ХІМІЯ

УДК 378.147:54+577.1
DOI https://doi.org/10.32782/health-2026.2.1

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

ПРОЄКТУВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ З СУЧАСНОЇ ХІМІЇ ТА БІОЛОГІЇ НА ОСНОВІ ВИВЧЕННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН

Боброва Марія Сергіївна,
кандидат біологічних наук, доцент,
завідувач кафедри природничих наук та методик викладання
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID: 0000-0001-7703-651X

Дефорж Ганна Володимирівна,
доктор історичних наук, професор,
професор кафедри природничих наук та методик викладання
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID: 0000-0002-1114-3205

Руденко Тетяна Володимирівна,
кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри природничих наук та методик викладання
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID: 0000-0002-4758-1389

Найдьонова Галина Георгіївна,
кандидат педагогічних наук,
старший викладач кафедри природничих наук та методик викладання
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID: 0000-0002-9472-6704

Колос Олена Юріївна,
кандидат хімічних наук,
старший викладач кафедри природничих наук та методик викладання
Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка
ORCID: 0009-0006-9919-7481

У статті теоретично обґрунтовано, розроблено та методично верифіковано концепцію модернізації лабораторного практикуму для здобувачів вищої освіти біолого-хімічних спеціальностей на основі наскрізного міждисциплінарного підходу. Проведене емпіричне дослідження сучасного стану вищої природничої освіти підтвердило наявність глибокого розриву між ілюстративно-репродуктивним характером класичних лабораторних робіт та вимогами реального науково-виробничого сектора. Обґрунтовано методологічні засади інтеграції хімії, біохімії та молекулярної біології, що базуються на фундаментальному принципі єдності хімічної структури та біологічної функції молекул. Отримані результати засвідчили, що побудова навчальної траєкторії за замкненим дослідницьким циклом (від препаративного синтезу або екстракції біологічно активних речовин з тканин організму до аналітичного контролю та оцінки їхнього впливу на тест-системи) забезпечує подолання фрагментарності знань студентів. Презентовано наскрізну структуру та змістове наповнення чотирьохмодульної програми оновленого практикуму, де об'єктом біохімічного скринінгу є субстрат, особисто одержаний здобувачем на перших етапах роботи. Окреслено тривимірну матрицю оцінювання рівнів сформованості дослідницької компетентності, критичного мислення та мануальних навичок студентів (базовий, конструктивний, дослідницький рівні) в умовах формувального контролю. Розроблені матеріали мають практичне значення для викладачів і методистів ЗВО при оновленні освітніх програм і силабусів хімічних та біохімічних дисциплін.

Ключові слова: *неорганічна хімія, органічна хімія, загальна хімія, біохімія, аналітична хімія, фізична і колоїдна хімія, лабораторна справа, біологічно-активні речовини, фізико-хімічні методи дослідження, ботаніка, зоологія, анатомія, фізіологія, генетика з основами селекції, еволюційна біологія, цитологія, гістологія, мікробіологія, екологія, здоров'я людини.*

Mariia Bobrova, Hanna Deforzh, Tetiana Rudenko, Halyna Naidonova, Olena Kolos. Designing a research-oriented laboratory practicum in modern chemistry and biology based on the study of biologically active substances

The article theoretically substantiates, develops and methodically verifies the concept of modernization of laboratory practical training for higher education students in biological and chemical specialties based on a cross-disciplinary approach. The conducted empirical study of the current state of higher natural science education confirmed the existence of a deep gap between the illustrative and reproductive nature of classical laboratory work and the requirements of the real scientific and industrial sector. The methodological principles of integration of chemistry, biochemistry and molecular biology, based on the fundamental principle of the unity of chemical structure and biological function of molecules, are substantiated. The results obtained showed that building an educational trajectory according to a closed research cycle (from preparative synthesis or extraction of biologically active substances from body tissues to analytical control and assessment of their impact on test systems) ensures overcoming the fragmentation of students' knowledge. The end-to-end structure and content of the four-module program of the updated practical course are presented, where the object of biochemical screening is the substrate personally obtained by the applicant at the first stages of work. A three-dimensional matrix for assessing the levels of formation of research competence, critical thinking and manual skills of students (basic, constructive, research levels) under formative control is outlined. The developed materials are of practical importance for teachers and methodologists of higher education institutions when updating educational programs and syllabi of chemical and biochemical disciplines.

