Kolomiets A., Zhovnych O. (2024). Mozhlyvosti shtuchnoho intelektu yak innovatsiinoi pedahohichnoi tekhnolohii [Opportunities of Artificial Intelligence as an Innovative Pedagogical Technology]. *Osvita dlia tsyfrovoi transformatsii suspilstva. Edukacja dla cyfrowejtransformacji społeczeństwa. Education for digital transformation of society : monohrafiia. U 2 t. T. 1 ; za nauk. red. V. Kremenia, N. Nychkalo, L. Lukianovoi, N. Lazarenko*. Kyiv: TOV «Jurka Liubchenka». P. 260-270. URI: <https://dspace.vspu.edu.ua/items/2a5cb31f-3942-48d0-b8c1-f7c3c1f73b1d>.
- [8] Spazhev, O. M., & Klochko, O. V. (2025). Using artificial intelligence tools for automating the assessment of future computer science teachers' work. *Educational Dimension*, 12, 1-13. DOI: <https://doi.org/10.55056/ed.801>.
- [9] Vasyi Fedorets, Oksana Klochko, Vitalii Klochko, Oleksandr Sharyhin. (2025). Neuronal aspects of using the creative potential of art in STEM education. *Digital Transformation of Education: Challenges and Prospects : Monograph / Institute of Pedagogy of NAES of Ukraine; ed.: O. Topuzov, M. Holovko, I. Tverdokhlib, Z. Sharlovych, K. Ladonia*. [Electronic edition]. Lomza – Kyiv. 344 p. <https://doi.org/10.32405/mono-lomza-kyiv-2025>. Pp 231-247.
- [10] Klochko O.V. *Metodychna systema navchannia studentiv heoinformatsiinykh tekhnolohiiam [Methodological system of teaching students geoinformation technologies]*. *Visnyk Luhanskoho natsionalnogo universytetu imeni T.H. Shevchenka. № 17 (204). Serii: pedahohichni nauky: Zbirnyk. Luhansk: LNU, 2010. P. 40-50.*
- [11] Musundire, A. (2025). Integrating educational robotics and artificial intelligence with African educational perspectives in science, technology, engineering, and mathematics: Challenges and opportunities. In *Innovations in Educational Robotics Advancing AI for Sustainable Development*. Pp. 129–155. DOI: 10.4018/979-8-3693-6165-8.ch007.
- [12] Azar, A. S., Elyas, T., Muthmainnah, M., & Curle, S. (Eds.). (2025). *Innovations in educational robotics: Advancing AI for sustainable development*. URL: <https://igiprodst.blob.core.windows.net/ancillary-files/d7d64195-9372-4260-af0c-5f878474055f.pdf>.
- [13] Roy, B., Ghosh, S., Roy, P., Sarkar, S. K., & Choudhury, N. R. (2025). Digital technologies in education: AI, robotics, and generational challenges or opportunities. In *Impacts of digital technologies across generations*. Pp. 41–64. DOI: 10.4018/979-8-3693-6366-9.ch003.
- [14] Pinheiro, M. M., & Santos, V. (2025). Integrating Computational Thinking and Artificial Intelligence into Mathematics Education: A Pathway for the 21st-Century. In *Communications in Computer and Information Science*, Vol. 2479 CCIS, pp. 82-92. DOI: 10.1007/978-3-032-02675-0\_7.
- [15] Bedoya-Cano, Ó., Marín-Marín, J.-A., & López-Belmonte, J. (2025). Integrating Arduino and Artificial Intelligence in STEM Education. In *Studies in Computational Intelligence*. Vol. 1194, Pp. 149–165. DOI: 10.1007/978-3-031-82915-4\_7.

