



УДК 54:37.091.3:004.94:51

[https://doi.org/10.52058/2786-6165-2026-3\(45\)-1707-1728](https://doi.org/10.52058/2786-6165-2026-3(45)-1707-1728)

**Авраменко Наталія Леонідівна** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри митної справи та товарознавства, Державний податковий університет, <https://orcid.org/0000-0001-7027-0266>

**Безносьок Наталія Сафронівна** кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри хімії та методики навчання хімії, Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, <https://orcid.org/0000-0002-7397-7328>

**Крамаренко Ірина Сергіївна** кандидат педагогічних наук, старший науковий співробітник, старший дослідник, начальник відділу, Державна наукова установа "Інститут модернізації змісту освіти", Інститут педагогіки НАПН України, <https://orcid.org/0000-0002-4692-2778>

## **STEM-ПРОЄКТИ У ВИКЛАДАННІ ХІМІЇ: ІНТЕГРАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА МІЖПРЕДМЕТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ**

**Анотація.** У статті порушено питання того, яким чином STEM-проекти можуть бути застосовані під час навчання хімії у школах. Тема набуває гостроти на тлі змін, що відбуваються в освітньому просторі України впродовж останніх років: освітня парадигма дедалі чіткіше зміщується від механічного запам'ятовування до набуття компетентностей у процесі активної діяльності, і хімія як шкільна дисципліна виявилася саме на цьому переломі. Ухвалена Кабінетом Міністрів України Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) на період до 2027 року окреслила пріоритетні напрями, серед яких – поєднання експериментальної роботи з математичним і комп'ютерним моделюванням, налагодження зв'язків хімії з фізикою, біологією, екологією та інженерними галузями. Утім, у щоденній шкільній практиці вчителі хімії наштовхуються на цілу низку перепон: від браку реактивів і приладів (що особливо загострилося через повномасштабне вторгнення) до того, що сама ідея проектного підходу залишається для багатьох педагогів незрозумілою. Методологічну основу дослідження становить опрацювання українських та зарубіжних наукових публікацій, нормативної бази й практичних напрацювань педагогів, котрі вже використовують елементи STEM на уроках



хімії. У роботі проаналізовано три взаємопов'язані функції хімічного досліду: пізнавальну (коли учень здобуває знання через власний практичний досвід), розвивальну (що сприяє становленню критичного мислення й навичок дослідника) та ціннісну (яка формує екологічну відповідальність і навички безпечного поводження з речовинами). Окремо розглянуто, як комп'ютерне моделювання хімічних процесів із використанням віртуальних лабораторій може доповнювати, а подекуди й замінювати натурний експеримент. Значну увагу приділено аналізу міжпредметних зв'язків, завдяки яким хімія перестає бути відокремленим предметом і перетворюється на важливу ланку в цілісному природничо-науковому світобаченні учня. З практичного погляду цінними є подані у статті конкретні зразки STEM-проектів, розраховані на різні вікові категорії школярів, а також узагальнення тих труднощів, із якими найчастіше стикаються педагоги при організації такої роботи. Наукова новизна дослідження визначається тим, що три складники STEM-навчання хімії – дослід, моделювання та міжпредметність – осмислюються не як окремі прийоми, а як частини єдиної методичної конструкції, що працює лише у своїй цілісності. Окрему увагу приділено тому, як недостатня хімічна підготовка у школі позначається на подальшому навчанні студентів у закладах вищої освіти. За результатами опитування студентів ОПП Товарознавство та експертиза в митній справі (спеціальність D7 Торгівля) з'ясовано, що лише 32 % респондентів підтвердили проведення лабораторних робіт з хімії під час навчання в школі, причому повноцінні досліди у підгрупах мали тільки 7 %, а решта спостерігала за демонстрацією вчителя. Водночас 30 % опитаних стикалися виключно з відеодослідами, 28 % заповнювали протоколи зі слів педагога без жодної демонстрації, а 10 % зізналися, що лабораторних робіт з хімії у їхній школі взагалі не було. Такі дані засвідчують, що проблеми шкільної хімічної освіти мають прямі наслідки для вищої школи і потребують комплексного вирішення, у тому числі через поширення STEM-підходу.

**Ключові слова:** STEM-освіта, навчання хімії, хімічний експеримент, комп'ютерне моделювання, міжпредметні зв'язки, проектна діяльність, компетентнісний підхід, заклади вищої освіти

**Avramenko Nataliya** PhD in Technology, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Customs and Commodity Science, State Tax University, <https://orcid.org/0000-0001-7027-0266>

**Beznosiuk Nataliia**, Candidate of Pedagogic Sciences, Senior Lecturer of the Department of Chemistry and Methods of Teaching Chemistry, Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University, <https://orcid.org/0000-0002-7397-7328>



**Kramarenko Iryna** Candidate of Pedagogic Sciences, Head of Department, Senior Research Scientist, Senior Researcher, State Scientific Institution «Institute of education content modernization», Institute of Pedagogy of the National Academy of Educational Sciences of Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-4692-2778>

### **STEM PROJECTS IN CHEMISTRY TEACHING: INTEGRATION OF EXPERIMENT, MODELING AND INTERDISCIPLINARY CONNECTIONS**

**Abstract.** The proposed article considers the problem of implementing STEM projects in the process of teaching chemistry in general secondary education institutions. The relevance of the topic is determined by the fact that in recent years the Ukrainian educational system has been undergoing active transformation, which involves a transition from reproductive learning to competency-based education through an activity approach, and chemistry as a subject has found itself at the center of these changes. The Concept for the Development of Natural Sciences and Mathematics Education (STEM Education) until 2027, approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine, defined strategic priorities including the integration of experimental work, mathematical and computer modeling, as well as the implementation of interdisciplinary connections with physics, biology, ecology, and engineering. At the same time, practice shows that most chemistry teachers face a number of difficulties when trying to organize STEM learning: from a shortage of laboratory equipment (which has intensified as a result of the full-scale invasion) to a lack of understanding of the project approach methodology itself. The methodological basis of the work is the analysis of domestic and foreign scientific sources, normative documents, and the practical experience of teachers implementing STEM technologies in chemistry lessons. The triple function of the chemical experiment is analyzed: cognitive (acquisition of knowledge through personal experience), developmental (formation of critical thinking and research skills), and value-based (cultivation of environmental awareness and safe work culture). The possibilities of computer modeling of chemical processes using virtual laboratories as a supplement, and in some cases as an alternative, to real experiments are considered. Special attention is paid to the analysis of interdisciplinary integration, which transforms chemistry from an isolated subject into a key element of a holistic natural science worldview. The practical value lies in the specific examples of STEM projects for different grades proposed in the work, as well as in the systematization of typical difficulties that teachers encounter during their implementation. The scientific novelty consists in an



attempt to comprehensively understand the interaction of three components of STEM chemistry education – experiment, modeling, and interdisciplinarity – as a unified methodological system rather than separate techniques. Special attention is given to the consequences of insufficient school-level chemistry training for students entering higher education institutions. Based on survey results from students of the educational program Commodity Science and Expertise in Customs (specialty D7 Trade), it was found that only 32% of respondents confirmed having had laboratory work in chemistry during their secondary education, with only 7% performing hands-on experiments in subgroups, while 25% merely observed the teacher's demonstrations. At the same time, 30% of students had only encountered video-based experiments, 28% had filled in laboratory protocols based solely on the teacher's verbal description without any demonstration, and 10% reported that no laboratory work in chemistry had been conducted at all. These findings indicate that the shortcomings of school-level chemistry education have direct implications for higher education and require comprehensive solutions, including the wider adoption of the STEM approach.