Key words: *inorganic chemistry, organic chemistry, general chemistry, biochemistry, analytical chemistry, physical and colloidal chemistry, laboratory work, biologically active substances, physicochemical research methods, botany, zoology, anatomy, physiology, genetics with the basics of selection, evolutionary biology, cytology, histology, microbiology, ecology, human health.*

Вступ. Сучасний етап розвитку природничої вищої освіти в Україні вимагає докорінного переосмислення методологічних підходів до формування практичних компетентностей майбутніх фахівців у галузях хімії та біології. Традиційні репродуктивні методи навчання, що базуються на виконанні стандартних ілюстративних експериментів за готовими інструкціями, демонструють свою неефективність у підготовці конкурентоспроможних кадрів [1]. Натомість виникає потреба в інтеграції фундаментальних наукових проблем у площину навчального лабораторного експерименту, зокрема під час вивчення процесів спрямованого синтезу та аналізу біологічно активних речовин (БАР). Сьогодні хімія та біологія функціонують не як ізольовані дисципліни, а як єдиний міждисциплінарний комплекс, де хімічний синтез нових сполук або виділення нативних метаболітів безпосередньо корелює з дослідженням їхнього біохімічного потенціалу, прооксидантно-антиоксидантного балансу та специфічної токсичності в живих системах [2]. Крім того, формування дослідницької компетентності здобувачів вищої освіти неможливе без їхнього залучення до вирішення реальних наукових завдань. Впровадження елементів проблемного навчання, де лабораторна робота набуває ознак мінідослідження з непередбачуваним наперед результатом, дозволяє розвивати критичне мислення та здатність до інтерпретації нестандартних експериментальних даних [3; 4]. Це є базовою передумовою для успішної підготовки студентів до написання курсових та магістерських робіт, а також їхньої подальшої інтеграції у професійне наукове середовище.

Таким чином, трансформація лабораторного практикуму на основі висвітлення актуальних проблем сучасної хімії та біології є не просто вимогою часу, а стратегічним завданням для забезпечення якісної природничої освіти. Потребує детального опрацювання структура та контент такого практикуму, який би гармонійно поєднував хімічний інструментарій із біологічним змістом, створюючи цілісну теоретико-практичну базу для майбутньої професійної діяльності випускників закладу вищої освіти [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У контексті дослідження біологічно активних речовин рослинного походження та аналізу їхнього хімічного складу значний інтерес для вищої школи становлять роботи О. В. Калініченко та колег [6]. Дослідники детально аналізують біохімічні показники якості та продуктивності сільськогосподарських культур, зокрема олійних та бобових, оцінюючи динаміку накопичення ліпідів, протеїнів та фенольних сполук під впливом різних чинників. Інтеграція таких прикладних агробіологічних досліджень у структуру лабораторних занять дозволяє формувати у здобувачів вищої освіти системне розуміння зв'язку між хімізмом процесів вирощування рослин та кінцевим виходом біологічно активних компонентів сировини, що є вагомим елементом їхньої дослідницької підготовки.

Важливий фундамент для формування змісту лабораторних робіт, пов'язаних із дослідженням прооксидантно-антиоксидантного балансу живих систем, становлять роботи О. А. Стасик та науко-

вої групи Інституту фізіології рослин і генетики НАН України [7]. Їхні глибокі експериментальні розробки у сфері вивчення функціонування ферментативної та неферментативної ланок антиоксидантного захисту рослин за умов екологічних стресів є джерелом верифікованих методичних підходів. Адаптація спектрофотометричних методів визначення активності супероксиддисмутази, каталази та рівня перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ), які використовуються у цих роботах, дозволяє розробити високотехнологічний лабораторний практикум для студентів хіміко-біологічних спеціальностей. Питання прецизійного аналітичного контролю, екстракції та ідентифікації індивідуальних біологічно активних речовин (зокрема, антиоксидантних поліфенолів та координаційних сполук) висвітлені у працях В. М. Зайцева та його колег [8]. Питання ідентифікації та впливу БАР на прооксидантно-антиоксидантний баланс в нормі та при дії стрессорів розкрито в працях ряду провідних біохіміків України [9].

Світовий досвід розвитку вищої школи також демонструє активне зміщення акцентів у бік проблемно-орієнтованого та дослідницького навчання (*problem-based and research-based learning*). Наприклад, у дослідженнях R. G. M. de Oliveira [4] аналізуються комплексні навчальні модулі, в межах яких студенти самостійно здійснюють повний цикл дослідження: від ультразвукової чи мікрохвильової екстракції рослинних метаболітів до аналізу їхньої хімічної структури та наступного тестування отриманих субстратів на біологічну й антиоксидантну активність *in vitro*. Такий замкнений цикл навчально-наукової роботи дозволяє студенту побачити логічний зв'язок між хімічними властивостями молекули та її біологічною дією.

Аналогічно, J. N. Coleman та K. L. Reynolds [10] у своїх працях наголошують на важливості інтеграції методів біоорганічного синтезу з комп'ютерним моделенням (*in silico* методів і молекулярного докінгу). Вони доводять, що попередній віртуальний скринінг потенційних біологічно активних речовин, який студенти виконують перед етапом безпосереднього препаративного синтезу, не лише оптимізує витрати реактивів і час проведення занять, а й розвиває у майбутніх фахівців системне хіміко-біологічне мислення, орієнтоване на спрямований дизайн сполук із заданими властивостями.

