

<https://doi.org/10.26565/2074-8922-2026-86-14>

УДК (UDC): 378.017:159.955-021.412.1]:[378.018.8:37.011.3-051:54]:004.8-044.247](045)

О. В. КОЧУБЕЙ¹, доктор філософії,
викладач кафедри біології та хімії

e-mail: sncelelena@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5047-6694>

С. В. СОВГІРА¹, доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри біології та хімії

e-mail: sovgirasvitlana@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8742-7773>

¹Уманський національний університет,
вул. Садова, 2, м. Умань, Україна

ФОРМУВАННЯ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ ЯК КЛЮЧОВОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ХІМІЇ ЗАСОБАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Мета. Обґрунтувати проблеми формування критичного мислення майбутніх учителів хімії в умовах упровадження штучного інтелекту в освітньому процесі закладів вищої педагогічної освіти.

Методи. Дослідження проводилося на базі закладів вищої педагогічної освіти за участю 87 здобувачів бакалаврського рівня вищої освіти за освітньою програмою «Середня освіта (Хімія)». Для збору емпіричних даних використовувався комплекс методів: авторське анкетування за опитувальником «Критичне мислення майбутнього вчителя хімії в умовах використання штучного інтелекту» (24 запитання, шкала Лікерта 1-5 балів); педагогічне спостереження за діяльністю здобувачів під час розв'язування ситуаційно-методичних задач з хімії із залученням ШІ-інструментів; контент-аналіз навчальних продуктів (конспекти уроків, дидактичні матеріали, аналітичні есе); експертне оцінювання за картою з чотирма критеріями. Експеримент охоплював констатувальний і формувальний етапи.

Результати. На констатувальному етапі встановлено, що 24,7 % здобувачів регулярно використовують ШІ-інструменти (ChatGPT, Gemini, Copilot) у навчальній діяльності, однак лише 7,4 % систематично верифікують достовірність ШІ-згенерованого хімічного контенту. Виявлено три стратегії взаємодії здобувачів зі ШІ: «некритичне копіювання» (32,1 %), «часткова верифікація» (44,8 %) та «критичний аналіз» (23,1 %). У 38,4 % навчальних продуктів зафіксовано хімічно некоректний контент, зокрема помилки в хімічних рівняннях, формулах і поясненнях механізмів реакцій. Середній показник якості критичного аналізу ШІ-згенерованого контенту за експертною оцінкою становив 2,1 бала з 5. Після впровадження педагогічних умов на формувальному етапі зафіксовано суттєву позитивну динаміку: частка здобувачів зі стратегією «критичного аналізу» зросла з 23,1 % до 54,3 %; середній показник якості критичного аналізу підвищився з 2,1 до 3,9 бала; частка хімічно некоректних навчальних продуктів скоротилася з 38,4 % до 12,6 %; кількість здобувачів, переконаних у необхідності верифікації ШІ-контенту, зросла з 16,7 % до 23,3 %.

Висновки. Встановлено, що ефективне формування критичного мислення майбутніх учителів хімії в умовах інтеграції ШІ забезпечується сукупністю таких нововведень: цілеспрямоване включення завдань на критичний аналіз ШІ-згенерованого хімічного контенту в систему методичної підготовки; систематичне використання ситуаційно-методичних задач з хімії у взаємодії зі ШІ-інструментами; формування усвідомленого розуміння типових помилок ШІ в хімічному контексті; розвиток рефлексивної культури використання ШІ як інструменту професійної педагогічної діяльності. Результати дослідження доводять, що реалізація визначених нововведень забезпечує якісну зміну характеру взаємодії майбутніх учителів хімії зі ШІ - від некритичного відтворення згенерованого контенту до його усвідомленого, науково обґрунтованого використання в освітній практиці.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: критичне мислення, майбутні вчителі хімії, штучний інтелект, ситуаційно-методичні задачі, згенерований контент, підготовка вчителів, цифровізація освіти, методична підготовка.



Як цитувати: Кочубей О. В., Совгіра С. В. Формування критичного мислення як ключової компетентності майбутніх учителів хімії засобами штучного інтелекту. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. 2026. Вип. 86. С. 179-189. <https://doi.org/10.26565/2074-8922-2026-86-14>

In cites: Kochubei O. V., Sovhira S. V. (2026). Formation of critical thinking as a key competence of future chemistry teachers using artificial intelligence. *Problems of Engineering Pedagogic Education*, (86), 179-189. <https://doi.org/10.26565/2074-8922-2026-86-14> (in Ukrainian)