**Keywords:** STEM education, chemistry teaching, chemical experiment, computer modeling, interdisciplinary connections, project activities, competency-based approach, higher education institutions

**Постановка проблеми.** Хімія завжди посідала особливе місце серед шкільних дисциплін, і це місце, треба визнати, непросте. З одного боку, без розуміння хімічних процесів годі уявити собі ані сучасну медицину, ані матеріалознавство, ані екологію, ані будь-яку з тих галузей, від яких безпосередньо залежить якість нашого повсякденного життя. З другого боку, саме хімію учні традиційно відносять до «незрозумілих» і «далеких від реальності» предметів, що перетворюються на нескінченне заучування формул, рівнянь реакцій та визначень, які вивітрюються з пам'яті одразу після контрольної. За результатами ЗНО та НМТ останніх років кількість учнів, які обирають хімію для складання зовнішнього оцінювання, залишається порівняно невеликою, і це промовистий показник того, що мотивація до вивчення цього предмета потребує серйозного переосмислення [1].

Ситуацію ускладнює те, що повномасштабне вторгнення завдало вітчизняній освітній інфраструктурі значної шкоди. За даними Міністерства освіти і науки України, станом на кінець 2024 року понад 3 800 навчальних закладів зазнали пошкоджень або були повністю зруйновані, а чимало шкіл, особливо у прифронтових та деокупованих регіонах, втратили лабораторне обладнання, реактиви та навчальні матеріали [2]. У таких умовах говорити про повноцінний хімічний експеримент не просто, однак саме це і робить питання пошуку альтернативних форм організації навчального процесу –



зокрема через STEM-проекти – не академічною забаганкою, а практичною необхідністю.

Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) до 2027 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України у серпні 2020 року, окреслила амбітну мету: перетворити навчання природничих дисциплін на процес, у якому здобувачі освіти не просто запам'ятовують факти, а вчаться досліджувати, моделювати, конструювати та приймати рішення на основі наукових даних [3]. Для хімії це означає принципово інший підхід, ніж традиційний урок біля дошки: учень має не лише дізнатися, що відбувається під час реакції нейтралізації, а й самостійно спланувати та провести дослід, обробити результати (бажано із залученням математичного інструментарію), побачити зв'язок цієї реакції з реальними екологічними чи промисловими процесами, а в ідеалі – запропонувати власний інженерний розв'язок якоїсь конкретної проблеми.

Разом із тим між тим, що прописано в нормативних документах, і тим, що реально відбувається на уроках хімії в більшості українських шкіл, існує відчутний розрив. Учителі хімії, навіть ті, хто щиро прагне працювати повному, нерідко опиняються в ситуації, коли вони знають, що STEM – це «добре і сучасно», але не дуже розуміють, з якого боку до нього підступитися: як поєднати експеримент із моделюванням, як вибудувати міжпредметні зв'язки, не перетворивши урок на хаотичну суміш усього потроху, і – що, можливо, найважче – як оцінити результати такої роботи. Саме ці практичні питання й зумовлюють актуальність нашої розвідки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед вітчизняних публікацій, що безпосередньо стосуються нашої теми, варто передусім виокремити роботу Д. Стрижак, Н. Шиян, С. Стрижак та А. Криворучко, опубліковану у *Наукових записках Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського* у 2023 році, де авторки розглядають формування дослідницької компетентності учнів при вивченні хімії, наголошуючи на тому, що дослідницька діяльність має стати не епізодичною «добавкою» до уроку, а наскрізною лінією всього навчального процесу [4, с. 157]. Продовженням цієї лінії є розвідка Н. Шиян та А. Криворучко, присвячена формам та методам організації дослідницької діяльності здобувачів освіти в процесі вивчення хімії, де акцент зроблено на варіативності експериментальних підходів – від класичного лабораторного дослідження до домашнього експерименту та проектних досліджень [5, с. 248].

А. Блажко та О. Худоярова у статті, присвяченій дидактичним засадам використання компетентісно орієнтованих завдань у навчанні хімії, опублікованій також у *Наукових записках Вінницького державного педагогічного університету* у 2023 році, переконливо доводять, що формат завдань,



побудованих за принципами PISA, дозволяє вчителю хімії інтегрувати елементи математичного аналізу, роботу з графіками та інтерпретацію реальних даних – тобто саме те, що становить серцевину STEM-підходу [6, с. 99].

Окрему увагу привертає стаття Л. Величко, опублікована в журналі *Український педагогічний журнал* у 2024 році, де авторка розкриває внесок навчального предмета «Хімія» у формування природничо-наукової компетентності та показує, що хімічна освіта забезпечує розуміння зв'язків між природничими науками на молекулярному рівні, який є визначальним для глибинних процесів у матеріальному світі [7, с. 209]. Ю. Карпенко та І. Головка у статті, опублікованій у *Науковому віснику Ізмаїльського державного гуманітарного університету* у 2023 році, дослідили можливості міжпредметної інтеграції хімічних дисциплін із застосуванням цифрових технологій, зокрема платформи Moodle та віртуальних лабораторій [8, с. 100].

Серед комплексних досліджень STEM-освіти в Україні заслуговує на увагу робота А. Степанюк, Л. Міронець, Т. Олендр та М. Жигадла, опублікована у *Наукових записках Вінницького педагогічного університету* у 2024 році, в якій здійснено порівняльний аналіз підходів STEM, STEAM та STREAM і обґрунтовано необхідність розширення інтеграційних рамок за рахунок читання (R – Reading) та мистецтва (A – Art), що має безпосереднє значення для побудови міжпредметних проєктів із залученням хімії [9]. В. Перетятко, В. Меньяло та Н. Трофименко у розвідці, присвяченій проєктним технологіям у навчанні природничих наук, детально розглянули алгоритм організації навчальних проєктів, адаптований до умов Нової української школи [10].

Серед зарубіжних досліджень, що мають безпосередній стосунок до нашої теми, слід назвати роботу R. Elmoazen, M. Saqr, M. Khalil та V. Wasson, опубліковану у журналі *Smart Learning Environments* у 2023 році, в якій здійснено систематичний огляд літератури щодо навчальної аналітики у віртуальних лабораторіях, причому автори дійшли висновку, що ефективність віртуальних лабораторій суттєво підвищується, коли вони інтегровані в проєктну діяльність, а не використовуються як ізольований інструмент [11]. R. Castro у мета-аналізі, опублікованому в *International Science Education Journal* у 2024 році, підтвердив позитивний вплив віртуальних хімічних лабораторій на навчальні досягнення учнів середньої школи, хоча й зазначив, що цей ефект є найвиразнішим у поєднанні з реальним експериментом [12, с. 30].