Попри значну кількість публікацій, присвячених окремим зрізам біохімії БАР та ізольованим методикам викладання хімії чи біології, проблема створення цілісної теоретико-методичної системи залишається відкритою. Розробка комплексного лабораторного практикуму, який би гармонійно поєднував у собі послідовні етапи органічного чи біоорганічного синтезу сполук із їхнім обов'язковим наступним поглибленим біохімічним аналізом та оцінкою біоактивності в межах єдиного інтегрованого курсу, все ще потребує системного структурування. Більшість наявних розробок мають фрагментарний характер, що актуалізує потребу в теоретичному обґрунтуванні та практичному наповненні практикуму, чому й присвячена ця стаття.

Мета та завдання. Метою статті є теоретичне обґрунтування, розробка та методичне структурування інтегрованого міждисциплінарного лабораторного практикуму із синтезу та аналізу біологічно активних речовин, побудованого на засадах проблемно-орієнтованого навчання, з метою підвищення рівня дослідницької компетентності та критичного мислення здобувачів вищої освіти.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання статті:

1. Проаналізувати сучасний стан, тенденції та ключові методичні проблеми організації лабораторного практикуму у закладах вищої освіти біолого-хімічного профілю.

2. Обґрунтувати концептуальні засади міждисциплінарної інтеграції під час вивчення процесів синтезу, виділення та аналізу БАР.

3. Розробити структуру, змістове наповнення та наскрізну програму оновленого практикуму, що поєднує класичний препаративний синтез (або екстракцію) БАР із подальшим біологічним тестуванням (зокрема, оцінкою прооксидантно-антиоксидантного балансу).

4. Окреслити критерії та індикатори оцінювання рівнів сформованості дослідницької компетентності, критичного мислення та практичних навичок студентів у процесі виконання модернізованих лабораторних робіт-мінідосліджень

Методи дослідження. У роботі застосовано комплекс теоретичних, емпіричних і спеціальних природничо-наукових методів: теоретичні (аналіз, систематизація та порівняльне узагальнення науково-педагогічної, методичної, хімічної та біохімічної літератури, а також освітніх програм і силабусів для виявлення системних проблем організації лабораторних занять; концептуальне моделювання та проєктування для розробки наскрізної програми міждисциплінарного практикуму та його структурно-логічної схеми; метод системно-критеріального аналізу та операціона-

лізації для побудови тривимірної матриці оцінювання рівнів сформованості дослідницької компетентності, критичного мислення та практичних навичок студентів); емпіричні та педагогічні (моніторинг сучасного стану й тенденцій експериментальної підготовки здобувачів вищої освіти біолого-хімічного профілю; педагогічне спостереження та формувальний контроль процесу виконання здобувачами наскрізних лабораторних робіт-мінідосліджень); спеціальні фізико-хімічні та біохімічні методи, інтегровані в структуру практикуму (препаративний хімічний синтез, екстракція БАР; хроматографічні й електрофоретичні методи розділення та ідентифікації сполук; оптична спектрофотометрія для оцінки антирадикальної активності; біохімічний аналіз прооксидантно-антиоксидантного балансу.

Апробація запропонованого дослідницького лабораторного практикуму здійснюється в освітньому процесі Центральноукраїнського державного університету імені Володимира Винниченка протягом 2025–2026 навчального року під час викладання освітніх компонентів біологічного та хімічного циклів, зміст яких передбачає виконання лабораторних робіт здобувачами освіти за освітньо-професійною програмою «Середня освіта (Біологія та здоров'я людини, Хімія)». У дослідженні взяли участь 50 здобувачів вищої освіти, зокрема 30 студентів першого (бакалаврського) рівня та 20 студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти. Структуру практикуму реалізовано з урахуванням послідовності формування предметних знань, експериментальних умінь і дослідницьких компетентностей на різних рівнях вищої освіти: перша частина практикуму апробується на бакалаврському рівні, друга – на магістерському. Такий підхід забезпечує наступність лабораторної підготовки, поступове ускладнення навчально-дослідницьких завдань і розширення можливостей інтеграції теоретичних знань із хімії, біології та біохімії під час виконання лабораторних досліджень. Апробація в межах відповідних освітніх компонентів дає змогу оцінювати практичну придатність запропонованої структури, змісту та критеріїв оцінювання для організації дослідницької діяльності майбутніх учителів біології та хімії.