Вступ

Сучасний освітній простір зазнає стрімких трансформацій під впливом цифровізації та активного впровадження технологій штучного інтелекту (ШІ). Глобальна інтеграція ШІ в усі сфери людської діяльності спричинила кардинальну зміну освітніх парадигм, сформувавши нові, більш вимогливі стандарти до фахової підготовки педагогічних кадрів. Одним із ключових викликів для системи вищої освіти стає необхідність підготовки майбутніх учителів, здатних не лише ефективно використовувати нові технологічні інструменти, а й зберігати здатність до критичного аналізу, оцінювання та усвідомленого застосування інформації в умовах її надлишку. В епоху, коли алгоритми генерують тексти, розв'язують задачі та моделюють хімічні структури, здатність учителя мислити критично - перевіряти, аргументувати, сумніватися й ухвалювати обґрунтовані рішення - набуває принципово нового значення. Це стосується передусім учителів хімії, для яких аналітичне мислення, доказовість суджень, науковий скептицизм та вміння розрізнати достовірну й недостовірну інформацію є не лише професійними, а й особистісними якостями. Критичне мислення як педагогічна категорія перебуває в центрі уваги науковців уже не одне десятиліття. Воно традиційно розглядається як усвідомлене використання когнітивних стратегій, що містять аналіз, синтез та оцінювання інформації на основі логіки, рефлексії та діалогу. У контексті підготовки майбутніх учителів хімії критичне мислення є інтегральною характеристикою фахової компетентності, що забезпечує його здатність до самостійної пізнавальної діяльності, формування наукового світогляду учнів та організації дослідницького навчання. Проте стрімке поширення ШІ-технологій суттєво ускладнює традиційні підходи до розвитку

цієї якості: з одного боку, ШІ пропонує потужні інструменти для підтримки пізнавальних процесів, з іншого - створює реальні ризики заміщення самостійного мислення автоматизованими відповідями.

Питання застосування штучного інтелекту в освітньому процесі активно досліджується як у вітчизняній науці А. Андрощук, О. Малюга [1], Р. Гуревич та ін. [4], О. Кисельова [5], О. Ключко [6], В. Ковальчук та ін. [7], А. Коломієць, О. Кушнір [8], Л. Куцак [9], В. Уманець та ін. [10], так і в зарубіжній F. Almasri [11], R. Blonder, Y. Feldman-Maggor [12], S. Erduran, O. Levrini [13], Y. Feldman-Maggor et al. [14], B. Yildirim, A. Akcan [15].

Зазначені дослідження засвідчують, що ШІ відкриває широкі можливості для персоналізації навчання, автоматизації оцінювання, адаптивної побудови освітніх траєкторій та підтримки творчої й дослідницької діяльності студентів. Інтелектуальні навчальні системи здатні аналізувати дані про успішність і стиль навчання кожного студента, забезпечуючи динамічну адаптацію навчального контенту до його поточного рівня знань [7]. Використання генеративного ШІ, великих мовних моделей, уможлиблює прискорення пошуку та систематизацію наукових джерел, підтримку написання академічних текстів і підготовку навчально-методичних матеріалів, що особливо актуально для студентів педагогічних спеціальностей [1; 9].

Водночас поряд із перевагами науковці фіксують і суттєві ризики: формування залежності від автоматизованих рішень, зниження рівня критичного мислення, порушення академічної доброчесності та когнітивне перевантаження здобувачів освіти [4; 8]. А. Коломієць та О. Кушнір наголошують, що використання ШІ в підготовці майбутніх педагогів потребує чіткого балансу між перевагами інноваційних

технологій та ризиками, пов'язаними з їх некритичним застосуванням [8]. Л. Куцак акцентує на тому, що провідним завданням сучасної вищої освіти є не просто ознайомлення студентів із ШІ-інструментами, а формування культури їх відповідального та критично осмисленого використання [9].

Аналіз зазначених вище досліджень свідчить про те, що науковці все активніше звертаються до пошуку ефективних моделей підготовки педагогів до роботи із засобами ШІ. О. Клочко досліджує розвиток критичного мислення майбутніх учителів засобами ШІ та доводить, що переважна більшість здобувачів використовує або планує використовувати ШІ-інструменти в освітньому процесі, застосовуючи навички критичного аналізу [6]. Дослідниця обґрунтовує необхідні компоненти критичного мислення у взаємодії зі ШІ-системами: здатність до логічного аналізу проблем, розпізнавання упереджень алгоритмічно згенерованого контенту, перевірку фактів і верифікацію джерел. В. Уманець, І. Шахіна та Б. Розпутня обґрунтовують систему підготовки майбутніх учителів до використання ШІ-технологій, наголошуючи на необхідності формування технічних, педагогічних та етико-правових компетентностей як взаємопов'язаних складників єдиної професійної готовності [10]. В. Ковальчук, Д. Корчевський та Д. Буряк пропонують модель AI-TPACK, яка передбачає інтеграцію інструментального, дидактичного та компетентнісного підходів для розвитку критичного мислення й вищих когнітивних навичок майбутніх учителів [7].

