

ПІСЛЯДИПЛОМНА НЕПЕРЕРВНА ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА

DOI: <https://doi.org/10.28925/2312-5829/2026.1.14>

УДК 378.016:[546:542.913]:001.895]:374-022.332](045)

Олена Кочубей,

<https://orcid.org/0000-0002-5047-6694>,

доктор філософії, викладач кафедри хімії та екології, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, вул. Садова, 2, 20300, Умань, Україна, sncelelena@gmail.com

Інноваційні педагогічні стратегії для поглиблення знань з неорганічного синтезу в системі неперервної професійної освіти

***Анотація.** У статті досліджується проблема методичного забезпечення викладання дисципліни «Неорганічний синтез» у системі неперервної професійної освіти майбутніх учителів хімії. Актуальність зумовлена суперечністю між зростаючими вимогами до предметної та дослідницької компетентності педагогів-хіміків і недостатньою методичною розробленістю підходів до викладання зазначеної дисципліни в умовах цифровізації освітнього процесу. Метою статті є теоретичне обґрунтування та систематизація педагогічних стратегій, застосування яких формує у здобувачів здатність планувати й аналізувати синтетичні процеси, інтерпретувати структурні й термічні властивості неорганічних сполук, а також розвиває критичне мислення і готовність до інноваційної педагогічної діяльності. У методології поєднано теоретичний аналіз вітчизняних і зарубіжних науково-педагогічних джерел (Scopus, Web of Science, ERIC), порівняльно-педагогічний аналіз практик неперервної хімічної освіти різних країн та контент-аналіз навчальних програм і цифрових платформ. Визначено три ключові стратегічні напрями: інтеграція наукового контенту з координаційної хімії як основи для кейс-методики і проблемних завдань; застосування цифрових інструментів – віртуальних лабораторій (Labster), симуляційних середовищ (PhET) – для відпрацювання синтетичних процедур та візуалізації механізмів реакцій; використання проєктного і змішаного навчання для формування дослідницьких умінь та педагогічної рефлексії. Запропоновано методичні рекомендації щодо оновлення змісту та форм курсу. Обґрунтовано, що ефективність кожної стратегії визначається її предметною прив'язкою до цілей курсу: розуміння механізмів утворення координаційних сполук, планування синтетичних маршрутів, безпечного виконання лабораторного практикуму. Перспективи подальших досліджень вбачаються в емпіричній перевірці*

стратегій на основі вимірювання предметних результатів навчання та розробки адаптивних цифрових курсів.

Ключові слова: *неорганічний синтез, хімічна освіта, інноваційні педагогічні стратегії, координаційні сполуки, цифрові технології, професійна підготовка, змішане навчання, віртуальні лабораторії, педагогічна компетентність, STEM-освіта.*

Вступ. Неорганічний синтез є однією з ключових дисциплін у підготовці майбутніх учителів хімії. Він поєднує теорію хімічного зв'язку, кінетику і термодинаміку реакцій з конкретними лабораторними процедурами – синтезом, очищенням та характеристикацією неорганічних сполук. Водночас аналіз навчальних практик засвідчує, що саме ця дисципліна залишається методично найменш оновленою порівняно з іншими розділами хімічної освіти (Holme, 2023; Lu et al., 2025). Традиційна модель курсу, що ґрунтується переважно на лекційному викладі теорії та відтворювальному лабораторному практикумі за готовими прописами, не формує у здобувачів здатності самостійно планувати синтез, прогнозувати умови реакції і критично інтерпретувати її результати (Garcés & Sánchez-Barba, 2011; Yuriev et al., 2017).

Конкретні труднощі, що виникають при вивченні дисципліни, мають чітко виражений предметний характер і зафіксовані у педагогічних дослідженнях. По-перше, здобувачі систематично не можуть переносити теоретичні знання про будову координаційних сполук в операційну площину: не здатні пояснити вибір ліганда, обґрунтувати умови синтезу чи метод виділення продукту – навіть після засвоєння відповідного теоретичного матеріалу (Layton-Jaramillo & Moncada, 2024). По-друге, традиційний лабораторний практикум з неорганічного синтезу будується за принципом відтворення готових прописів, що не формує навичок самостійного планування синтезу: здобувачі виконують операції механічно, не розуміючи логіки вибору реагентів та умов реакції (Garcés & Sánchez-Barba, 2011). Крім того, робота з токсичними реагентами і складним обладнанням в умовах обмеженого фінансування часто унеможлиблює повноцінне виконання дослідів (Xiao, 2020). По-третє, зміст курсу рідко оновлюється відповідно до сучасних наукових результатів: здобувачі вивчають застарілі методи синтезу, тоді як актуальна координаційна і матеріалознавча хімія залишається поза межами курсу (Holme, 2023; Lu et al., 2025). Сукупність цих недоліків означає, що випускник курсу «Неорганічний синтез» не здатний ні самостійно спланувати синтетичний маршрут, ні критично оцінити його результат – що прямо суперечить компетентнісним вимогам до підготовки майбутнього вчителя хімії.