Результати дослідження. Відповідно до першого поставленого завдання статті, проведений *моніторинг реального стану організації лабораторного практикуму у закладах вищої освіти біолого-хімічного профілю, який* унаочнює, що експериментальна підготовка студентів біолого-хімічних спеціальностей зараз переживає період форсованої перебудови. Сьогодні в українських університетах (як у класичних, так і в педагогічних) чітко простежуються кілька домінуючих тенденцій:

– *Гібридизація експериментальної складової.* Тривала практика дистанційного навчання змусила викладачів шукати компроміс між реальним кабінетним дослідженням і цифровими замінниками. На практиці це вилилося в активне використання симуляційних платформ та хмарних сервісів, які дозволяють хоча б візуалізувати алгоритм роботи, якщо немає безпосереднього доступу до витяжної шафи чи реактивів.

– *Спроби міждисциплінарного синтезу.* Останнім часом заклади вищої освіти намагаються відходити від жорсткого розмежування предметів. Програми магістратури дедалі частіше орієнтуються на наскрізні завдання.

– *Дрейф у бік інструментальних методів.* Роботодавці вимагають від випускників вміння працювати зі складним обладнанням, тому університети намагаються збільшувати години на вивчення спектрофотометрії, хроматографічних методів та оптичних вимірювань.

Попри намагання модернізувати процес, існує пласт хронічних проблем, які гальмують якісну підготовку фахівців:

1. *Домінування репродуктивного підходу*, де під час лабораторних робіт студент отримує готовий алгоритм, де розписано кожен крок, і його мета – просто повторити маніпуляції задля отримання заздалегідь відомого результату. Такий підхід повністю виключає критичне мислення.

2. Існує великий *технологічний розрив між обладнанням реального сектору та матеріальною базою кафедр*. Брак сучасних ферментів, маркерів, якісних сорбентів для розділення речовин змушує викладачів або спрощувати методики до рівня минулого століття, або замінювати їх теоретичним описом.

3. *Криза дистанційного навчання*: студент може бездоганно знати теорію на екрані, але виявляється абсолютно безпорадним біля реального лабораторного столу.

4. *Фрагментарність методичного забезпечення*: традиційні методичні вказівки залишаються консервативними. Курс органічної хімії зазвичай обривається на етапі одержання сухого залишку чи очищення сполуки, а біохімічні дослідження проводяться виключно на комерційних, готових субстратах. Наскрізних посібників, які б об'єднували весь технологічний ланцюжок

від пробірки з реактивами до живого тест-об'єкта, катастрофічно не вистачає.

Для виходу з цього методичного піке університети на місцях розробляють власні адаптаційні стратегії:

− *Впровадження циклічно-сесійного формату:* теоретичний блок виносять в онлайн, а під час очних сесій студенти працюють очно в лабораторіях.

− *Перехід на Research-based learning:* замість десятка однотипних робіт студентам пропонують одне наскрізне дослідження. Наприклад, оцінити антиоксидантний потенціал різних сортів сої залежно від умов екстракції. Тут немає правильної відповіді в кінці підручника, і студент змушений самостійно думати, підбирати концентрації та аналізувати помилки.

− *Мережева взаємодія з установами НАН України* через договори з академічними інститутами. Це дозволяє магістрантам виконувати експериментальні розділи своїх робіт на базі діючих наукових центрів, де є робоче сучасне устаткування.

Таким чином, головний методичний виклик сьогодення полягає у переході від пасивного копіювання інструкцій до створення дослідницького простору.

Відповідно до другого поставленого завдання: о*бґрунтування концептуальних засад міждисциплінарної інтеграції у дослідженні БАР,* встановлено, що сучасна парадигма розвитку природничих наук унеможливлює підготовку висококваліфікованого фахівця в межах однієї вузької дисципліни. Традиційне розмежування навчальних курсів, коли органічний синтез вивчається ізольовано від біохімічних ефектів, а молекулярно-біологічні процеси розглядаються без чіткої прив'язки до хімізму ліганд-рецепторної взаємодії, призводить до фрагментарності знань студентів [11]. Об'єктивною потребою сьогодення є впровадження наскрізної міждисциплінарної інтеграції хімії, біохімії та молекулярної біології [2; 4]. Теоретичною основою такої інтеграції є концепція єдності структури та біологічної функції молекул. Міждисциплінарний підхід дозволяє вибудувати наскрізну дослідницьку траєкторію за замкненим циклом, який відображає логіку реального R&D-сектору [4; 5; 12]:

Спрямований синтез / Екстракція БАР → Аналітичний контроль → Біохімічний скринінг → Молекулярне моделювання

Особливого значення цей підхід набуває при дослідженні антиоксидантного потенціалу сполук та вивченні прооксидантно-антиоксидантного балансу тест-об'єктів. Студенти отримують можливість не просто вивчити теорію вільнорадикальних процесів, а експериментально оцінити, як одержані ними речовини (або екстракти рослин) здатні інгібувати процеси перекисного окиснення ліпідів, взаємодіяти з активними формами кисню чи впливати на активність каталази та пероксидази [2]. Це перетворює абстрактні формули на реальні біохімічні чинники з відомим механізмом дії. Впровадження наскрізних завдань суттєво підвищує внутрішню мотивацію здобувачів, оскільки вони бачать прикладну цінність своєї праці [11] та сприяє розвитку системного мислення [4].