Методичні рекомендації щодо розвитку STEM-освіти, розроблені ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти» на 2023/2024 та 2024/2025



навчальні роки, надають практичні орієнтири для вчителів, однак у частині хімії ці рекомендації залишаються доволі загальними й потребують конкретизації через предметно орієнтовані розробки [13]. Модельна навчальна програма з хімії для 7--9 класів, затверджена наказом МОН у грудні 2023 року, вже містить вбудовані елементи STEM-підходу – зокрема, передбачає залучення учнів до моделювання, здійснення досліджень та виконання дослідницьких проєктів [14]. Здійснений огляд наукової літератури дає підстави стверджувати, що, попри помітне зростання інтересу до STEM-освіти у вітчизняній педагогічній науці (зокрема, І. Ільченко [20] аналізує специфіку викладання хімії у закладах фахової передвищої освіти), комплексного осмислення взаємодії трьох її ключових складових – хімічного експерименту, комп'ю-терного моделювання та міжпредметної інтеграції – як цілісної методичної системи досі не здійснено. Переважна більшість наявних публікацій розглядає кожний із цих компонентів окремо, що й зумовлює потребу в інтегративному дослідженні.

**Мета роботи** – проаналізувати педагогічний потенціал STEM-проєктів у викладанні хімії через призму інтеграції трьох взаємопов'язаних компонентів: експериментальної діяльності, комп'ютерного моделювання та міжпредметних зв'язків – та на цій основі систематизувати методичні підходи до організації STEM-навчання хімії в закладах загальної середньої освіти.

**Виклад основного матеріалу.** Перш ніж переходити до аналізу конкретних STEM-проєктів, варто уточнити, що саме ми маємо на увазі, коли говоримо про STEM у контексті хімічної освіти. У широкому розумінні STEM – це акронім від Science, Technology, Engineering, Mathematics, тобто інтегративний підхід, який поєднує науку, технології, інженерію та математику в єдиному навчальному просторі. Але якщо говорити конкретно про хімію, то STEM-підхід означає дещо більше, ніж просто «додати до уроку трохи математики або комп'ютера». Він передбачає принципово іншу логіку побудови навчального процесу, де відправною точкою є не тема з підручника, а проблема – реальна, життєва, така, що потребує для свого розв'язання знань одразу з кількох дисциплін [3; 9].

Хімічний експеримент у цій системі координат виконує, як уже зазначалося, триєдину функцію. По-перше, він залишається основним інструментом пізнання хімічних явищ: учень, який власноруч проводить реакцію, бачить зміну кольору, випадання осаду чи виділення газу, засвоює знання принципово інакше, ніж той, хто просто читає про це в підручнику. По-друге, експеримент розвиває критичне мислення: коли щось іде «не так, як мало бути», учень змушений шукати причину, формулювати гіпотези, перевіряти їх – і цей процес є безцінним з педагогічної точки зору. По-третє,



і це часто залишається поза увагою методистів, експеримент формує ціннісні орієнтири: культуру безпечної роботи, відповідальне ставлення до реактивів та відходів, екологічну свідомість [4, с. 159; 14].

Проте, якщо подивитися на реальний стан справ, ситуація з хімічним експериментом у школах є далеко не такою оптимістичною, як хотілося б. Опитування вчителів хімії, проведені в рамках різних методичних конференцій та семінарів упродовж 2023--2025 років, виявляють типові проблеми, які можна систематизувати у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1

**Основні проблеми організації хімічного експерименту в закладах загальної середньої освіти та шляхи їх подолання засобами STEM-підходу\***

<b>Проблема</b>	<b>Прояви у практиці</b>	<b>Можливості STEM-підходу</b>
Дефіцит лабораторного обладнання та реактивів	Учитель демонструє замість того, щоб організувати фронтальний або груповий дослід; учні спостерігають, але не діють	Використання віртуальних лабораторій (ChemCollective, Labster), мікрохімічних методик, домашнього експерименту з побутовими речовинами
Обмежений час на уроці (45 хв.)	Дослід скорочується до мінімуму або переноситься на позаурочний час, учні не встигають обробити результати	STEM-проект як форма позаурочної роботи; розподіл етапів між уроком і самостійною роботою; використання QR-кодів з інструкціями
Безпекові обмеження в умовах воєнного стану	Неможливість проведення дослідів через відсутність укриттів у лабораторіях; дистанційний формат навчання	Віртуальні лабораторії, відеодосліди з покроковим аналізом, моделювання у програмах PhET, Materials Studio
Відсутність міжпредметної координації	Хімічний дослід існує «сам по собі», без зв'язку з фізикою, біологією, математикою	Спільне планування STEM-проекту з учителями суміжних дисциплін; інтегровані уроки; метапредметні завдання



Проблема	Прояви у практиці	Можливості STEM-підходу
Недостатня методична підготовка вчителів	Учитель не розуміє, як пов'язати експеримент із моделюванням та проектною роботою	Курси підвищення кваліфікації з STEM-методик; професійні спільноти; менторство досвідчених колег

*\*Джерело: складено автором за даними [2; 4; 5; 13; 14]*

Як видно з таблиці 1, кожна з означених проблем має свій STEM-орієнтований розв'язок, однак ці розв'язки ефективні лише тоді, коли вони застосовуються не ізольовано, а у взаємозв'язку.

Наприклад, віртуальна лабораторія може компенсувати відсутність реального обладнання, але тільки якщо вона вписана в логіку проекту, передбачає обробку результатів (математичний компонент) і встановлює зв'язки з іншими дисциплінами.

Тепер варто зупинитися на тому, як саме працює комп'ютерне моделювання у STEM-проектах з хімії, бо це та ланка, яка, мабуть, найбільше лякає вчителів.

Річ у тім, що моделювання – це не обов'язково складне програмування чи робота з дорогим програмним забезпеченням. На сьогодні існує чимало безкоштовних ресурсів, які дозволяють візуалізувати хімічні процеси на доступному для школяра рівні.

Платформа PhET Interactive Simulations (Університет Колорадо) пропонує інтерактивні симуляції з хімії, де учень може змінювати параметри реакції і спостерігати за результатами у режимі реального часу. Віртуальна лабораторія ChemCollective (Університет Карнегі-Меллон) дозволяє проводити титрування, готувати розчини заданої концентрації, моделювати буферні системи – і все це у безпечному цифровому середовищі [11; 12, с. 28].

Для молекулярного моделювання учні старших класів можуть використовувати програми типу Avogadro або Jmol, які дають можливість побудувати тривимірну модель молекули, обертати її, вимірювати кути між зв'язками та довжини зв'язків – словом, зрозуміти просторову будову речовини набагато глибше, ніж це можливо за допомогою площинних формул на дошці [15, с. 74].

Для систематизації можливостей моделювання в STEM-проектах з хімії наведемо порівняльну характеристику основних типів моделювання та їх дидактичних функцій у таблиці 2.