Зазначені проблеми не є унікальними для вітчизняної освіти. Порівняльно-педагогічний аналіз свідчить, що університети ЄС, США та Китаю також шукають відповіді на них через впровадження різних педагогічних стратегій, однак роблять це залежно від того, яку саме прогалину у предметній підготовці намагаються усунути (Jones, 2020;

Kostić et al., 2021; Lu et al., 2025). Відсутність такої предметно-орієнтованої логіки вибору стратегій – коли методи добираються за принципом загальної результативності, а не відповідності конкретним завданням курсу – є ключовою проблемою, яку фіксує вітчизняна методика (Репост та ін., 2023). Показово, що навіть у тих університетах, де окремі стратегії вже впроваджені, їхня ефективність залишається непідтвердженою саме щодо предметних результатів курсу «Неорганічний синтез» – через відсутність системного методичного обґрунтування їх застосування до цієї дисципліни.

У науковій літературі накопичено достатньо свідчень того, що окремі стратегії здатні усунути специфічні труднощі курсу. Garcés і Sánchez-Barba (2011) показали, що перехід від відтворювального до дослідницько-орієнтованого лабораторного практикуму з неорганічної хімії суттєво поглиблює засвоєння експериментальних методів і самостійність мислення здобувачів. Xiao (2020) зафіксував, що дистанційний формат із навчальними платформами підвищує результати передусім для здобувачів із різним рівнем попередньої підготовки – що особливо актуально для неперервної освіти. Nehring (2025) обґрунтовує ефективність контекстно-орієнтованого підходу, за якого зміст курсу пов'язується з реальними науковими і професійними ситуаціями. Водночас хімічні публікації про синтез і будову координаційних сполук (Марцинко та Сейфулліна, 2022; Кокшарова та ін., 2022) становлять цінний дидактичний матеріал: вони слугують джерелом конкретних наукових задач – прикладів для кейс-методики та проблемних завдань, де здобувачі мають пояснити вибір синтетичного маршруту, умов реакції і методу виділення продукту. Саме таке використання наукової літератури - як навчального контенту, а не як педагогічного дослідження - відповідає принципу автентичності у хімічній освіті (LaytonJaramillo & Moncada, 2024).

Попри наявність цих напрацювань, жодна з розглянутих публікацій не розглядає викладання неорганічного синтезу як окремого предмету в системі підготовки вчителів хімії: одні стосуються загальної або неорганічної хімії (Репост та ін., 2023; Holme, 2023), інші – суміжних дисциплін або вивчення хімії здобувачами нехімічних спеціальностей (Xiao, 2020; Lu et al., 2025). Отже, в науково-педагогічній літературі існує прогалина: відсутнє теоретично обґрунтоване визначення того, які саме стратегії, у якому поєднанні і за яких умов забезпечують глибоке засвоєння предмету «Неорганічний синтез» у підготовці майбутніх учителів хімії, саме це становить критичну проблему даного дослідження.

Отже, аналіз літератури виявив конкретну суперечність: існуючі інноваційні стратегії мають доведений потенціал для вдосконалення хімічної освіти загалом, проте їх предметно-орієнтоване застосування саме до курсу «Неорганічний синтез», з урахуванням його специфічних дидактичних завдань, лабораторних обмежень і змістових особливостей

залишається теоретично необґрунтованим. Усунення цієї прогалини є необхідною умовою для того, щоб заклики до інноваційного оновлення курсу стали конкретними методичними рішеннями, а не загальними рекомендаціями.

Мета статті – теоретично обґрунтувати та систематизувати педагогічні стратегії викладання дисципліни «Неорганічний синтез», спрямовані на формування предметної компетентності та дослідницької готовності майбутніх учителів хімії.

Методологія. Методологічну основу дослідження становлять концептуальні положення неперервної професійної освіти, компетентнісного підходу, теорії діяльності, а також сучасні дидактичні засади природничої освіти. У центрі уваги перебуває педагогічний інструментарій, що забезпечує ефективне формування у здобувачів освіти предметних знань з неорганічного синтезу та водночас сприяє розвитку професійної і трансверсальної компетентності в умовах безперервного освітнього процесу.

Дослідження має теоретико-аналітичний характер і базується на міждисциплінарному підході, що поєднує педагогічну освіту, методiku викладання хімії та сучасні освітні технології. З метою розкриття наукової проблематики було використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів. Теоретичний аналіз, синтез, узагальнення, систематизація застосовувалися для опрацювання наукової літератури вітчизняних і зарубіжних авторів, опублікованої у виданнях, що індексуються в базах даних Scopus, Web of Science, ERIC. На основі опрацювання джерел були виявлені основні тенденції розвитку хімічної освіти, зокрема щодо вдосконалення змісту і форм викладання предмету «Неорганічного синтезу» у професійній підготовці.

Метод порівняльно-педагогічного аналізу використано для зіставлення педагогічних моделей, що застосовуються у системах неперервної освіти різних країн. Контент-аналіз навчальних програм, методичних матеріалів та освітніх компонентів з хімії дозволив оцінити рівень інтеграції інноваційних стратегій у навчальний процес. Особливу увагу приділено логіко-структурному аналізу дидактичних моделей, що реалізуються в межах курсу з неорганічного синтезу у педагогічних університетах. Також у процесі дослідження враховано елементи експертного оцінювання ефективності застосування різних стратегій навчання – від традиційних до інтерактивних, мультимедійних, гейміфікованих та проектних.

Отже, розроблена методологічна база дозволила здійснити комплексне осмислення інноваційного потенціалу педагогічних стратегій у формуванні знань з неорганічного синтезу в контексті неперервної професійної освіти та закласти основу для подальших емпіричних досліджень у цій галузі.