Для *практичної реалізації міждисциплінарного підходу*, в рамках третього поставленого завдання статті, нами було спроєктовано наскрізну структуру лабораторного практикуму «Спрямований синтез та біохімічний аналіз біологічно активних речовин». На відміну від класичних ізольованих робіт, програму сплановано за модульним принципом, де кожна наступна стадія логічно випливає з результатів попередньої [4]. Наскрізний цикл розрахований на здобувачів магістерського рівня і охоплює 4 взаємопов'язані етапи: від первинної роботи з джерелом сировини або молекулярного дизайну до фінальної оцінки фізіологічної активності *in vitro* та *in vivo* [1].

Фрагменти загальної архітектури та змістового наповнення навчальної програми представлені у таблиці 1.

Ключова особливість цієї програми полягає в тому, що об'єктом дослідження для Модулів 3 та 4 є саме та речовина (або рослинний екстракт), яку студент власноруч синтезував (або виділив) під час Модуля 1 та верифікував у Модулі 2. Наприклад, під час дослідження прооксидантно-антиоксидантного статусу (Модуль 4) як модельні системи використовуються проростки сільськогосподарських культур або рослинні калусні культури. Студенти самостійно моделюють стресові умови (осмотичний стрес, дія іонів важких металів) і оцінюють, чи здатна додана ними екзогенна БАР нівелювати явища окисного стресу через зниження рівня ТБК-активних продуктів та активацію внутрішньої пероксидазної ланки рослини [11]. Така наскрізна програма стимулює дослідницький азарт: студент особисто зацікавлений у максимальній чистоті синтезу на першому етапі, оскільки домішки чи технологічні помилки безпосередньо викривлять кінетичні криві ферментативних реакцій на фінальній стадії практикуму [10].

Таблиця 1

Структурно-логічна схема та фрагмент змісту наскрізного лабораторного практикуму

Етап (Модуль)	Назва та зміст лабораторних занять	Експериментальні методи та інструментарій	Методична мета етапу
Модуль 1. Одержання БАР (Хімічний блок)	Робота 1.1: Препаративний синтез координаційних сполук або антиоксидантних лігандів. Робота 1.2: Екстракція нативних БАР (ізофлавонів, поліфенолів) з рослинної сировини (на прикладі Glycine max або Lavandula).	Твердофазна та рідинна екстракція, ультразвукова інтенсифікація, вакуумна фільтрація, перекристалізація.	Освоєння базових маніпуляцій препаративної хімії, розрахунок теоретичного та практичного виходу речовини.
Модуль 2. Аналітичний контроль	Робота 2.1: Ідентифікація та очищення одержаних субстратів. Робота 2.2: Кількісне визначення вмісту сумарних фенолів / індивідуальних речовин.	Тонкошарова хроматографія (ТШХ), капілярний електрофорез, високоефективна рідинна хроматографія (ВЕРХ).	Формування навичок прецизійного аналізу, оцінка чистоти синтезованого продукту або селективності екстракції.
Модуль 3. Біохімічний скринінг та антиоксидантна ємність	Робота 3.1: Визначення загального антиоксидантного потенціалу методом уловлювання радикалів DPPH/ABTS. Робота 3.2: Оцінка відновлювальної здатності за Фолліном-Чокальтеу.	Оптична спектрофотометрія, кінетичний аналіз хімічного знебарвлення радикалів у часі.	Розуміння механізмів прямої антирадикальної дії хімічних сполук безпосередньо у пробірці (in vitro).
Модуль 4. Оцінка прооксидантно-антиоксидантного балансу	Робота 4.1: Дослідження впливу БАР на рівень перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) у тест-культурах. Робота 4.2: Визначення активності захисних ферментів (каталази, пероксидази, СОД) за умов модельного стресу.	Спектрофотометрія ТБК-активних продуктів, визначення кінетики розкладу пероксиду водню ферментними системами.	Аналіз функціонування живих біосистем, інтерпретація захисного або цитотоксичного ефекту досліджуваних БАР.