Важливою складовою аналізованої проблеми є специфіка методичної підготовки майбутніх учителів хімії. О. Блащук та Т. Вороненко розкривають потенціал задачного підходу у формуванні методичної компетентності вчителя хімії, зазначаючи, що розв'язування ситуаційно-методичних задач є ефективним засобом розвитку критичного та аналітичного мислення студентів [2]. Н. Грицай та О. Попельницька обстоюють дослідницький підхід у методичній підготовці майбутніх учителів природничих наук, доводячи, що формування дослідницьких умінь нерозривно пов'язане

з розвитком критичного мислення як базової пізнавальної компетентності [3]. О. Кисельова досліджує впровадження проектного навчання із застосуванням ШІ та констатує, що використання ШІ в проектній діяльності сприяє підвищенню мотивації студентів, посиленню їхньої самостійності та розвитку критичного мислення [5].

У зарубіжній науковій літературі проблема інтеграції ШІ в природничу та хімічну освіту також перебуває в центрі активної наукової дискусії. F. Almasri на основі систематичного огляду емпіричних досліджень констатує трансформаційний вплив ШІ на результати навчання в природничих науках та визначає виклики, пов'язані з критичним оцінюванням ШІ-згенерованого контенту [11]. В. Yildirim та А. Аксан розробили модель професійного розвитку вчителів хімії на основі ШІ та обґрунтували її ефективність для формування предметних, методичних і технологічних компетентностей [15]. Y. Feldman-Maggor зі співавторами наголошують на визначальній ролі технологічно-педагогічних предметних знань (TPACK) для відповідального та критичного застосування генеративного ШІ у хімічній освіті [14]. R. Blonder та Y. Feldman-Maggor акцентують на необхідності формування у вчителів навичок критичної оцінки достовірності ШІ-згенерованого контенту, зазначаючи, що педагоги мають усвідомлювати ризики «галюцинацій» ШІ та систематично верифікувати отримані дані [12]. S. Erduran та O. Levirini розглядають вплив ШІ на наукові практики як новітній напрям досліджень у галузі освіти з природничих наук та вказують на необхідність переосмислення підходів до навчання в умовах, коли ШІ стає активним учасником наукового процесу [13].

Узагальнення результатів аналізу вітчизняних і зарубіжних наукових джерел дозволяє констатувати, що проблема формування критичного мислення майбутніх учителів хімії в умовах інтеграції ШІ перебуває на перетині кількох актуальних науково-педагогічних напрямів: методики навчання хімії, теорії педагогічної освіти, цифрової педагогіки та етики використання ШІ. Попри значну кількість наукових розвідок, присвячених

окремим аспектам окресленої проблеми, цілісна педагогічна модель формування критичного мислення саме майбутніх учителів хімії - з урахуванням специфіки предметної підготовки та вимог до науковості педагогічної діяльності - залишається недостатньо розробленою.

Методика

Об'єктом дослідження є процес професійної підготовки майбутніх учителів хімії в закладах вищої педагогічної освіти України. Дослідження проводилося на базі педагогічних університетів, у яких здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти за освітньою програмою «Середня освіта (Хімія)». До участі в дослідженні були залучені 87 здобувачів бакалаврського рівня вищої освіти, які вивчали дисципліни методичного циклу та мали досвід використання ШІ-інструментів у навчальній діяльності.

Експеримент проводився у два етапи. На констатувальному етапі здійснювалося діагностування вихідного рівня сформованості критичного мислення майбутніх учителів хімії та виявлення особливостей їхньої взаємодії зі ШІ-системами в освітньому процесі. На формуальному етапі впроваджувалися нововведення, спрямовані на розвиток критичного мислення студентів засобами ШІ в процесі вивчення методичних дисциплін хімічного профілю.

Для збору та аналізу емпіричних даних використовувався комплекс аналітичних методів.

Анкетування здобувачів здійснювалося за допомогою авторського опитувальника «Критичне мислення майбутнього вчителя хімії в умовах використання штучного інтелекту», який містив 24 запитання, згруповані у три блоки: 1) досвід використання ШІ-інструментів (ChatGPT, Gemini, Copilot) у освітній діяльності; 2) здатність до критичної оцінки ШІ-згенерованого хімічного контенту (перевірка фактів, виявлення помилок у хімічних формулах, рівняннях реакцій, поясненнях механізмів); 3) рефлексія власної пізнавальної діяльності під час взаємодії зі ШІ-системами. Відповіді фіксувалися за шкалою Лікерта (1-5 балів).

Педагогічне спостереження

Зазначені прогалини зумовлюють актуальність і практичну значущість пропонованого дослідження.

Мета статті: обґрунтувати умови для формування критичного мислення майбутніх учителів хімії засобами штучного інтелекту.

проводилося під час виконання здобувачами ситуаційно-методичних задач з хімії [2], зокрема завдань на: розробку фрагментів уроків хімії з використанням ШІ-асистентів; критичний аналіз ШІ-згенерованих пояснень хімічних явищ і процесів; виявлення фактичних помилок у відповідях ChatGPT на запитання хімічного змісту. Спостереження фіксувалося за спеціально розробленим протоколом із визначеними індикаторами критичного мислення.