Результати дослідження. У результаті проведеного теоретико-методичного аналізу було виявлено, що ефективно викладання курсу

«Неорганічний синтез» в системі неперервної професійної освіти вимагає цілеспрямованої інтеграції інноваційних педагогічних стратегій, кожна з яких спрямована на усунення одного з конкретних недоліків традиційного курсу «Неорганічний синтез», зафіксованих у вступі: нездатність здобувачів переносити теорію в операційну площину, механічне відтворення лабораторних прописів без розуміння логіки синтезу, відірваність змісту від актуальних наукових результатів. Кожна стратегія обґрунтована конкретним джерелом і супроводжується очікуваним предметним результатом. До таких стратегій належать: застосування реального наукового контенту, активне використання цифрових технологій, проблемно-дослідницькі методи, а також опора на когнітивні стилі навчання здобувачів. Усі ці компоненти сприяють не лише поглибленню змістового рівня вивчення предмету, а й формуванню професійної і педагогічної рефлексії, розвитку критичного мислення, дослідницьких умінь і здатності до самонавчання.

Першою групою дидактичного матеріалу для курсу слугують первинні хімічні дослідження з координаційної хімії, які містять конкретні синтетичні дані, придатні для перетворення на навчальні кейси. Робота Марцинко та Сейфулліної (2022) містить детальний опис синтезу комплексів Ge(IV)-Co(II), їхню просторову структуру і термостабільність – саме ті параметри, на основі яких можна будувати завдання типу «обґрунтуйте вибір умов синтезу» або «поясніть залежність стабільності від будови ліганда». Принципово важливо, що ці джерела виконують функцію навчального контенту – автентичних наукових прикладів – а не є педагогічними дослідженнями про методику викладання.

Публікація Кокшарової та ін. (2022) містить структурні дані комплексів Cu(II), Zn(II) та Ni(II) – трьох d-металів із різними координаційними числами і геометрією. Це робить їх особливо придатними для порівняльних завдань: «Чому один метал утворює октаедричний комплекс, а інший – тетраедричний?», «Як замінити центральний атом, зберігши ліганд і координаційне число?». Такі завдання формують у здобувачів аналітичне мислення і здатність застосовувати теоретичні знання про координаційний зв'язок безпосередньо у контексті синтезу, що є ключовим навиком курсу «Неорганічний синтез». Як і в попередньому випадку, ця публікація використовується тут як джерело навчального контенту, а не як методичне дослідження.

Цифрова підтримка навчального процесу є доцільною за умови, що інструмент виконує конкретну дидактичну функцію, а не застосовується як самоціль. Принцип поєднання молекулярної візуалізації з кейс-обговоренням реальних хімічних ситуацій, описаний у роботі Alwassil et al. (2024) на матеріалі медичної хімії, є методично релевантним і для курсу неорганічного синтезу: він безпосередньо відповідає на проблему нездатності здобувачів пов'язати структурні дані з механізмом реакції. Адаптація цього принципу до вивчення координаційних сполук – показ

3D-моделі комплексу з наступним завданням «поясніть, який ліганд забезпечує таку геометрію», перетворює абстрактну теорію кристалічного поля на інструмент прийняття синтетичних рішень

Сучасний освітній дискурс неможливо уявити без цифрових інструментів. У дослідженні O. Alwassil et al. (2024) проаналізовано досвід викладання медичної хімії з опорою на цифровий контент і кейс-обговорення проблемних ситуацій. Хоча ця робота стосується суміжної дисципліни, запропонований принцип – поєднання молекулярної візуалізації з аналізом реальних прикладів – є методично цінним для курсу неорганічного синтезу. Адаптація такого підходу до вивчення механізмів утворення координаційних сполук може підвищити мотивацію здобувачів та їхню активну участь у процесі навчання.

У процесі дослідження було встановлено, що ефективно викладання неорганічного синтезу в системі неперервної професійної освіти потребує комплексного впровадження інноваційних педагогічних стратегій. На основі проведеного аналізу сформульовано шість методичних рекомендацій, кожна з яких спрямована на усунення конкретного недоліку, виявленого у традиційній практиці викладання курсу.

Перша рекомендація: інтегрувати у зміст курсу актуальні результати синтетичних досліджень з координаційної хімії як основу для проблемних завдань і кейсів. Зокрема, публікації про синтез і структурні властивості комплексів Ge(IV)-Co(II) (Марцинко та Сейфулліна, 2022) та Cu(II), Zn(II), Ni(II) (Кокшарова та ін., 2022) є прикладами первинних хімічних досліджень, що містять конкретні синтетичні дані, прийнятні для перетворення на навчальні кейси. На основі цих публікацій можна формулювати завдання: «Запропонуйте синтетичний маршрут для аналогічного комплексу», «Поясніть вибір ліганда виходячи зі структурних даних», «Передбачте термічну стабільність комплексу і обґрунтуйте відповідь». Вибір саме цих публікацій обумовлений трьома критеріями: наявністю конкретних синтетичних даних (умов реакції, виходу продукту, методів очищення), доступністю структурних характеристик (координаційне число, геометрія комплексу, термостабільність) та тематичною відповідністю розділам курсу «Неорганічний синтез» – координаційним сполукам і методам їх синтезу. Такий підхід формує у здобувачів дослідницький стиль мислення і навичку інтерпретувати первинні дані (Layton-Jaramillo & Moncada, 2024). Очікуваний результат: підвищення рівня предметної компетентності та дослідницького стилю мислення.