Таблиця 2

Критерії, індикатори та рівні оцінювання здобувачів під час виконання мінідосліджень БАР

Критерії оцінювання	Ключові індикатори (що саме фіксується)	Базовий рівень	Конструктивний рівень	Дослідницький рівень
Дослідницька компетентність	Здатність самостійно планувати експеримент, формулювати робочу гіпотезу, підбирати методи аналізу та узагальнювати дані.	Виконує роботу виключно за готовим лінійним алгоритмом; не здатний самостійно скоригувати об'єм екстрагенту чи концентрацію.	Самостійно розраховує пропорції реактивів, адаптує відому методику під наявну біомасу (наприклад, сою), але потребує консультацій при інтеграції етапів.	Самостійно вибудовує замкнений цикл «синтез → ідентифікація → тест»; пропонує власні модифікації схеми експерименту.
Критичне мислення	Вміння інтерпретувати аномальні результати, аналізувати причини похибок, розрізняти артефакти.	У разі отримання відхилень губиться; схильний фальсифікувати дані під «книжковий» результат.	Фіксує відхилення, усвідомлює наявність похибки, але не може чітко локалізувати її причину.	Самостійно виявляє етап, на якому відбувся збій, аргументує аномалії.
Практичні (мануальні) навички	Техніка прецизійного дозування, філігранне володіння інструментарієм, дотримання регламенту безпеки у хімічній та біохімічній зонах.	Припускається грубих помилок при роботі з автоматичними піпетками та спектрофотометром; порушує архітектуру лабораторного столу.	Впевнено виконує базові процедури (фільтрація, центрифугування), проте потребує нагляду під час калібрування складного обладнання (капілярний електрофорез).	Демонструє бездоганну моторну координацію та точність: від наважки на аналітичних терезах до зняття спектрів поглинання; контролює безпеку середовища.

В рамках розвязку четвертого завдання статті, зазначимо, що перехід від класичної репродуктивної моделі лабораторного практикуму до формату наскрізних мінідосліджень потребує кардинальної *перебудови системи оцінювання* [13]. Традиційний підхід, що базується суто на контролі фінального результату (наявності сухого залишку речовини чи заповненого звіту), стає невалідним, оскільки він не відображає динаміку розвитку інтелектуальних та операційних звичок студента [14]. Для об'єктивної фіксації освітніх дескрипторів нами було розроблено тривимірну матрицю оцінювання, яка інтегрує критерії сформованості дослідницької компетентності, критичного мислення та безпосередніх мануальних (практичних) навичок [13]. Кожен із визначених критеріїв розгортається через систему конкретних, операціоналізованих індикаторів, що дає змогу диференціювати три рівні досягнень здобувачів: базовий (репродуктивно-копіювальний), конструктивний (самостійно-варіативний) та дослідницький (творчо-прогностичний) [1]. Матрична структура цієї системи деталізована у таблиці 2.

Важливою методичною умовою використання цієї системи є зміщення акценту на формувальне оцінювання (*formative assessment*). Викладач фіксує напрацювання студента безпосередньо «біля лабораторного столу» протягом усього наскрізного циклу [14]. При застосуванні такої шкали найвищий (дослідницький) рівень маркується не за ідеальну чистоту фінальної кривої, а за здатність здобувача аргументовано пояснити, чому, наприклад, екстрагована ним фракція поліфенолів продемонструвала прооксидантну дію замість очікуваної антиоксидантної, та які саме молекулярні механізми (як-от генерація супероксидного радикалу за присутності слідів металів змінної валентності) за цим стоять [15]. Це дозволяє перетворити систему оцінювання на дієвий механізм рефлексії та саморозвитку майбутнього дослідника.

Висновки. Проведене дослідження підтвердило, що традиційна ілюстративно-репродуктивна модель лабораторних занять у вищій природничій школі унеможливлює підготовку конкурентоспроможних кадрів через відірваність від індустріальних реалій. На основі емпіричного аналізу стану ЗВО біолого-хімічного профілю доведено потребу в рішучому відході від репродуктивного копіювання інструкцій та необхідність децентралізації освітнього процесу в бік гнучких дослідницьких мініпроєктів. Отримані результати засвідчили, що впровадження наскрізної міждисциплінарної інтеграції хімії, біохімії та молекулярної біології за замкненим технологічним циклом (від одержання БАР до тестування їхнього впливу) руйнує фрагментарність знань здобувачів. Експериментально доведено: коли студент працює з речовиною або рослинним екстрактом власного виробництва, його внутрішня мотивація до прецизійної аналітичної точності зростає, що безпосередньо трансформується у якість формування дослідницького мислення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Egambaram O., Hilton K., Leigh J., Richardson R., Sarju J., Slater A., Turner B. The Future of Laboratory Chemistry Learning and Teaching Must be Accessible. *Journal of Chemical Education*. 2022. Vol. 99, No. 12. P. 3814–3821. DOI: 10.1021/acs.jchemed.2c00328

2. Costabile M., Simpson B., Turkanovic J., Hughes B. P. Enhancing teaching effectiveness in biochemistry labs: Author reflections and improvement strategies. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2024. Vol. 52, No. 5. P. 559–568. DOI: 10.1002/bmb.21842