- [16] Henze, J., Schatz, C., Malik, S., & Bresges, A. (2022). How Might We Raise Interest in Robotics, Coding, Artificial Intelligence, STEAM and Sustainable Development in University and On-the-Job Teacher Training? *Frontiers in Education*, 7, Article 872637. DOI: 10.3389/educ.2022.872637.
- [17] VOSviewer. (2025). Visualizing scientific landscapes. Centre for Science and Technology Studies, Leiden University, The Netherlands. URL: <https://www.vosviewer.com/>.
- [18] Elsevier B.V. (2025). Scopus. URL: <https://www.scopus.com/>.
- [19] Arduino.ua: Контроллер Arduino Uno Rev3 (оригінал, Італія) A000066. (2025). URL: <https://arduino.ua/prod32-arduino-uno-rev3-a000066>.
- [20] BBC micro:bit. (2025). URL: <https://microbit.org/>.
- [21] Arduino. (2025). URL: <https://www.arduino.cc/>.
- [22] LEGO® MINDSTORMS®. (2025). URL: <https://www.lego.com/>.
- [23] Raspberry Pi. (2025). URL: <https://www.raspberrypi.com/>.
- [24] OpenAI: ChatGPT. (2025). <https://chatgpt.com/>.
- [25] Google AI: Google Gemini. (2025). <https://gemini.google.com/>.
- [26] Tinkercad. (2025). URL: <https://www.tinkercad.com/>.
- [27] Python Software Foundation: Python. (2025). URL: <https://www.python.org/>.
- [28] OpenCV. (2025). URL: <https://opencv.org/>.
- [29] Arduino: Serial. (2025). <https://docs.arduino.cc/language-reference/en/functions/communication/serial/>.
- [30] Maesschalck, S. (2024). Critical thinking: The code to crack computer science education. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 23, Article 13. URL: <https://doi.org/10.28945/5387>

Надійшла до редакції / Received: 09.09.2025

Схвалено до друку / Accepted: 14.10.2025

УДК 378.147.091.33:004.9]:005.8:37

DOI: 10.31652/2412-1142-2025-77-238-248

**Кобися Ігор Володимирович**

здобувач наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 015 Професійна освіта (за спеціалізаціями),  
Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського,

м. Вінниця, Україна

ORCID ID: 0009-0004-4049-8162

*kobysia.igor@vspu.edu.ua*

## ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ ПЕДАГОГІВ ПРОФЕСІЙНОГО НАВЧАННЯ ДО ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ ОСВІТНИМИ ПРОЄКТАМИ

**Анотація.** У статті розглянуто сутність поняття «управління освітніми проєктами», охарактеризовано сучасні підходи до розуміння і реалізації управлінської діяльності в проєктній технології навчання. Проаналізовано структуру і зміст цифрової компетентності педагога на основі Digital Competence of Educators, Глобальної рамкової рекомендації щодо навичок цифрової грамотності, що діють у Європейському Союзі та національних нормативних документів: професійного стандарту «Вчитель закладу загальної середньої освіти» та професійного стандарту «Педагог професійного навчання». Встановлено, що визначені міжнародними і національними нормативними документами компетентності забезпечуються оволодінням технологією проєктного навчання з використанням цифрових технологій, тому у підготовці майбутніх педагогів звертається особлива увага на формування вмінь і навичок організації і здійснення освітніх проєктів. Підсилюється необхідність таких компетентностей вимогами Нової української школи, де з початкових класів передбачено вивчення навчальних предметів у вигляді освітніх проєктів. Установлено, що формування у майбутніх педагогів компетентностей з організації та керування проєктною діяльністю передбачає не лише засвоєння теоретичних знань, а й розвиток практичних умінь, необхідних для планування, реалізації та оцінювання результатів освітніх проєктів у професійній діяльності. Визначено, що цифрові технології створюють широкі можливості для ефективної реалізації кожного етапу проєктного циклу – від ініціації до завершення. Проаналізовано можливості використання Google TasksBoard для проєктування і планування роботи здобувачів освіти в телекомунікаційних освітніх проєктах. Встановлено, що програма