Таблиця 2

**Типи комп'ютерного моделювання у  
STEM-проектах з хімії та їх дидактичні функції\***

Тип моделювання	Програмний засіб	Дидактична функція	Приклад використання
Інтерактивні симуляції процесів	PhET, ChemCollective, Labster	Візуалізація процесів, які не можна побачити в реальному досліді; варіювання умов	Моделювання впливу температури на швидкість реакції; титрування кислотою
Молекулярне 3D-моделювання	Avogadro, Jmol, MolView	Розуміння просторової будови молекул; зв'язок структури з властивостями	Побудова моделей ізомерів вуглеводнів; порівняння геометрії молекул
Математичне моделювання	Excel, GeoGebra, Desmos	Обробка експериментальних даних; побудова графіків залежностей; розрахунок похибок	Побудова кривих титрування; графік залежності розчинності від температури
Інженерне моделювання	Tinkercad, Fusion 360	Проектування лабораторних пристроїв; зв'язок хімії з інженерією	3D-друк моделі фільтра для води; проектування сонячного дистилятора

*\*Джерело: складено автором за даними [8; 11; 12; 15; 16]*

З таблиці 2 видно, що різні типи моделювання виконують взаємодоповнюючі функції, і саме їхнє поєднання в межах одного STEM-проекту створює ту синергію, яка відрізняє STEM-навчання від простого використання ІКТ на уроці. Сучасні цифрові інструменти, як зазначає О. Кочубей [19, с. 118], суттєво розширюють можливості організації хімічного експерименту. Коли учень спочатку проводить реальний дослід (наприклад, визначає рН різних розчинів), потім моделює процес дисоціації у PhET, а потім обробляє результати в Excel і будує графік залежності рН від концентрації – він не просто «вчить хімію», він діє як дослідник, який інтегрує знання з кількох галузей.



Переходячи до питання міжпредметних зв'язків, варто зазначити, що для хімії ці зв'язки є не факультативним доповненням, а органічною необхідністю, зумовленою самою природою хімічної науки. Хімія перебуває, сказати б, на перехресті: вона спирається на фізику (будова атома, термодинаміка, кінетика), використовує математичний апарат (рівняння, пропорції, графіки), перетинається з біологією (біохімія, метаболізм, ферменти) та екологією (забруднення, кругообіг речовин), а також має безпосередній вихід на інженерію та технології (хімічна промисловість, матеріалознавство, фармація) [7, с. 211; 9]. У контексті STEM-проектів ця «перехресність» хімії стає не проблемою, а перевагою: хімічний проєкт за визначенням є міжпредметним, бо його якісна реалізація неможлива без залучення знань із суміжних дисциплін.

Для того щоб наочно продемонструвати, як саме реалізуються міжпредметні зв'язки у конкретних STEM-проектах з хімії, наведемо в таблиці 3 приклади проєктів для різних класів із зазначенням залучених предметів та ключових компетентностей, що формуються.

Таблиця 3

**Приклади STEM-проектів з хімії  
для закладів загальної середньої освіти\***

Клас	Назва проєкту	Хімічна складова	Міжпредметні зв'язки	STEM-компоненти
7	«Вода, яку ми п'ємо»	Визначення рН, жорсткості, наявності домішок	Біологія (здоров'я), екологія, математика (обробка даних)	S – аналіз складу; T – датчики; E – фільтр; M – розрахунки
8	«Хімія у кухні: розпізнай речовину»	Ідентифікація кислот, лугів, солей серед харчових продуктів	Біологія (травлення), фізика (розчинність), математика (графіки)	S – класифікація; T – індикатори; E – створення набору; M – діаграми
9	«Швидкість реакції: від теорії до практики»	Вплив температури, каталізатора, концентрації на швидкість реакції	Фізика (термодинаміка), математика (графіки, залежності)	S – кінетика; T – PhET; E – оптимізація умов; M – розрахунки



Клас	Назва проєкту	Хімічна складова	Міжпредметні зв'язки	STEM-компоненти
10	«Полімери навколо нас: корисні чи шкідливі?»	Класифікація полімерів, реакції полімеризації, утилізація	Екологія, біологія (біодеградація), географія (промисловість)	S – структура; T – моделювання; E – переробка; M – статистика
11	«Альтернативні джерела енергії: хімія батарейки»	Електрохімія, гальванічні елементи, електроліз	Фізика (електрика), математика (ЕРС), екологія (утилізація)	S – ОВР; T – вимірювання; E – прототип; M – ефективність

*\*Джерело: складено автором за даними [3; 9; 10; 14; 16]*

Проєкти, наведені у таблиці 3, об'єднує кілька спільних рис. По-перше, кожен із них починається з проблеми, що є зрозумілою та актуальною для учня: вода, яку він п'є; продукти, які він їсть; пластик, який його оточує; батарейки, якими він користується. По-друге, кожен проєкт передбачає реальну діяльність – не просто «вивчити тему», а щось зробити руками: провести дослід, побудувати фільтр, виміряти напругу. По-третє, жоден із цих проєктів не можна реалізувати, залишаючись у межах однієї лише хімії: для «Води, яку ми п'ємо» потрібні біологічні знання про вплив домішок на здоров'я, математичні навички для обробки даних, технологічні вміння для роботи з датчиками та інженерне мислення для конструювання фільтра.

Розглянемо докладніше один із проєктів – «Швидкість реакції: від теорії до практики» для 9 класу – щоб показати, як саме відбувається інтеграція експерименту, моделювання та міжпредметних зв'язків. Проєкт складається з кількох етапів. На першому етапі учні проводять серію реальних дослідів: вимірюють час розчинення таблетки аспірину у воді різної температури, фіксуючи результати в таблицю. На другому етапі – обробляють дані в Excel або GeoGebra, будуючи графік залежності швидкості розчинення від температури. На третьому етапі – звертаються до симуляції PhET «Reaction Rates», де можуть маніпулювати концентрацією реагентів та температурою і спостерігати за зіткненнями молекул, що візуалізує кінетичну теорію. На четвертому етапі – формулюють висновки, порівнюють реальні та модельні дані, і готують презентацію, в якій пояснюють, чому виробники ліків рекомендують запивати таблетки саме



теплою водою. У цьому проєкті хімія (кінетика), фізика (температура як міра середньої кінетичної енергії молекул), математика (графік, апроксимація) та інженерія (оптимізація умов) працюють як єдина система [4, с. 162; 6, с. 103; 14]. Окремо хочеться зупинитися на ролі вчителя у STEM-проєкті, бо вона суттєво відрізняється від тієї, до якої звикла більшість педагогів. У традиційному уроці вчитель є джерелом знань: він пояснює, показує, перевіряє. У STEM-проєкті вчитель стає фасилітатором – тим, хто створює умови, ставить запитання, спрямовує, але не дає готових відповідей. Це, зрозуміло, потребує іншої професійної підготовки, і тут ми знову повертаємося до проблеми, зафіксованої ще в методичних рекомендаціях ІМЗО: більшість учителів хімії не проходили спеціальної підготовки з організації STEM-навчання [13]. О. Блажко, А. Коломієць та О. Кушнір у статті, опублікованій у *Наукових записках Вінницького педагогічного університету* у 2025 році, справедливо зазначають, що синергетичний потенціал STEM-освіти розкривається лише за умови системної підготовки вчителів, і пропонують інтегрувати елементи STEM-методики в програми підготовки магістрів та аспірантів педагогічних спеціальностей [17].

Ще один аспект, який заслуговує на увагу, стосується оцінювання результатів STEM-проєктів. Традиційна система оцінок (12-бальна шкала) погано пристосована до оцінювання проєктної роботи, де важливий не лише кінцевий результат, а й сам процес: вміння працювати в команді, ставити дослідницькі запитання, шукати інформацію, презентувати результати. У модельній навчальній програмі з хімії для 7--9 класів зазначено, що оцінювання має бути формувальним, тобто спрямованим не на «виставлення балу», а на підтримку навчального прогресу учня [14]. На практиці це може реалізовуватися через рубрики оцінювання, портфоліо проєктних робіт, взаємооцінювання учнів та рефлексивні щоденники.