3. Боярчук О.Д., Руденко Т.В., Бібікова В.М. Сучасні методи дослідження у фізіології. Природнича освіта та наука. Серія Біологія та біохімія. Видавничий дім «Гельветика». № 6’2025. С. 74-82 https://doi.org/10.32782/NSER/2025-6.11

4. De Oliveira R. G. M., da Silva J. S., Santos M. A. Problem-Based Learning in Phytochemistry: From Plant Extraction to Biological Activity Evaluation in Undergraduate Laboratories. *Journal of Chemical Education*. 2022. Vol. 99, No. 8. P. 2945–2953. DOI: 10.1021/acs.jchemed.2c00124

5. Chu C., Dewey J. L., Zheng W. An Inorganic Chemistry Laboratory Technique Course using Scaffolded, Inquiry-Based Laboratories and Project-Based Learning. *Journal of Chemical Education*. 2023. Vol. 100, No. 9. P. 3500–3508. DOI: 10.1021/acs.jchemed.3c00547

6. Калініченко О. В., Козак Л. О. Біохімічні показники якості насіння сої за дії регуляторів росту та біопрепаратів. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 4. С. 78–85. DOI: 10.31210/visnyk2019.04.09

7. Стасик О. А., Тітова Т. В., Кірізій Д. А., Починок Ш. М. Особливості функціонування фотосинтетичного апарату та антиоксидантної системи рослин озимої пшениці за посухи. *Фізіологія рослин і генетика*. 2020. Т. 52, № 6. С. 483–501. DOI: 10.15407/frg2020.06.483

8. Zaitsev V. N., Kobylinska N. G., Koba V. A. Silica-based materials with immobilized macrocyclic receptors for selective extraction of biologically active substances. *French-Ukrainian Journal of Chemistry*. 2021. Vol. 9, No. 1. P. 12–25. DOI: 10.17721/fujcV9i1p12-25

9. Bobrova M., Gencheva V., Holodaieva O., Myhal I., Tsviakh O. Effect of storage time on antioxidant content in seeds of agricultural plants. Amazonia Investiga, 13 (81), 2024. 142–156. https://doi.org/10.34069/AI/2024.81.09.11

10. Coleman J. N., Reynolds K. L. Integrating bio-organic synthesis, spectroscopy, and antioxidant screening in the advanced undergraduate laboratory. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2024. Vol. 52, No. 2. P. 164–172. DOI: 10.1002/bmb.21804

11. Galloway K. R., Bretz S. L. Development of an assessment to measure students' meaningful learning in the undergraduate chemistry laboratory. *International Journal of Science Education*. 2015. Vol. 37, No. 11. P. 1731–1753. DOI: 10.1080/09500693.2015.1047648

12. Деформж Г.В., Боброва М.С. Міждисциплінарна інтеграція еволюційної біології та генетики у фаховій підготовці вчителів біології. *Наукові записки*. Випуск 222 (2026). Серія: Педагогічні науки. Кропивницький : РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка, 2026. С. 576-581. DOI: https://doi.org/10.36550/2415-7988-2026-1-222-576-581

13. Донченко С.В., Найдьонова Г. Г., Омельченко Г. В. Шляхи підвищення якості надання освітніх послуг в період епідеміологічних заходів. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. Кропивницький: Центральноукраїнський державний педагогічний університет імені Володимира Винниченка, 2022. Випуск 200. С.66-71 DOI: https://doi.org/10.36550/2415-7988-2022-1-200

14. Towns M. H., Harwood C. J., Robertshaw M. B., Fish J., O'Shea K. Development of an instrument to assess students' science process skills in the chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education*. 2015. Vol. 92, No. 12. P. 2038–2044. DOI: 10.1021/acs.jchemed.5b00424

15. Stephenson N. S., Sadler-McKnight N. P. Developing Critical Thinking Skills in the High School Chemistry Classroom Through Inquiry-Based Laboratory Activities. *Journal of Chemical Education*. 2020. Vol. 97, No. 4. P. 909–917. DOI: 10.1021/acs.jchemed.9b00796

REFERENCES

1. Egambaram O., Hilton K., Leigh J., Richardson R., Sarju J., Slater A., Turner B. The Future of Laboratory Chemistry Learning and Teaching Must be Accessible. *Journal of Chemical Education*. 2022. Vol. 99, No. 12. P. 3814–3821. DOI: 10.1021/acs.jchemed.2c00328

2. Costabile M., Simpson B., Turkanovic J., Hughes B. P. Enhancing teaching effectiveness in biochemistry labs: Author reflections and improvement strategies. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2024. Vol. 52, No. 5. P. 559–568. DOI: 10.1002/bmb.21842