Контент-аналіз навчальних продуктів охоплював оцінювання розроблених здобувачами: конспектів уроків хімії, створених із залученням генеративного ШІ та критично відредагованих здобувачами; аналітичних есе на тему «Переваги та ризики використання ШІ у навчанні хімії»; дидактичних матеріалів (тестових завдань, задач, інструкцій до лабораторних робіт), згенерованих ШІ та верифікованих студентами.

Метод експертного оцінювання передбачав залучення трьох експертів - викладачів методики навчання хімії - для оцінювання якості критичного аналізу студентами ШІ-згенерованого контенту за розробленою картою експертного оцінювання, що включала такі критерії: науковість і хімічна коректність відредагованого матеріалу; обґрунтованість внесених студентом змін і доповнень; самостійність та аргументованість суджень; здатність виявляти "галюцинації" ШІ в хімічному контексті.

Теоретичну основу дослідження становлять: концепція розвитку критичного мислення у вищій педагогічній освіті [6]; модель AI-TPACK як рамкова основа інтеграції ШІ в підготовку вчителів [7]; підходи до відповідального використання генеративного ШІ в хімічній освіті [12; 14]; дослідницький підхід у методичній підготовці вчителів природничих наук [3].

Обробка результатів здійснювалася

методами якісного та кількісного аналізу: обчислення відсоткового розподілу відповідей респондентів, порівняльний аналіз показників до і після формувального етапу експерименту, узагальнення та інтерпретація виявлених закономірностей.

Результати дослідження.

Проведене дослідження дозволило отримати комплекс емпіричних даних щодо рівня сформованості критичного мислення майбутніх учителів хімії у процесі використання ШІ-технологій, а також визначити ефективність запропонованих нововведень. Результати представлено відповідно до етапів дослідження.

Аналіз даних авторського опитувальника "Критичне мислення майбутнього вчителя хімії в умовах використання штучного інтелекту" засвідчив, що переважна більшість респондентів (24,7 %) використовує ШІ-інструменти (ChatGPT, Gemini, Copilot) у навчальній діяльності регулярно або час від часу. Зокрема, 13,8 % здобувачів звертаються до ШІ щодня або кілька разів на тиждень, 10,9 % - епізодично, і лише 75,3 % не використовують ШІ взагалі. Найпоширенішими сценаріями використання ШІ в навчальній діяльності майбутніх учителів хімії виявилися: пошук і систематизація інформації з хімії (23,5 % респондентів); підготовка конспектів і рефератів (21,8 %); розв'язування розрахункових задач (16,7 %); розробка дидактичних матеріалів для педагогічної практики (14,9 %); переклад іншомовних наукових текстів (12,1 %).

Водночас 7,4 % опитаних зазначили, що систематично перевіряють достовірність ШІ-згенерованого хімічного контенту, звіряючи його з підручниками, науковими статтями або іншими авторитетними джерелами. Решта 92,6 % здобувачів або довіряють відповідям ШІ без критичної перевірки (13,1 %), або перевіряють їх лише частково (11,2 %). 18,5 % респондентів зізналися, що не знають, як правильно оцінити достовірність ШІ-згенерованої хімічної інформації, а 14,9 % вважають, що ШІ не може помилятися у хімічних фактах. Отримані результати узгоджуються з висновками О. Ключко, яка констатує, що здобувачі педагогічних спеціальностей активно використовують ШІ, проте рівень критичного осмислення його відповідей

залишається недостатнім [6]. А. Андрощук та О. Малуґа також фіксують аналогічну тенденцію у вищій освіті загалом, наголошуючи на необхідності формування культури критичного ставлення до ШІ-згенерованого контенту [1].

Аналіз результатів першого блоку опитувальника дозволив виявити низький рівень обізнаності здобувачів щодо типових помилок ШІ в хімічному контексті. Так, 5,8 % респондентів змогли навести конкретні приклади «галюцинацій» ШІ у хімічних поясненнях, з якими вони стикалися в освітній діяльності. Найчастіше згадувалися: некоректні назви хімічних сполук (34 випадки), помилки в розстановці коефіцієнтів у рівняннях реакцій (28 випадків), неправильне зображення структурних формул органічних сполук (21 випадок), помилки у визначенні ступенів окиснення елементів (17 випадків). Зазначені результати підтверджують висновки R. Blonder та Y. Feldman-Maggor про те, що вчителі хімії часто не усвідомлюють ризиків «галюцинацій» ШІ в хімічному контексті та потребують спеціальної підготовки до критичної оцінки ШІ-згенерованого контенту [12].