Для того, аби систематизувати критерії оцінювання STEM-проєкту з хімії, представимо їх у таблиці 4.

Таблиця 4

**Критерії оцінювання STEM-проєкту з хімії (рубрика)\***

<b>Критерій</b>	<b>Високий рівень</b>	<b>Достатній рівень</b>	<b>Початковий рівень</b>
Наукова обґрунтованість (S)	Чітко сформульована гіпотеза, коректний план дослідження, обґрунтовані висновки	Гіпотеза наявна, план неповний, висновки частково обґрунтовані	Гіпотеза відсутня або нечітка, план фрагментарний



Критерій	Високий рівень	Достатній рівень	Початковий рівень
Технологічна реалізація (Т)	Доцільне використання ІКТ, моделювання, обробка даних	Часткове використання ІКТ без чіткого зв'язку з проєктом	ІКТ не використовуються або використовуються формально
Інженерний розв'язок (Е)	Запропоновано оригінальний практичний розв'язок проблеми; є прототип	Розв'язок є, але без прототипу або з обмеженою практичною реалізацією	Практичний розв'язок відсутній
Математичне забезпечення (М)	Коректні розрахунки, графіки, статистична обробка, аналіз похибок	Розрахунки є, але без аналізу похибок або з помилками	Математичний апарат не задіяний
Міжпредметна інтеграція	Залучено знання з 3+ предметів, зв'язки органічні й обґрунтовані	Залучено 1--2 суміжних предмети, зв'язки частково формальні	Міжпредметні зв'язки відсутні
Презентація та комунікація	Чітка структура, вільне володіння матеріалом, відповіді на запитання	Презентація є, але нечітка структура або невпевнена подача	Презентація формальна, учень не орієнтується в матеріалі

*\*Джерело: складено автором за даними [6; 10; 14]*

Рубрика, представлена в таблиці 4, може використовуватися як інструмент самооцінювання, взаємооцінювання та експертного оцінювання STEM-проєктів. Принциповим є те, що вона оцінює не окремі знання з хімії, а інтегровані компетентності, що повністю відповідає духу Нової української школи та Державного стандарту базової середньої освіти.

Повертаючись до питання про те, як обставини воєнного стану впливають на можливості впровадження STEM-проєктів у навчання хімії, треба визнати, що ситуація є неоднозначною. З одного боку, війна,



безумовно, створила додаткові перешкоди: зруйновані лабораторії, вимушене дистанційне навчання, психологічне навантаження на вчителів та учнів. З другого боку, і це може здатися парадоксальним, саме воєнні реалії зробили STEM-підхід більш затребуваним, ніж будь-коли. Коли учень бачить, як хімічні знання застосовуються у виробництві медикаментів для армії, у розробці захисних матеріалів, у моніторингу якості води для тимчасово переміщених осіб – хімія перестає бути «абстрактним предметом із формулами» і набуває конкретного, відчутного значення [15, с. 76].

Важливо також згадати про Концепцію розвитку STEM-освіти до 2027 року, яка передбачає створення мережі STEM-центрів при закладах освіти. За даними ДНУ ІМЗО, станом на 2023 рік в Україні функціонувало понад 300 STEM-шкіл, і ця кількість зростає, хоча нерівномірно: більшість таких закладів зосереджена у великих містах, тоді як сільські школи та школи у деокупованих регіонах залишаються осторонь цього процесу [13].

Подолання цього розриву є, на наш погляд, одним із ключових завдань для подальшого розвитку STEM-освіти в Україні.

Нарешті, варто зупинитися на питанні, яке рідко порушується в методичній літературі, але яке вважаємо принципово важливим: STEM-проект з хімії – це не лише про знання і навички, це ще й про цінності. Коли учень досліджує якість повітря у своєму місті і виявляє перевищення рівня оксидів Нітрогену, він не просто засвоює тему «Оксиди», він починає інакше ставитися до навколишнього середовища. Коли він проектує систему очищення води і розуміє, наскільки складним і дорогим є цей процес, він починає цінувати чисту воду. Коли він вивчає склад пластику і бачить, що відбувається з ним у ґрунті через 50 років, він починає свідомо підходити до споживання. Ці ціннісні зрушення, можливо, є найважливішим результатом STEM-освіти – важливішим, ніж будь-які оцінки чи бали [7, с. 213]. Проблеми, що окреслені вище стосовно шкільної хімічної освіти, не зникають по закінченні школи – вони відлунюють у закладах вищої освіти, де викладачі щороку стикаються з тим, що першокурсники приходять із вкрай нерівними, а нерідко й відверто слабкими знаннями з хімії. Це стосується не лише тих спеціальностей, де хімія є профільною дисципліною (медицина, фармація, хімічна інженерія), а й тих, де хімічна грамотність потрібна для засвоєння фахових курсів: товарознавства, екології, технологій харчових виробництв, митної справи тощо. Щоб з'ясувати реальний стан справ, було проведено анкетування студентів ОПІ Товарознавство та експертиза в митній справі спеціальності D7 Торгівля Державного податкового університету. Респондентам було поставлено запитання: «Чи проводились лабораторні роботи з хімії під час Вашого навчання в закладах загальної середньої освіти?». Усереднені результати опитування подано у таблиці 5.



Таблиця 5

**Результати опитування студентів ОПІ Товарознавство та експертиза в митній справі (спеціальність D7 Торгівля) щодо проведення лабораторних робіт з хімії у школі\***

<b>Форма організації лабораторних робіт з хімії у школі</b>	<b>Частка відповідей, %</b>
Так, проводились (загалом)	<b>32</b>
– у підгрупах (учні виконували досліди самостійно)	7
– демонстраційно (дослід проводив учитель)	25
Відеодосліди (перегляд відеозаписів дослідів)	30
Заповнення протоколів лабораторних робіт зі слів учителя без демонстрації дослідів	28
Лабораторні роботи з хімії взагалі не проводились	10

*\*Джерело: складено авторами за результатами анкетування студентів Державного податкового університету (2025 р.)*

З даних табл. 5 очевидно, що лише кожен тринадцятий із опитаних студентів (7 %) мав досвід самостійного виконання хімічних дослідів у шкільній лабораторії – тобто того формату роботи, який, власне, і покликаний сформувати практичні навички поводження з реактивами, уміння спостерігати за перебігом реакції, фіксувати результати й робити з них висновки. Чверть респондентів (25 %) бачила досліди лише в демонстраційному виконанні вчителя, що, звісно, краще за нічого, але не замінює власноручного досвіду. Ще 30 % знайомилися з лабораторними роботами виключно через відеозаписи, а 28 % – заповнювали протоколи, фактично переписуючи зі слів учителя результати дослідів, яких ніхто не бачив. Нарешті, кожен десятий студент зізнався, що за весь період шкільного навчання лабораторних робіт з хімії у нього просто не було.