Друга рекомендація: систематично використовувати цифрові симуляційні середовища (Labster, PhET, Molecular Workbench) для попереднього відпрацювання синтетичних процедур перед виконанням реального лабораторного практикуму. Ключовий принцип – не замінювати реальний дослід віртуальним, а використовувати симуляцію як підготовчий етап: здобувач спочатку «виконує» синтез у цифровому середовищі, розуміє очікувані результати і вимоги безпеки, і лише потім

переходить до реального практикуму. Такий підхід підтвердив свою ефективність у викладанні хімії в умовах обмеженого доступу до лабораторної бази (Xiao, 2020). Очікуваний результат: зниження кількості помилок у лабораторному практикумі, підвищення безпеки та засвоєння механізму реакцій.

Третя рекомендація: впровадити проєктне навчання у форматі «синтетичного міні-проєкту» – самостійного або групового завдання, в якому здобувач проходить повний цикл: вибір цільової сполуки, обґрунтування синтетичного маршруту, планування умов реакції, прогнозування і пояснення результатів. Garcés i Sánchez-Barba (2011) показали, що саме такий підхід до лабораторного курсу неорганічної хімії формує глибоке засвоєння експериментальних методів і самостійність мислення. Очікуваний результат: розвиток уміння формулювати хімічні гіпотези, планувати синтез і критично аналізувати отримані дані.

Четверта рекомендація: при проєктуванні навчальних завдань враховувати когнітивні стилі здобувачів, виявлені дослідженням Ozgur i Yilmaz (2018): встановлена залежність між стилем навчання і результативністю засвоєння матеріалу підтверджує, що однакові завдання по-різному сприймаються різними студентами. Практично це означає: для здобувачів із переважно візуальним стилем – схеми механізмів і 3D-моделі структур; для аналітичного – порівняльні таблиці умов синтезу; для кінестетичного – першочерговий доступ до лабораторних процедур. Очікуваний результат: зниження навчального стресу, підвищення мотивації і внутрішньої зацікавленості у складних темах курсу.

П'ята рекомендація: впровадити змішану модель навчання з чітким розподілом функцій між онлайн- і очним компонентами. Теоретичний матеріал (механізми реакцій, класифікація сполук, умови синтезу) – в асинхронному онлайн-форматі з попередніми запитальниками для активації знань; аудиторний час – виключно для аналізу складних випадків, обговорення результатів лабораторного практикуму і колективного розв'язання проблемних завдань. Xiao (2020) зафіксував підвищення академічних результатів саме при такому розподілі функцій для неорганічної хімії в дистанційному форматі, особливо для здобувачів із різним рівнем попередньої підготовки. Очікуваний результат: ефективніше використання аудиторного часу і кращий рівень засвоєння теоретичного матеріалу.

Шоста рекомендація: запровадити формувальне оцінювання із прямою прив'язкою до предметних результатів курсу. Це означає не просто використання е-портфоліо чи тестів, а систематичну перевірку конкретних умінь: чи може здобувач обрати реагенти для синтезу заданої сполуки, пояснити будову координаційного комплексу, передбачити продукти реакції. Yuriev et al. (2017) показали, що структуровані завдання з поетапним розв'язанням хімічних задач є особливо ефективним інструментом такого оцінювання. Очікуваний результат: об'єктивне

вимірювання предметної компетентності і формування у здобувачів відповідального ставлення до власного навчального прогресу.

Таким чином, кожна з наведених рекомендацій спрямована на усунення конкретного методичного недоліку курсу «Неорганічний синтез» і ґрунтується на предметно-орієнтованій логіці: від виявленої проблеми – до обґрунтованого педагогічного рішення з прогнозованим результатом. Реалізація цих рекомендацій у комплексі сприятиме підвищенню науково-методичного рівня курсу і формуванню у майбутніх учителів хімії справжньої дослідницької та педагогічної компетентності.

Обговорення. Аналіз шести обґрунтованих стратегій засвідчив, що жодна з них не є ефективною поза контекстом конкретного дидактичного завдання курсу. A. Garcés і L. Sánchez-Barba (2011) показали, що дослідницько-орієнтований практикум підвищує результати саме тому, що усуває механічне відтворення прописів - тобто діє на конкретний виявлений недолік. С. Xiao (2020) зафіксував ефект змішаного навчання лише для тих умов, де теоретичний і практичний компоненти чітко розподілені за функцією, а не просто поєднані. S. Layton-Jaramillo і I. Moncada (2024) підтвердили, що автентичні наукові приклади підвищують здатність переносити знання в операційну площину, але тільки якщо завдання вимагає саме цього перенесення, а не відтворення готової відповіді. Отже, узагальнення результатів дозволяє сформулювати принцип: ефективність педагогічної стратегії у викладанні неорганічного синтезу визначається не її «інноваційністю», а відповідністю конкретному предметному недоліку, на усунення якого вона спрямована. Аналіз джерел також дозволив уточнити функцію хімічних публікацій про синтез координаційних сполук у навчальному процесі: вони є джерелом автентичного наукового матеріалу для формування практичних завдань, а не педагогічними дослідженнями, саме в такій якості їх залучення є методично виправданим (Layton-Jaramillo & Moncada, 2024; Alberto et al., 2024).