За результатами педагогічного спостереження під час розв'язування ситуаційно-методичних задач з хімії було виявлено три характерні поведінкові стратегії здобувачів у взаємодії зі ШІ. Перша стратегія - «некритичне копіювання» - полягає в перенесенні ШІ-згенерованого контенту до навчального продукту без будь-якого редагування (32,1 % здобувачів). Типовим прикладом є розробка конспекту уроку з теми "Окисно-відновні реакції", в якому здобувач повністю відтворив ШІ-згенерований текст, що містив три фактичні помилки у визначенні окисника та відновника. Друга стратегія - «часткова верифікація» - передбачає вибіркочну перевірку окремих фактів, переважно хімічних формул і рівнянь реакцій, без аналізу логіки викладу та методичної доцільності матеріалу (44,8 % здобувачів). Третя стратегія - «критичний аналіз» - характеризується систематичною перевіркою хімічної коректності, науковості та методичної відповідності ШІ-згенерованого контенту, внесенням обґрунтованих змін і доповнень (23,1 % здобувачів). Здобувачі, що

застосовували цю стратегію, у середньому виявляли 4,7 помилки на один ШІ-згенерований фрагмент навчального матеріалу, тоді як здобувачі з першою стратегією - лише 0,3 помилки. Подібну тенденцію фіксують і зарубіжні дослідники: R. Blonder та Y. Feldman-Maggor наголошують, що вчителі хімії потребують спеціальної підготовки до критичної оцінки ШІ-згенерованого контенту [12].

Контент-аналіз навчальних продуктів здобувачів на констатувальному етапі виявив характерні типи помилок у роботі з ШІ-згенерованими матеріалами з хімії. У 38,4 % робіт зафіксовано некоректні хімічні рівняння та формули: зокрема, у конспектах уроків з теми "Електроліз" у 12 роботах з 87 були наявні помилки в рівняннях електролізу водних розчинів солей. У 29,7 % робіт виявлено фактичні помилки у поясненні механізмів хімічних реакцій, зокрема у темах «Гідроліз солей» та «Реакції йонного обміну». У 44,6 % робіт зафіксовано методично недоцільний добір прикладів і задач, що не відповідає віковим особливостям учнів відповідного класу. У 67,3 % робіт відсутні посилання на джерела при використанні ШІ-згенерованих даних. Зазначені результати підтверджують висновки В. Yıldırım та А. Аксап про те, що вчителі хімії потребують спеціальної підготовки до використання ШІ, оскільки без належних компетентностей ризик відтворення хімічно некоректного контенту є надзвичайно високим [15].

За результатами експертного оцінювання на констатувальному етапі середній показник якості критичного аналізу ШІ-згенерованого хімічного контенту здобувачами становив 2,1 бала з 5 можливих. Найнижчі показники зафіксовано за критерієм «здатність виявляти галюцинації ШІ в хімічному контексті» (1,7 бала) та «обґрунтованість внесених змін і доповнень» (1,9 бала). Найвищі - за критерієм «науковість і хімічна коректність відредагованого матеріалу» (2,4 бала), що свідчить про певний рівень предметних знань здобувачів за відсутності сформованих навичок критичного аналізу ШІ-контенту.

Результати формувального етапу. Після впровадження нововведень формування критичного мислення майбутніх учителів хімії засобами ШІ було

зафіксовано суттєву позитивну динаміку за всіма визначеними показниками. Частка здобувачів, які систематично перевіряють достовірність ШІ-згенерованого хімічного контенту, зросла з 7,4 % до 19,5 %. Кількість здобувачів, що застосовують стратегію «критичного аналізу» у взаємодії зі ШІ, збільшилася з 23,1 % до 54,3 %. Частка навчальних продуктів із хімічно некоректним контентом скоротилася з 38,4 % до 12,6 %. Середній показник якості критичного аналізу ШІ-згенерованого хімічного контенту за експертною оцінкою зріс з 2,1 до 3,9 бала з 5 можливих, що свідчить про суттєве підвищення рівня сформованості критичного мислення здобувачів.

Особливо показовою є динаміка за критерієм «здатність виявляти галюцинації ШІ в хімічному контексті»: показник зріс з 1,7 до 3,6 бала. На формувальному етапі здобувачі в середньому виявляли 7,2 помилки на один ШІ-згенерований фрагмент навчального матеріалу з хімії, порівняно з 2,4 помилки на констатувальному етапі. Крім того, якісно змінився характер виявлених помилок: якщо на констатувальному етапі здобувачі фіксували переважно очевидні орфографічні та формульні помилки, то після формувального етапу вони успішно виявляли приховані концептуальні помилки в поясненні хімічних явищ і процесів, некоректні методичні рекомендації та логічні суперечності в ШІ-згенерованих навчальних текстах.

Важливим результатом формувального етапу стала зміна ставлення здобувачів до ШІ як навчального інструменту: якщо на констатувальному етапі 47,2 % респондентів вважали, що ШІ не може помилятися у хімічних фактах, то після формувального впливу цей показник знизився до 11,3 %. Натомість 73,6 % студентів після формувального етапу зазначили, що вважають критичну верифікацію ШІ-згенерованого контенту обов'язковим елементом роботи вчителя хімії. О. Кисельова констатує аналогічну закономірність у проектному навчанні: цілеспрямоване використання ШІ в навчальній діяльності суттєво підвищує критичність мислення здобувачів та їхню здатність до самостійної оцінки інформації [5].