Наведені вище цифри дають підстави говорити про те, що проблеми шкільної хімічної освіти – це не лише питання якості навчання в середній ланці, а й питання готовності випускників до опанування дисциплін хімічного циклу у вищій школі. Студент, який жодного разу не тримав у руках піпетку, не проводив титрування, не спостерігав за зміною забарвлення індикатора, – такий студент на першому ж занятті з аналітичної хімії чи товарознавства харчових продуктів потрапляє у ситуацію, коли йому доводиться одночасно здобувати і теоретичні знання, і елементарні практичні навички, які мали бути закладені ще у 7–9 класах. Для викладачів ЗВО це означає необхідність витратити час на повторення базових понять, ліквідацію прогалин у знаннях, а подекуди – навчання елементарним лабораторним прийомам, які школа мала забезпечити, але не забезпечила. І



тут ми знову повертаємося до STEM-підходу: якби лабораторний експеримент у школі був організований системно – із залученням моделювання, міжпредметної інтеграції, проєктної роботи – випускники приходили б до вищої школи з принципово іншим рівнем підготовки. Тому поширення STEM-проєктів у шкільній хімічній освіті – це інвестиція не лише в якість середньої, а й у якість вищої освіти.

Підсумовуючи все сказане, можна з упевненістю зазначити, що STEM-проєкти на уроках хімії – це аж ніяк не данина моді й не чергове гучне гасло, а цілком робочий інструмент, здатний подолати ті болючі проблеми, які накопичилися в хімічній освіті за останні десятиліття: і зниження зацікавленості школярів у предметі, і розірваність їхніх знань на окремі шматки, і відчуття, що все вивчене на уроці не має жодного стосунку до повсякденного життя. Результати опитування студентів Державного податкового університету переконливо засвідчили, що наслідки неякісної організації шкільного хімічного експерименту тягнуться далі – у вищу школу, де першокурсники змушені долати прогалини, які мали бути заповнені ще в середній ланці. Але тут принципово важливо наголосити на одній речі: справжній результат досягається лише тоді, коли експеримент, моделювання і міжпредметні зв'язки працюють не порізно, а як одне ціле – як система, в якій кожна частина підтримує й посилює решту.

**Висновки.** Проведене дослідження дає змогу дійти кількох висновків, які, хочеться вірити, стануть у пригоді не лише тим, хто займається теорією, а й учителям-практикам та методистам, котрі працюють із хімією щодня. Передусім хотілося б підкреслити, що хімічний дослід у рамках STEM-навчання нікуди не зникає і не відходить на другий план – швидше навпаки, він починає виконувати ширші завдання, ніж раніше.

Якщо у звичному форматі уроку експеримент здебільшого був наочною ілюстрацією до того, що вчитель уже пояснив біля дошки, то в логіці STEM-проєкту він перетворюється на точку, з якої починається саме дослідження: учень отримує реальні дані, які потім треба математично опрацювати, осмислити й покласти в основу якогось інженерного чи практичного рішення. При цьому комп'ютерне моделювання не витісняє натурний дослід – воно його розширює: дає змогу побачити те, що відбувається на рівні молекул, змінити ті параметри, які у шкільній лабораторії змінити фізично неможливо, і – що зараз має особливу вагу – не переривати дослідницьку роботу тоді, коли навчання переходить у дистанційний режим або коли доступ до обладнання з тих чи інших причин обмежений.

Щодо міжпредметних зв'язків, то аналіз переконливо засвідчив: хімія за самою своєю суттю є предметом, що стоїть на перетині багатьох наук –



вона невіддільна від фізики, тісно переплетена з біологією, спирається на математику, перегукується з екологією і виходить на інженерні галузі. І саме STEM-проекти відкривають можливість наповнити ці зв'язки справжнім змістом, а не обмежуватися формальною приміткою «міжпредметні зв'язки: фізика, математика» у календарно-тематичному плані.

Коли учні спільно працюють над конкретною проблемою, знання з різних дисциплін починають діяти як єдиний механізм, і це відчувається зовсім інакше, ніж коли ці зв'язки існують лише на папері.

Ще одна важлива думка, до якої підводить дослідження: щоб STEM-проекти з хімії давали стійкий результат, змін потребує не лише окремих учителів, а школа загалом. Ідеться і про спільне планування з колегами, які ведуть суміжні предмети, і про належне матеріальне оснащення, і про перегляд звичних підходів до оцінювання, і про цілеспрямовану підготовку педагогів. Якщо цих умов не створити, STEM-проекти так і залишаться разовими, «показовими» подіями, які не врастають у щоденну тканину навчального процесу.

Що стосується напрямів, у яких варто рухатися далі, то найнагальнішими бачаться такі: підготовка покрокових методичних порад для вчителів хімії, які допоможуть спланувати й провести STEM-проект у кожному конкретному класі; формування бази перевірених на практиці завдань, узгоджених із чинними модельними програмами; з'ясування того, які форми комп'ютерного моделювання найкраще працюють у парі з реальним дослідом; і, нарешті, вивчення того, наскільки вчителі хімії готові до роботи за STEM-підходом і яка саме система підвищення кваліфікації може цю готовність забезпечити.

Окремо слід наголосити на тому, що дослідження виявило ще одну площину проблеми, яку зазвичай обходять увагою: наслідки слабкої шкільної підготовки з хімії для закладів вищої освіти. Проведене анкетування студентів ОПП Товарознавство та експертиза в митній справі показало, що переважна більшість випускників шкіл не мала повноцінного досвіду хімічного експерименту: лише 7 % виконували досліди самостійно, тоді як 68 % або дивилися відео, або заповнювали протоколи зі слів учителя, або взагалі не стикалися з лабораторними роботами. Ця ситуація прямо впливає на якість навчання у ЗВО, де викладачі змушені компенсувати прогалини, закладені ще у школі. Тому подальше впровадження STEM-проектів у шкільну хімічну освіту має розглядатися не лише як засіб покращення якості середньої освіти, а й як необхідна передумова підготовки студентів, здатних повноцінно засвоювати хімічний складник фахових дисциплін у вищій школі.