Зіставлення власних висновків із результатами цитованих досліджень дозволяє провести важливу межу: жодна з публікацій, на які спирається дане дослідження, не охоплює курс «Неорганічний синтез» як самостійний предмет підготовки вчителів хімії. A. Garcés і Sánchez-Barba (2011) досліджували лабораторний курс неорганічної хімії; Xiao (2020) - неорганічну хімію для здобувачів інженерних спеціальностей; Layton-Jaramillo і Moncada (2024) - базовий курс хімії в коледжі. Той факт, що стратегії, розроблені для суміжних дисциплін, продемонстрували ефективність саме у тих вимірах, які є критичними і для курсу «Неорганічний синтез» – операційне застосування теорії, самостійне планування синтезу, предметна прив'язка дидактичних рішень – підтверджує їхній методичний потенціал. Але водночас це підкреслює ключову прогалину: перенесення цих стратегій на конкретний предмет потребує системного обґрунтування, яке і було здійснено в даній роботі.

Цифрові інструменти мають потенціал компенсувати обмеження традиційного лабораторного практикуму, однак їхня ефективність не є автоматичною. Хіао (2020) підкреслює, що дистанційні і цифрові рішення потребують глибокого методичного осмислення: вони не працюють краще лише через те, що є цифровими. Визначальним є спосіб інтеграції - цифровий інструмент має виконувати конкретну функцію в дидактичній системі курсу. У контексті неорганічного синтезу це означає: симуляційне середовище використовується для формування розуміння механізму реакції до лабораторного практикуму, а не замість нього; засоби молекулярного моделювання - для розвитку просторового мислення при вивченні координаційних сполук, а не як ілюстрація до лекції.

Важливо також зазначити, що врахування когнітивних стилів здобувачів (Ozguir & Yilmaz, 2018) набуває особливого значення в системі неперервної освіти, де значна частина здобувачів - це люди з різним рівнем попередньої підготовки і різними навчальними стратегіями. Виявлена авторами залежність між стилем навчання і результативністю засвоєння матеріалу підтверджує: уніфікований підхід до подачі матеріалу з неорганічного синтезу є одним із прихованих чинників низьких результатів. Персоніфікація завдань - не надмірність, а методична необхідність.

Отже, обговорення результатів підтверджує вихідну гіпотезу дослідження: не існує «універсально ефективної» педагогічної стратегії для курсу неорганічного синтезу. Ефективність визначається предметно-орієнтованою логікою вибору, відповідністю стратегії конкретному дидактичному завданню. Перспективним напрямом є емпірична перевірка запропонованих рекомендацій через вимірювання предметних результатів навчання –датності планувати синтез, інтерпретувати структуру й обґрунтовувати умови реакцій, а не лише загальної навчальної мотивації.

Цифрові інструменти мають потенціал компенсувати обмеження традиційного лабораторного практикуму, однак їхня ефективність не є автоматичною. Хіао (2020) підкреслює, що дистанційні і цифрові рішення потребують глибокого методичного осмислення: вони не працюють краще лише через те, що є цифровими. Визначальним є спосіб інтеграції – цифровий інструмент має виконувати конкретну функцію в дидактичній системі курсу. У контексті неорганічного синтезу це означає: симуляційне середовище використовується для формування розуміння механізму реакції до лабораторного практикуму, а не замість нього; засоби молекулярного моделювання – для розвитку просторового мислення при вивченні координаційних сполук, а не як ілюстрація до лекції.

Важливо також зазначити, що врахування когнітивних стилів здобувачів (Ozguir & Yilmaz, 2018) набуває особливого значення в системі неперервної освіти, де значна частина здобувачів – це люди з різним рівнем попередньої підготовки і різними навчальними стратегіями. Виявлена авторами залежність між стилем навчання і результативністю

засвоєння матеріалу підтверджує: уніфікований підхід до подачі матеріалу з неорганічного синтезу є одним із прихованих чинників низьких результатів. Персоніфікація завдань – не надмірність, а методична необхідність.

Таким чином, обговорення результатів підтверджує вихідну гіпотезу дослідження: не існує «універсально ефективної» педагогічної стратегії для курсу неорганічного синтезу. Ефективність визначається предметно-орієнтованою логікою вибору – відповідністю стратегії конкретному дидактичному завданню. Перспективним напрямом є емпірична перевірка запропонованих рекомендацій через вимірювання предметних результатів навчання – здатності планувати синтез, інтерпретувати структуру й обґрунтовувати умови реакцій, а не лише загальної навчальної мотивації.

Висновки. Проведене дослідження дало змогу встановити, що ефективно викладання тематики неорганічного синтезу в умовах неперервної професійної освіти потребує впровадження комплексних педагогічних рішень, заснованих на поєднанні інноваційних стратегій навчання, актуального наукового змісту та цифрових освітніх технологій. Це дозволяє не лише оновити дидактичне забезпечення навчального процесу, а й істотно підвищити його результативність, орієнтуючи здобувачів освіти на формування професійної автономії, дослідницької культури, критичного мислення й здатності до трансформації знань у практичну діяльність.

Аналіз наукових джерел і освітніх практик засвідчив, що найвищу ефективність у формуванні глибоких знань з неорганічного синтезу демонструють такі підходи: використання реальних результатів сучасних наукових досліджень (зокрема з координаційної хімії), що дозволяє впроваджувати у навчання прикладний зміст; інтеграція цифрових платформ та віртуальних середовищ (Labster, PhET, Molecular Workbench), які забезпечують можливість візуалізації хімічних процесів і моделювання синтезів; орієнтація на індивідуальні освітні потреби через гнучкий педагогічний дизайн і врахування когнітивних стилів здобувачів освіти.