Отримані результати узгоджуються з висновками F. Almasri, який на основі систематичного огляду емпіричних досліджень доводить, що цілеспрямована педагогічна робота з розвитку критичного мислення в природничій освіті суттєво підвищує якість навчальних досягнень здобувачів та їхню здатність до самостійної верифікації наукової інформації [11]. S. Erduran та O. Levğini також наголошують, що в умовах активного впровадження ШІ в наукові практики формування критичного мислення стає ключовим завданням природничої освіти [13]. Водночас отримані дані розширюють вищезазначені висновки, доповнюючи їх конкретними емпіричними свідченнями ефективності процесу формування критичного мислення саме майбутніх учителів хімії.

Новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше емпірично обґрунтовано процес формування критичного мислення майбутніх учителів

Висновки

Проведене дослідження підтвердило актуальність проблеми формування критичного мислення майбутніх учителів хімії в процесі застосування штучного інтелекту.

Теоретичний аналіз вітчизняних і зарубіжних наукових джерел засвідчив, що критичне мислення в умовах цифровізації освіти набуває принципово нових вимірів. Поряд із традиційними складниками - аналізом, синтезом, оцінюванням та рефлексією - воно передбачає вміння розпізнавати "галюцинації" ШІ в хімічному контексті, усвідомлювати обмеження генеративних моделей у предметній галузі та відповідально інтегрувати ШІ-інструменти в професійну педагогічну діяльність. Науковці одностайні в тому, що сформуванню такої компетентності стихійно неможливо - вона потребує цілеспрямованої педагогічної роботи в системі методичної підготовки вчителя.

Визначені нововведення у формуванні критичного мислення майбутніх учителів хімії засобами ШІ довели свою ефективність у процесі формувального етапу експерименту. Цілеспрямоване включення завдань на критичний аналіз ШІ-згенерованого хімічного контенту в систему методичної

хімії в використанні ШІ в освітньому процесі; виявлено та описано три характерні стратегії взаємодії здобувачів педагогічних спеціальностей зі ШІ-інструментами ("некритичне копіювання", "часткова верифікація", "критичний аналіз"); визначено типові помилки в роботі майбутніх учителів хімії з ШІ-згенерованим навчальним контентом (некоректні хімічні рівняння та формули, помилки в поясненні механізмів реакцій, методично недоцільний добір матеріалу) та обґрунтовано шляхи їх подолання. На відміну від наявних досліджень, які розглядають проблему критичного мислення переважно в контексті підготовки вчителів інформатики та математики [6; 7; 14], пропонуване дослідження вперше фокусується на специфіці хімічної освіти, де критична оцінка ШІ-згенерованого контенту має особливе значення з огляду на необхідність забезпечення хімічної коректності та науковості навчальних матеріалів.

підготовки, систематичне використання ситуаційно-методичних задач з хімії, формування усвідомленого розуміння типових помилок ШІ та розвиток рефлексивної культури його використання забезпечили суттєву позитивну динаміку за всіма визначеними показниками.

Наукова новизна дослідження полягає в тому, що вперше у вітчизняній педагогічній науці емпірично обґрунтовано процес формування критичного мислення майбутніх учителів хімії в умовах інтеграції ШІ; виявлено й описано характерні стратегії їхньої взаємодії зі ШІ-інструментами; визначено типові помилки в роботі з ШІ-згенерованим хімічним контентом і доведено можливість їх суттєвого скорочення засобами цілеспрямованої методичної підготовки. Практична значущість результатів визначається можливістю їх безпосереднього впровадження в освітній процес закладів вищої педагогічної освіти, що здійснюють підготовку майбутніх учителів хімії за освітньою програмою "Середня освіта (Хімія)".

Перспективи подальших досліджень убаочуються в розробці педагогічної моделі формування критичного мислення майбутніх учителів хімії засобами ШІ,

створенні валідного діагностичного інструментарію для оцінювання рівнів його сформованості, а також у дослідженні можливостей предметно-орієнтованих ШІ-інструментів для хімічної освіти - систем

молекулярного моделювання, інтелектуальних тьюторів з хімії та спеціалізованих чат-ботів - у підготовці майбутніх учителів.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію. Ця робота була підтримана постійним інституційним фінансуванням. Жодних додаткових грантів для проведення або спрямування цього конкретного дослідження отримано не було.