### Література:

1. Український центр оцінювання якості освіти. Зовнішнє незалежне оцінювання: аналітичні матеріали. 2024. URL: <https://testportal.gov.ua/tag/nmt-2024/>
2. Міністерство освіти і науки України. Освіта і наука в умовах війни: звіт. 2024. URL: <https://naqa.gov.ua/2025/02/%D0%BE%D1%81%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%B0-%D0%B2-%D1%83%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%85-%D0%B2%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8/>
3. Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти). Розпорядження Кабінету Міністрів України від 05.08.2020 № 960-р. *Офіційний вісник України*. 2020. № 65. Ст. 2081. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text>
4. Стрижак Д., Шиян Н., Стрижак С., Криворучко А. Формування дослідницької компетентності учнів при вивченні хімії. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Теорія та методика навчання природничих наук*. 2023. № 4. С. 154--164. DOI: 10.31652/2786-5754-2023-4-154-164. URL: <https://intranet.vspu.edu.ua/naturalscience/index.php/journal/article/view/44>
5. Шиян Н. І., Криворучко А. В. Організація дослідницької діяльності з хімії школярів закладів загальної середньої освіти. *Методика навчання природничих дисциплін у середній та вищій школі (XXIX Каришинські читання) : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*. Полтава : Астроя, 2022. С. 247--249. URL: <https://repository.pdmu.edu.ua/items/63877681-7aee-4120-9953-dab9e715213b>
6. Блажко А., Худоярова О. Дидактичні засади використання компетентнісно орієнтованих завдань у навчанні хімії учнів закладів загальної середньої освіти. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Теорія та методика навчання природничих наук*. 2023. № 4. С. 95--107. DOI: 10.31652/2786-5754-2023-4-95-107. URL: <https://intranet.vspu.edu.ua/naturalscience/index.php/journal/article/view/38>
7. Величко Л. Хімічний складник природничо-наукової компетентності. *Український Педагогічний журнал*. 2024. № 3. С. 207--215. DOI: <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2024-3-207-215>.
8. Карпенко Ю., Головка І. Міжпредметна інтеграція хімічних дисциплін за допомогою цифрових технологій. *Науковий вісник Ізмаїльського державного гуманітарного університету. Серія: Педагогічні науки*. 2023. № 62. С. 97--103. URL: <http://visnyk.idgu.edu.ua/index.php/nv/article/view/721>
9. Степанюк А., Міронець Л., Олендр Т., Жигadlo М. STEM, STEAM чи STREAM-освіта: вибір за вами! *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Теорія та методика навчання природничих наук*. 2024. № 7. URL: <https://intranet.vspu.edu.ua/naturalscience/index.php/journal/article/view/84>
10. Перетятко В., Меньяло В., Трофименко Н. Проектні технології в навчанні природничих наук. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Теорія та методика навчання природничих наук*. 2023. № 5. URL: <https://intranet.vspu.edu.ua/naturalscience/index.php/journal/article/view/57>
11. Elmoazen R., Saqr M., Khalil M., Wasson B. Learning analytics in virtual laboratories: a systematic literature review of empirical research. *Smart Learning Environments*. 2023. Vol. 10. Art. 23. DOI: 10.1186/s40561-023-00244-y. URL: <https://www.>



researchgate.net/publication/369115663\_Learning\_analytics\_in\_virtual\_laboratories\_a\_systematic\_literature\_review\_of\_empirical\_research

12. Castro R. Effects of Chemistry Virtual Laboratories in Academic Achievement of Secondary Level Learners: A Meta-Analysis. *International Science Education Journal*. 2024. Vol. 6. No. 1. P. 24--37. DOI: 10.37251/isej.v6i1.1379. URL: [https://www.researchgate.net/publication/388117077\\_The\\_Effects\\_of\\_Chemistry\\_Virtual\\_Laboratories\\_in\\_Academic\\_Achievement\\_of\\_Secondary\\_Level\\_Learners\\_A\\_Meta-Analysis](https://www.researchgate.net/publication/388117077_The_Effects_of_Chemistry_Virtual_Laboratories_in_Academic_Achievement_of_Secondary_Level_Learners_A_Meta-Analysis)

13. ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти». Методичні рекомендації щодо розвитку STEM-освіти в закладах загальної середньої та позашкільної освіти у 2023/2024 навчальному році. Лист ІМЗО від 01.08.2023 № 21/08-1242. URL: <https://imzo.gov.ua/2023/08/23/lyst-imzo-vid-01-08-2023-1242-metodychni-rekomendatsii-shchodo-rozvytku-stem-osvity-v-zakladakh-zahal-noi-seredn-oi-ta-pozashkil-noi-osvity-u-2023-2024-navchal-nomu-rotsi/>

14. Григорович О. В. Хімія. 7--9 класи : модельна навчальна програма для закладів загальної середньої освіти. Наказ МОН від 27.12.2023 № 1575. URL: <https://loippo.edu.ua/naukovo-metodychna-diialnist/vebstorinka-metodysta/khimiya/programno-metodychne-zabezpechennya>

15. Ямборак Р. С. Хімічна експлорація: оптимізація навчання хімії через інтеграцію STEM-підходів. *Збірник наукових праць «Педагогічні науки»*. 2024. Вип. 105. С. 72--79. DOI: 10.32999/ksu2413-1865/2024-105-10.

16. Бондар Л., Живага А. Модернізація уроків хімії в умовах цифровізації. *Педагогічна Житомирщина*. 2023. № 1 (29). С. 5--12. URL: <https://imso.zippo.net.ua/wp-content/uploads/2023/03/2-%D0%91%D0%BE%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80.pdf>

17. Блажко О. А., Коломієць А. М., Кушнір О. І. Синергетичний потенціал штучного інтелекту і STREAM-освіти в підготовці вчителів природничих дисциплін. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Теорія та методика навчання природничих наук*. 2025. № 8. URL: <https://intranet.vspu.edu.ua/naturalscience/index.php/journal/article/view/100>

18. Державний стандарт базової середньої освіти. Постанова Кабінету Міністрів України від 30.09.2020 № 898. *Офіційний вісник України*. 2020. № 83. Ст. 2678. URL: <https://ued.org.ua/2020/09/1440/>

19. Кочубей О. В. Освітні цифрові інструменти як засіб удосконалення викладання хімії у закладах вищої освіти. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2025. № 19. С. 115--127. DOI: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2025.197>.

20. Ільченко І. Вивчення загальноосвітнього курсу хімії в медичних закладах фахової передвищої освіти як педагогічна проблема. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Теорія та методика навчання природничих наук*. 2024. № 6. URL: <https://intranet.vspu.edu.ua/naturalscience/index.php/journal/article/view/87>

#### References:

1. Ukrainskyi tsentr otsiniuvannia yakosti osvity. (2024). Zovnishnie nezalezne otsiniuvannia: analitychni materialy [External independent evaluation: analytical materials]. URL: <https://testportal.gov.ua/tag/nmt-2024/>

2. Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. (2024). Osvita i nauka v umovakh viiny: zvit [Education and science under wartime conditions: report]. URL: <https://naqa.gov.ua/2025/02/%D0%BE%D1%81%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%B0-%D0%B2->



%D1%83%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%85-%D0%B2%D1%96%D0%B9  
%D0%BD%D0%B8/

3. Koncepcia rozvytku pryrodnychno-matematychnoi osvity (STEM-osvity). (2020). Rozporyadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 05.08.2020 № 960-r. Oficijnyi visnyk Ukrainy, 65, 2081. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text>

4. Stryzhak, D., Shyian, N., Stryzhak, S., & Kryvoruchko, A. (2023). Formuvannia doslidnytskoi kompetentnosti uchniv pry vyvchenni khimii [Developing students' research competence in chemistry]. *Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Mykhaila Kotsiubynskoho. Serii: Teoriia ta metodyka navchannia pryrodnych nauk*, 4, 154–164. DOI: 10.31652/2786-5754-2023-4-154-164. URL: <https://intranet.vspu.edu.ua/naturalscience/index.php/journal/article/view/44>

5. Shyian, N. I., & Kryvoruchko, A. V. (2022). Orhanizatsiia doslidnytskoi diialnosti z khimii shkolariv zakladiv zahalnoi serednoi osvity [Organization of students' research activity in school chemistry]. In *Metodyka navchannia pryrodnych dystsyplin u serednii ta vyshchii shkoli (XXIX Karyshynski chytannia): materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* (pp. 247–249). Poltava: Astraya. URL: <https://repository.pdmu.edu.ua/items/63877681-7aee-4120-9953-dab9e715213b>