Доведено, що застосування методів проєктного, проблемно-орієнтованого й змішаного навчання сприяє розвитку цілісної професійної компетентності майбутніх учителів хімії. Особливо ефективним є впровадження навчальних ситуацій, що вимагають міждисциплінарного аналізу, рефлексії, прийняття обґрунтованих рішень на основі наукових даних. Усі ці аспекти є складовими компетентнісного підходу, що визначає сучасні парадигми неперервної освіти.

На основі результатів дослідження автором було сформульовано низку методичних рекомендацій, які можуть бути використані викладачами хімії в закладах вищої педагогічної освіти. Серед них – удосконалення навчальних програм шляхом включення актуальних дослідницьких матеріалів, створення цифрово-орієнтованого навчального середовища, організація навчання за допомогою змішаних та адаптивних

моделей, удосконалення системи оцінювання через залучення формульованого оцінювання та цифрових інструментів зворотного зв'язку.

Таким чином, дослідження підтвердило гіпотезу про доцільність інноваційної трансформації викладання неорганічного синтезу в системі неперервної професійної освіти. Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості безпосереднього впровадження запропонованих методичних рішень у педагогічну практику. Перспективи подальших наукових пошуків вбачаються у проведенні емпіричних досліджень з оцінювання ефективності використаних стратегій, розробці методичних пакетів для інтеграції цифрових ресурсів та вивченні міждисциплінарного потенціалу теми неорганічного синтезу в сучасній хімічній освіті. Перспективи подальших досліджень доцільно зосередити на емпіричній перевірці ефективності запропонованих педагогічних стратегій у викладанні неорганічного синтезу, розробці адаптивних цифрових курсів і вивченні міждисциплінарного потенціалу теми. Актуальними є також аналіз міжнародного досвіду та впровадження інтелектуальних технологій у професійну хімічну освіту.

Список використаної літератури

1. Коваль Л., Трунова Є., Пехньо В. Продовження досліджень координаційних сполук. *Український хімічний журнал*. 2022. Т. 87, № 12. С. 63–96. DOI: <https://doi.org/10.33609/2708-129X.87.12.2022.63-96>.
2. Коваль Л., Трунова Є., Пехньо В. Розвиток досліджень координаційних сполук в Інституті загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України. *Український хімічний журнал*. 2021. Т. 87, № 11. С. 21–44. DOI: <https://doi.org/10.33609/2708-129X.87.11.2021.21-44>.
3. Кокшарова Т. та ін. Координаційні сполуки Cu(II), Zn(II) та Ni(II). *Journal of Molecular Structure*. 2022. Vol. 1271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.133980>.
4. Марцинко О. Є., Сейфулліна І. І. Комплекси Ge(IV)–Co(II) з гідроксietилідендифосфоновною кислотою. *Вісник ОНУ. Хімія*. 2022. Т. 27, № 1. С. 31–38.
4. Репост Д. та ін. Вплив дистанційної освіти на компетентності майбутніх учителів хімії. *Науковий вісник МДПУ*. 2023. № 1(30). С. 105–109.
5. Alberto M. C. L. та ін. Innovative strategies to strengthen teaching-researching skills in chemistry and biology education: a systematic literature review. *Frontiers in Education*. 2024. Vol. 9. Article 1363132. DOI: <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1363132>
6. Alwassil O. I. та ін. Innovative pedagogy in medicinal chemistry. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2024. Vol. 11. Article 1284. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03780-1>.
7. Anand S. A. A. та ін. Flipped pedagogy: strategies and technologies in chemistry education. *Journal of Chemical Education*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.133>
8. Bastin L. D. Advances in green chemistry education. *Green and Sustainable Chemistry*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/17518253.2023.2192320>.
9. Etzkorn F. A. та ін. Integrating green chemistry into chemistry education. *Angewandte Chemie International Edition*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.202209768>

10. Garcés A., Sánchez-Barba L. F. An alternative educational approach for an inorganic chemistry laboratory course. *Chemistry Education Research and Practice*. 2011. Vol. 12. P. 101–113. DOI: <https://doi.org/10.1039/C1RP90013G>.
11. Holme T. A. Inorganic chemistry instruction and curriculum over the past. *Journal of Chemical Education*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00341>
12. Jones R. M. Teaching inorganic chemistry: a story of adaptation. *Advances in Teaching Inorganic Chemistry*. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1021/bk-2020-1370.ch001>
13. Kostić D. A. та ін. Multidisciplinary approach to teaching inorganic chemistry. *Current Science*. 2021. Vol. 115, № 2. P. 268–272. DOI: <https://doi.org/10.18520/CS/V115/I2/268-273>
14. Layton-Jaramillo S. E., Moncada L. Design and evaluation of an innovative pedagogical strategy. *Journal of Chemical Education*. 2024. Vol. 101, № 2. P. 247–258. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00262>
15. Lu Q., Ma F., Liu L. Exploration of teaching mode of inorganic synthetic chemistry course. *International Journal of Social Science and Education Research*. 2025. Vol. 8, № 5. P. 54–60. DOI: [https://doi.org/10.6918/IJOSSER.202505_8\(5\).0009](https://doi.org/10.6918/IJOSSER.202505_8(5).0009)
16. Marchak D., Shvarts-Serebro I., Blonder R. Crafting molecular geometries. *Journal of Chemical Education*. 2021. Vol. 98, № 4. P. 1321–1327. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00306>
17. Nehring A. Turning the plurality of chemistry into a resource for teaching. *Science & Education*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11191-025-00624-5>
18. Ozgur S. D., Yilmaz A. An investigation of pre-service chemistry teachers' learning approaches. *European Journal of Educational Research*. 2018. Vol. 7, № 3. P. 731–738. DOI: <https://doi.org/10.12973/eu-jer.7.3.731>
19. Pan S. C., Han J. Y., Fung F. M. Prequestioning enhances student learning. *Journal of Chemical Education*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00345>.
20. Xiao C. Online teaching practices and strategies for inorganic chemistry. *Journal of Chemical Education*. 2020. DOI: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jchemed.0c00642>
21. Yuriev E. та ін. Scaffolding the development of problem-solving skills in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*. 2017. Vol. 18, № 4. P. 593–607. DOI: <https://doi.org/10.1039/C7RP00009J>.