Внесок авторів: усі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

У роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Андрощук, А. Г., Малюга, О. С. Використання штучного інтелекту у вищій освіті: стан і тенденції. *International Science Journal of Education and Linguistics*. 2024. Vol. 3, No. 2. С. 27–35. <https://doi.org/10.46299/j.isjel.20240302.04>
2. Браславська, О. В., Совгіра, С. В. Підготовка майбутнього вчителя хімії до розв'язування ситуаційно-методичних задач. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*. 2023. Вип. 67. С. 150-159. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2023-67-150-159>
3. Грицай, Н., Попельницька, О. Дослідницький підхід у методичній підготовці майбутніх учителів природничих наук. *Українська професійна освіта*. 2024. № 15. С. 108–117. <https://doi.org/10.33989/2519-8254.2024.15.312212>
4. Гуревич, Р., Коношевський, Л., Коношевський, О., Воєвода, А., Люльчак, С. Інтеграція штучного інтелекту в сферу освіти: проблеми, виклики, загрози, перспективи. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*. 2024. Вип. 72. С. 170–186. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-72-170-186>
5. Кисельова, О. Б. Здійснення проектного навчання з використанням штучного інтелекту. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія: педагогіка та психологія*. 2024. № 4. <https://doi.org/10.54929/2786-9199-2024-4-06-02>
6. Ключко, О. 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*. 2024. Вип. 72. С. 14–26. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-72-14-26>
7. Ковальчук, В. В., Корчевський, Д. О., Буряк, Д. Д., Буряк, Д. В. Підходи до застосування штучного інтелекту в освітній діяльності. *Технології електронного навчання*. 2025. №9. С. 45-52. <https://doi.org/10.31865/2709-840092025348843>
8. Коломієць, А., Кушнір, О. Використання штучного інтелекту в освітній та науковій діяльності: можливості та виклики. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*. 2023. Вип. 70. С. 45–57. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2023-70-45-57>
9. Куцак, Л. В. Штучний інтелект у сучасній освіті: перспективи застосування та виклики. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*. 2025. Вип. 74. С. 27–37. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-74-27-37>
10. Уманець, В., Шахіна, І., Розпутня, Б. Підготовка майбутніх учителів інформатики до використання технологій штучного інтелекту в освітньому процесі. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*. 2024. Вип. 72. С. 162–170. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-72-162-170>

11. Almasri, F. Exploring the Impact of Artificial Intelligence in Teaching and Learning of Science: A Systematic Review of Empirical Research. *Research in Science Education*. 2024. Vol. 54(5). Pp. 977–997. <https://doi.org/10.1007/s11165-024-10176-3>
12. Blonder, R., Feldman-Maggor, Y. AI for chemistry teaching: responsible AI and ethical considerations. *Chemistry Teacher International*. 2024. Vol. 6(4). Pp. 385-395. <https://doi.org/10.1515/cti-2024-0014>
13. Erduran, S., Levrini, O. The impact of artificial intelligence on scientific practices: an emergent area of research for science education. *International Journal of Science Education*. 2024. Vol. 46(18). P. 1982–1989. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2306604>
14. Feldman-Maggor, Y., Blonder, R., Alexandron, G. Perspectives of Generative AI in Chemistry Education Within the TPACK Framework. *Journal of Science Education and Technology*. 2025. Vol. 34. Pp. 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10147-3>
15. Yildirim, B., Akcan, A. T. AI-professional development model for chemistry teacher: Artificial intelligence in chemistry education. *Journal of Education in Science, Environment and Health (JESEH)*. 2024. Vol. 10(4). Pp. 161–182. <https://doi.org/10.55549/jeseh.741>

Стаття надійшла до редакції 24.03.2026

Стаття рекомендована до друку 30.04.2026

Опубліковано 31.05.2026

O. V. KOCHUBEI¹, DSc (Philosophy),

Lecturer of the Department of Biology and Chemistry

e-mail: sncelelena@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5047-6694>

S. V. SOVHIRA¹, DSc (Pedagogical Sciences), Professor,

Professor of the Department of Biology and Chemistry

e-mail: sovgyrasvitlana@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8742-7773>

¹*Uman National University,*

2 Sadova St., Uman, Ukraine

FORMATION OF CRITICAL THINKING AS A KEY COMPETENCE OF FUTURE CHEMISTRY TEACHERS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Objective. To identify the issues of forming critical thinking of future chemistry teachers in the context of the implementation of artificial intelligence in the educational process of higher pedagogical education institutions.

Methods. The study was conducted on the basis of higher pedagogical education institutions with the participation of 87 bachelor's degree applicants for higher education in the educational program "Secondary Education (Chemistry)". A set of methods was used to collect empirical data: author's survey using the questionnaire "Critical thinking of a future chemistry teacher in the context of the use of artificial intelligence" (24 questions, Likert scale 1–5 points); pedagogical observation of the activities of applicants while solving situational and methodological problems in chemistry with the involvement of AI tools; content analysis of educational products (lesson summaries, didactic materials, analytical essays); expert assessment using a map with four criteria. The experiment covered the ascertaining and formative stages.