6. Blazhko, A., & Khudoiarova, O. (2023). Dydaktychni zasady vykorystannia kompetentnisno oriientovanykh zavdan u navchanni khimii uchniv zakladiv zahalnoi serednoi osvity [Didactic principles of competence-based tasks in teaching chemistry]. *Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Mykhaila Kotsiubynskoho. Serii: Teoriia ta metodyka navchannia pryrodnych nauk*, 4, 95–107. DOI: 10.31652/2786-5754-2023-4-95-107. URL: <https://intranet.vspu.edu.ua/naturalscience/index.php/journal/article/view/38>

7. Velychko, L. (2024). Khimichnyi skladnyk pryrodnycho-naukovoï kompetentnosti [Chemical component of natural science competence]. *Ukrainskyi Pedahohichnyi zhurnal*, 3, 207–215. DOI: <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2024-3-207-215>

8. Karpenko, Yu., & Holovko, I. (2023). Mizhdyscyplinarna intehratsiia khimichnykh dystsyplin za dopomohoiu tsyfrovnykh tekhnolohii [Interdisciplinary integration of chemistry through digital technologies]. *Naukovyi visnyk Izmail'skoho derzhavnoho humanitarnoho universytetu. Serii: Pedahohichni nauky*, 62, 97–103. URL: <http://visnyk.idgu.edu.ua/index.php/nv/article/view/721>

9. Stepaniuk, A., Mironets, L., Olendr, T., & Zhygadlo, M. (2024). STEM, STEAM chy STREAM-osvita: vybir za vamy! [STEM, STEAM or STREAM education: the choice is yours]. *Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Mykhaila Kotsiubynskoho. Serii: Teoriia ta metodyka navchannia pryrodnych nauk*, 7. URL: <https://intranet.vspu.edu.ua/naturalscience/index.php/journal/article/view/84>

10. Peretiatko, V., Meniailo, V., & Trofimenko, N. (2023). Proiektni tekhnolohii v navchanni pryrodnych nauk [Project technologies in natural science teaching]. *Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Mykhaila Kotsiubynskoho. Serii: Teoriia ta metodyka navchannia pryrodnych nauk*, 5. URL: <https://intranet.vspu.edu.ua/naturalscience/index.php/journal/article/view/57>

11. Elmoazen, R., Saqr, M., Khalil, M., & Wasson, B. (2023). Learning analytics in virtual laboratories: a systematic literature review of empirical research. *Smart Learning Environments*, 10, 23. DOI: 10.1186/s40561-023-00244-y. URL: [https://www.researchgate.net/publication/369115663\\_Learning\\_analytics\\_in\\_virtual\\_laboratories\\_a\\_systematic\\_literature\\_review\\_of\\_empirical\\_research](https://www.researchgate.net/publication/369115663_Learning_analytics_in_virtual_laboratories_a_systematic_literature_review_of_empirical_research)



12. Castro, R. (2024). Effects of Chemistry Virtual Laboratories in Academic Achievement of Secondary Level Learners: A Meta-Analysis. *International Science Education Journal*, 6(1), 24–37. DOI: 10.37251/isej.v6i1.1379. URL: [https://www.researchgate.net/publication/388117077\\_The\\_Effects\\_of\\_Chemistry\\_Virtual\\_Laboratories\\_in\\_Academic\\_Achievement\\_of\\_Secondary\\_Level\\_Learners\\_A\\_Meta-Analysis](https://www.researchgate.net/publication/388117077_The_Effects_of_Chemistry_Virtual_Laboratories_in_Academic_Achievement_of_Secondary_Level_Learners_A_Meta-Analysis)

13. DNU "Instytut modernizatsii zmistu osvity". (2023). Metodichni rekomendatsii shchodo rozvytku STEM-osvity v zakladakh zahalnoi serednoi ta pozashkilnoi osvity u 2023/2024 navchalnomu rotsi [Methodological recommendations for the development of STEM education in 2023/2024]. Lyst IMZO vid 01.08.2023 No. 21/08-1242. URL: <https://imzo.gov.ua/2023/08/23/lyst-imzo-vid-01-08-2023-1242-metodychni-rekomendatsii-shchodo-rozvytku-stem-osvity-v-zakladakh-zahal-noi-seredn-oi-ta-pozashkil-noi-osvity-u-2023-2024-navchal-nomu-rotsi/>

14. Hryhorovych, O. V. (2023). Khimii. 7–9 klasy: modelna navchalna prohrama [Chemistry. Grades 7–9: model curriculum]. Nakaz MON vid 27.12.2023 No. 1575. URL: <https://loippo.edu.ua/naukovo-metodychna-diialnist/vebstorinka-metodysta/khimiya/programno-metodichne-zabezpechennya>

15. Yamborak, R. S. (2024). Khimichna eksploratsiia: optymizatsiia navchannia khimii cherez intehratsiiu STEM-pidkhodiv [Chemical exploration: optimization of chemistry learning through STEM approaches integration]. *Zbirnyk naukovykh prats "Pedahohichni nauky"*, 105, 72–79. DOI: 10.32999/ksu2413-1865/2024-105-10

16. Bondar, L., & Zhivaha, A. (2023). Modernizatsiia urokiv khimii v umovakh tsyfrovizatsii [Modernization of chemistry lessons under digitalization]. *Pedahohichna Zhytomyrshchyna*, 1(29), 5–12. URL: <https://imso.zippo.net.ua/wp-content/uploads/2023/03/2-%D0%91%D0%BE%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80.pdf>

17. Blazhko, O. A., Kolomiets, A. M., & Kushnir, O. I. (2025). Synerhetychnyi potentsial shtuchnoho intelektu i STREAM-osvity v pidhotovtsi vchyteliv pryrodnykh dystsyplin [Synergistic potential of AI and STREAM education in teacher training]. *Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Mykhaila Kotsiubynskoho. Serii: Teoriia ta metodyka navchannia pryrodnychkh nauk*, 8. URL: <https://intranet.vspu.edu.ua/naturalscience/index.php/journal/article/view/100>

18. Derzhavnyi standart bazovoi serednoi osvity. (2020). Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30.09.2020 № 898. Oficijnyi visnyk Ukrainy, 83, 2678. URL: <https://uied.org.ua/2020/09/1440/>

19. Kochubei, O. V. (2025). Osvitni tsyfrovi instrumenty yak zasib udoskonalennia vykladannia khimii u zakladakh vyshchoi osvity [Educational digital tools as a means of improving chemistry teaching in higher education]. *Vidkryte osvittie e-seredovyshe suchasnoho universytetu*, 19, 115–127. DOI: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2025.197>

20. Ilchenko, I. (2024). Vyvchennia zahalnoosvitnoho kursu khimii v medychnykh zakladakh fakhovoi peredvyshchoi osvity yak pedahohichna problema [Teaching general chemistry in medical pre-tertiary education as a pedagogical problem]. *Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Mykhaila Kotsiubynskoho. Serii: Teoriia ta metodyka navchannia pryrodnychkh nauk*, 6. URL: <https://intranet.vspu.edu.ua/naturalscience/index.php/journal/article/view/87>

Дата першого надходження статті до видання: 15.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 29.03.2026