References

- Koval, L., Trunova, Ye., & Piekhno, V. (2022). Prodozhennia doslidzhen koordynatsiinykh spoluk [Continuation of studies of coordination compounds]. *Ukrainskyi khimichnyi zhurnal*, 87(12), 63–96. <https://doi.org/10.33609/2708-129X.87.12.2022.63-96> (ukr)
- Koval, L., Trunova, Ye., & Piekhno, V. (2021). Rozvytok doslidzhen koordynatsiinykh spoluk v Instytuti zahalnoi ta neorhanichnoi khimii im. V. I. Vernadskoho NAN Ukrainy [Development of research on coordination compounds at the V. I. Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry of the NAS of Ukraine]. *Ukrainskyi khimichnyi zhurnal*, 87(11), 21–44. <https://doi.org/10.33609/2708-129X.87.11.2021.21-44> (ukr)
- Koksharova, T. V., et al. (2022). Koordynatsiini spoluky Cu(II), Zn(II) ta Ni(II) [Coordination compounds of Cu(II), Zn(II), and Ni(II)]. *Journal of Molecular Structure*, 1271, Article 133980. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2022.133980> (ukr)
- Martsynko, O. Ye., & Seifullina, I. I. (2022). Kompleksy Ge(IV)–Co(II) z hidroksietylidendyfosfonovoiu kyslotoiu [Ge(IV)–Co(II) complexes with hydroxyethylidene diphosphonic acid]. *Visnyk ONU. Khimii*, 27(1), 31–38. (ukr)
- Repost, D., et al. (2023). Vplyv dystantsiinoi osvity na kompetentnosti maibutnikh uchyteliv khimii [The influence of distance education on the competences of future chemistry teachers]. *Naukovyi visnyk MDPU*, 1(30), 105–109. (ukr)

Alberto, M. C. L., et al. (2024). Innovative strategies to strengthen teaching-researching skills in chemistry and biology education: A systematic literature review. *Frontiers in Education*, 9, Article 1363132. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1363132>

Alwassil, O. I., Almusharraf, A. I., Alzuman, A., Albaz, N., & Alyousif, S. M. (2024). Innovative pedagogy: Nurturing excellence through an effective student-centered approach in medicinal chemistry courses. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, Article 1284. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03780-1>

Anand, S. A. A., et al. (2021). Flipped pedagogy: Strategies and technologies in chemistry education. *Materials Today: Proceedings*, 47, 240–246. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.133>

Bastin, L. D., & Dicks, A. P. (2023). Advances in green chemistry education. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 16(1). <https://doi.org/10.1080/17518253.2023.2192320>

Etzkorn, F. A., & Ferguson, J. L. (2023). Integrating green chemistry into chemistry education. *Angewandte Chemie International Edition*, 62(2), Article e202209768. <https://doi.org/10.1002/anie.202209768>

Garcés, A., & Sánchez-Barba, L. F. (2011). An alternative educational approach for an inorganic chemistry laboratory course in industrial and chemical engineering. *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 101–113. <https://doi.org/10.1039/C1RP90013G>

Holme, T. A. (2023). Inorganic chemistry instruction and curriculum over the past 100 years. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00341>

Jones, R. M. (2020). Teaching inorganic chemistry: A story of adaptation, commitment, and progress. In R. M. Jones (Ed.), *Advances in teaching inorganic chemistry: Volume 1* (pp. 1–2). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2020-1370.ch001>

Kostić, D. A., Nikolić, R. S., Krstić, N. S., Nikolić, M. G., Dimitrijević, V. D., & Simić, S. (2018). Multidisciplinary approach to teaching inorganic chemistry in high school: An example of the topic of metals. *Current Science*, 115(2), 268–273. <https://doi.org/10.18520/cs/v115/i2/268-273>

Layton-Jaramillo, S. E., Villamil Villar, W. A., Aguaded Ramírez, E., & Carrillo Rosúa, J. (2024). Design and evaluation of an innovative pedagogical strategy for undergraduate medical students learning chemistry. *Journal of Chemical Education*, 101(2), 247–258. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00262>

Lu, Q., Ma, F., & Liu, L. (2025). Exploration of teaching mode of inorganic synthetic chemistry course from the perspective of collaborative education in science, education and research. *International Journal of Social Science and Education Research*, 8(5), 54–60. [https://doi.org/10.6918/IJOSSE.202505_8\(5\).0009](https://doi.org/10.6918/IJOSSE.202505_8(5).0009)