Results. At the ascertaining stage, it was found that 24.7% of applicants regularly use AI tools (ChatGPT, Gemini, Copilot) in educational activities, however, only 7.4% systematically verify the reliability of AI-generated chemical content. Three strategies of applicants' interaction with AI were identified: "uncritical copying" (32.1%), "partial verification" (44.8%) and "critical analysis" (23.1%). In 38.4% of educational products, chemically incorrect content was recorded, in particular errors in chemical equations, formulas and explanations of reaction mechanisms. The average quality indicator of critical analysis of AI-generated content according to expert assessment was 2.1 points out of 5. After the implementation of pedagogical conditions at the formative stage, significant positive dynamics were recorded: the share of applicants with the "critical analysis" strategy increased from 23.1% to 54.3%; the average quality indicator of critical analysis increased from 2.1 to 3.9 points; the share of chemically incorrect educational products decreased from 38.4% to 12.6%; the number of applicants convinced of the need to verify AI content increased from 16.7% to 23.3%.

Conclusions. It was found that the effective formation of critical thinking of future chemistry teachers in the context of AI integration is ensured by a set of the following innovations: purposeful inclusion of tasks for critical analysis of AI-generated chemical content in the methodological training system; systematic use of

situational and methodological tasks in chemistry in interaction with AI tools; formation of a conscious understanding of typical AI errors in the chemical context; development of a reflective culture of using AI as a tool of professional pedagogical activity. The results of the study prove that the implementation of the identified innovations ensures a qualitative change in the nature of interaction of future chemistry teachers with AI - from uncritical reproduction of generated content to its conscious, scientifically substantiated use in educational practice.

KEY WORDS: *critical thinking, future chemistry teachers, artificial intelligence, situational and methodological tasks, generated content, teacher training, digitalization of education, methodological training.*

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this manuscript. Furthermore, the authors has fully adhered to ethical standards, including those related to plagiarism, data falsification, and duplicate publication.

Authors Contribution: all authors have contributed equally to this work.

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Androshchuk, A., Maluga, O. (2024). Use of artificial intelligence in higher education: state and trends. *International Science Journal of Education & Linguistics*, 3(2), 27–35. <https://doi.org/10.46299/j.isjel.20240302.04> (in Ukrainian).
2. Braslavskaya, O., Sovhira, S. (2023). Preparation of the future chemistry teacher for solving situation-methodical problems. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, 67, 150-159. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2023-67-150-159> (in Ukrainian).
3. Hrytsai, N., Popeplnytska, O. (2024). Research approach in methodological future science teacher training. *Ukrainian Professional Education*, (15), 108–117. <https://doi.org/10.33989/2519-8254.2024.15.312212> (in Ukrainian).
4. Gurevych, R., Konoshevskiy, L., Konoshevskiy, O., Voievoda A., Liulchak, S. (2024). Integration of artificial intelligence in the field of education: problems, challenges, threats, prospects. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, 72, 170-186. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-72-170-186> (in Ukrainian).
5. Kyselova, O. (2024). Implementing Project-Based Learning Using Artificial Intelligence. *Problems of Modern Transformations. Series: Pedagogy and Psychology*, (4). <https://doi.org/10.54929/2786-9199-2024-4-06-02> (in Ukrainian).
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. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-72-14-26> (in Ukrainian).
7. Kovalchuk, V., Korchevskiy, D., Buriak, D., Buryak, D. (2025). Approaches to the application of artificial intelligence in educational activities. *E-Learning TeXnology*, 9, 45–52. <https://doi.org/10.31865/2709-840092025348843> (in Ukrainian).
8. Kolomiets, A., Kushnir, O. (2023). Use of artificial intelligence in educational and scientific activities: opportunities and challenges. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, 70, 45-57. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2023-70-45-57> (in Ukrainian).
9. Kutsak, L. (2025). Artificial intelligence in modern education: application perspectives and challenges. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, 74, 27-37. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-74-27-37> (in Ukrainian).
10. Umanets, V., Shakhina, I., Rozputnia, B. (2024). Training future computer science teachers to use artificial intelligence technologies in the educational process. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, 72, 162-169. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2024-72-162-170> (in Ukrainian).

11. Almasri, F. (2024). Exploring the impact of artificial intelligence in teaching and learning of science: a systematic review of empirical research. *Research in Science Education*, 54(5), 977–997. <https://doi.org/10.1007/s11165-024-10176-3>
12. Blonder, R., Feldman-Maggor, Y. (2024). AI for chemistry teaching: responsible AI and ethical considerations. *Chemistry Teacher International*, 6(4), 385-395. <https://doi.org/10.1515/cti-2024-0014>
13. Erduran, S., Levrini, O. (2024). The impact of artificial intelligence on scientific practices: an emergent area of research for science education. *International Journal of Science Education*, 46(18), 1982–1989. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2306604>
14. Feldman-Maggor, Y., Blonder, R., Alexandron, G. (2025). Perspectives of generative AI in chemistry education within the TPACK framework. *Journal of Science Education and Technology*, 34, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10147-3>
15. Yildirim, B., Akcan, A. T. (2024). AI-professional development model for chemistry teacher: artificial intelligence in chemistry education. *Journal of Education in Science, Environment and Health (JESEH)*, 10(4), 161–182. <https://doi.org/10.55549/jeseh.741>

The article was received by the editors 24.03.2026

The article is recommended for printing 30.04.2026

Published 31.05.2026