Marchak, D., Shvarts-Serebro, I., & Blonder, R. (2021). Crafting molecular geometries: Implications of neuro-pedagogy for teaching chemical content. *Journal of Chemical Education*, 98(4), 1321–1327. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00306>

Nehring, A., & Schanze, S. (2025). Turning the plurality of chemistry into a resource for learning: A core competency of chemistry teachers. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-025-00624-5>

Ozgur, S. D., & Yilmaz, A. (2018). An investigation of pre-service chemistry teachers' learning approaches and inorganic chemistry achievements. *European Journal of Educational Research*, 7(3), 731–738. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.7.3.731>

Pan, S. C., Han, J. Y., & Fung, F. M. (2024). Prequestioning enhances undergraduate students' learning in an environmental chemistry course. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00345>

Xiao, C. (2020). Online teaching practices and strategies for inorganic chemistry using a combined platform based on DingTalk, Learning@ZJU, and WeChat. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00642>

Yuriev, E., et al. (2017). Scaffolding the development of problem-solving skills in chemistry: Guiding novice students out of dead ends and false starts. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 593–607. <https://doi.org/10.1039/C7RP000>

Olena Kochubei

<https://orcid.org/0000-0002-5047-6694>

doctor of Philosophy,

Teacher of the Department of Chemistry and Ecology,

Uman State Pedagogical University named after Pavlo Tychyna, 2

Sadova St., Uman, Ukraine

sncelelena@gmail.com

Innovative pedagogical strategies for deepening knowledge of inorganic synthesis in the system of continuous vocational education

Abstract. *The article investigates the problem of methodological support for teaching the discipline "Inorganic Synthesis" in the system of continuous professional education of future chemistry teachers. The relevance is due to the contradiction between the growing requirements for the subject and research competence of chemistry teachers and the insufficient methodological development of approaches to teaching the specified discipline in the conditions of digitalization of the educational process. The purpose of the article is the theoretical substantiation and systematization of pedagogical strategies, the application of which forms in applicants the ability to plan and analyze synthetic processes, interpret the structural and thermal properties of inorganic compounds, and also develops critical thinking and readiness for innovative pedagogical activity. The methodology combines theoretical analysis of domestic and foreign scientific and pedagogical sources (Scopus, Web of Science, ERIC), comparative and pedagogical analysis of practices of continuous chemical education of different countries and content analysis of curricula and digital platforms. Three key strategic directions are identified: integration of scientific content in coordination chemistry as a basis for case methodology and problem-based tasks; use of digital tools - virtual laboratories (Labster), simulation environments (PhET) - for practicing synthetic procedures and visualizing reaction mechanisms; use of project and blended learning to form research skills and pedagogical reflection. Methodological recommendations are proposed for updating the content and forms of the course. It is substantiated that the effectiveness of each strategy is determined by its subject-specific binding to the course objectives: understanding the mechanisms of coordination compound formation, planning synthetic routes, safe implementation of laboratory practice. Prospects for further research are seen in empirical verification of strategies based on measuring subject learning outcomes and developing adaptive digital courses.*

Keywords: *inorganic synthesis, chemical education, innovative pedagogical strategies, coordination compounds, digital technologies, professional training,*

blended learning, virtual laboratories, pedagogical competence, STEM education.

Стаття надійшла до редакції: 20.03.2026.

Прийнята до друку: 18.06.26.

Опублікована: 30.06.26.

DOI: <https://doi.org/10.28925/2312-5829/2026.1.13>

УДК 37.091.3:911

Тетяна ЄМЧУК,

<https://orcid.org/0000-0002-3533-9587>,

кандидат географічних наук, доцент, асистент кафедри економічної географії та екологічного менеджменту географічного факультету, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, вул. М. Коцюбинського, 2, 58012 Чернівці, Україна, t.iemchuk@chnu.edu.ua

Дидактична автономія вчителя географії у контексті формування просторового мислення учнів

***Анотація.** У статті здійснено теоретико-педагогічний аналіз дидактичної автономії вчителя географії як важливої педагогічної умови формування просторового мислення учнів у контексті реалізації ідей Нової української школи. Актуальність дослідження зумовлена суперечністю між стандартизацією змісту загальної середньої освіти та потребою у гнучкій педагогічній інтерпретації навчальних програм, орієнтованих на компетентнісні результати навчання.*

На основі узагальнення сучасних наукових підходів і нормативно-правових засад освіти запропоновано авторське визначення поняття «дидактична автономія вчителя географії», яке розглядається як інтегрована професійно-педагогічна характеристика, спрямована на самостійний добір і адаптацію змісту, методів, форм та засобів навчання з метою розвитку просторового мислення учнів. Уточнено та графічно представлено структурно-функціональну модель дидактичної автономії, що охоплює змістовий, методичний, організаційний та оціночно-рефлексивний компоненти, взаємодія яких забезпечує реалізацію діяльнісного підходу у навчанні географії. Емпіричну частину дослідження становить анкетування вчителів географії закладів загальної середньої освіти, спрямоване на виявлення реальних проявів дидактичної автономії та використовуваних методів розвитку просторового мислення. Результати опитування засвідчили, що вищий рівень дидактичної автономії педагогів корелює з активнішим використанням дослідницьких, проєктних і краєзнавчих методів навчання, тоді як застосування геоінформаційних технологій та польових досліджень стримується