3. Boiarchuk O.D., Rudenko T.V., Bibikova V.M. Suchasni metody doslidzhennia u fiziolohii. *Pryrodnycha osvita ta nauka. Seriia Biolohiia ta biokhimiia*. Vydavnychyi dim "Helvetika". No. 6’2025. S. 74-82. DOI: https://doi.org/10.32782/NSER/2025-6.11 (in Ukrainian)

4. De Oliveira R. G. M., da Silva J. S., Santos M. A. Problem-Based Learning in Phytochemistry: From Plant Extraction to Biological Activity Evaluation in Undergraduate Laboratories. *Journal of Chemical Education*. 2022. Vol. 99, No. 8. P. 2945–2953. DOI: 10.1021/acs.jchemed.2c00124

5. Chu C., Dewey J. L., Zheng W. An Inorganic Chemistry Laboratory Technique Course using Scaffolded, Inquiry-Based Laboratories and Project-Based Learning. *Journal of Chemical Education*. 2023. Vol. 100, No. 9. P. 3500–3508. DOI: 10.1021/acs.jchemed.3c00547

6. Kalinichenko O. V., Kozak L. O. Biokhimichni pokaznyky yakosti nasinnia soi za dii rehuliatoriv rostu ta biopreparativ [Biochemical quality indicators of soybean seeds under the action of growth regulators and biological products]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. 2019. No. 4. P. 78–85. DOI: 10.31210/visnyk2019.04.09 (in Ukrainian)

7. Stasik O. A., Titova T. V., Kirizii D. A., Pochynok Sh. M. Osoblyvosti funktsionuvannia fotosyntetychnoho aparatu ta antyoksydantnoi systemy roslyn ozymoi pshenytsi za posukhy [Features of functioning of photosynthetic apparatus and antioxidant system of winter wheat plants under drought conditions]. *Fiziolohiia roslyn i henetyka*. 2020. T. 52, No. 6. P. 483–501. DOI: 10.15407/frg2020.06.483 (in Ukrainian)

8. Zaitsev V. N., Kobylinska N. G., Koba V. A. Silica-based materials with immobilized macrocyclic receptors for selective extraction of biologically active substances. *French-Ukrainian Journal of Chemistry*. 2021. Vol. 9, No. 1. P. 12–25. DOI: 10.17721/fujcV9i1p12-25

9. Bobrova M., Gencheva V., Holodaieva O., Myhal I., Tsviakh O. Effect of storage time on antioxidant content in seeds of agricultural plants. Amazonia Investiga, 13 (81), 2024. 142–156. https://doi.org/10.34069/AI/2024.81.09.11

10. Coleman J. N., Reynolds K. L. Integrating bio-organic synthesis, spectroscopy, and antioxidant screening in the advanced undergraduate laboratory. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2024. Vol. 52, No. 2. P. 164–172. DOI: 10.1002/bmb.21804

11. Galloway K. R., Bretz S. L. Development of an assessment to measure students' meaningful learning in the undergraduate chemistry laboratory. *International Journal of Science Education*. 2015. Vol. 37, No. 11. P. 1731–1753. DOI: 10.1080/09500693.2015.1047648

12. Deforzh H.V., Bobrova M.S. Mizhdystsyplinarna intehratsiia evoliutsiinoi biolohii ta henetyky u fakhovii pidhotovtsi vchyteliv biolohii [Interdisciplinary integration of evolutionary biology and genetics in the professional training of biology teachers]. *Naukovi zapysky. Vypusk 222 (2026). Seriia: Pedahohichni nauky*. Kropyvnytskyi : RVV TsDPU im. V. Vynnychenka, 2026. P. 576-581. DOI: https://doi.org/10.36550/2415-7988-2026-1-222-576-581 (in Ukrainian)

13. Donchenko S.V., Naidonova H. H., Omelchenko H. V. Shliakhy pidvyshchennia yakosti nadannia osvitnikh posluh v period epidemiolohichnykh zakhodiv [Ways to improve the quality of educational services during epidemiological measures]. *Naukovi zapysky. Seriia: Pedahohichni nauky*. Kropyvnytskyi: Tsentralnoukrainskyi derzhavnyi pedahohichnyi universytet imeni Volodymyra Vynnychenka, 2022. Vypusk 200. P.66-71 DOI: https://doi.org/10.36550/2415-7988-2022-1-200 (in Ukrainian)

14. Towns M. H., Harwood C. J., Robertshaw M. B., Fish J., O'Shea K. Development of an instrument to assess students' science process skills in the chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education*. 2015. Vol. 92, No. 12. P. 2038–2044. DOI: 10.1021/acs.jchemed.5b00424

15. Stephenson N. S., Sadler-McKnight N. P. Developing Critical Thinking Skills in the High School Chemistry Classroom Through Inquiry-Based Laboratory Activities. *Journal of Chemical Education*. 2020. Vol. 97, No. 4. P. 909–917. DOI: 10.1021/acs.jchemed.9b00796

Дата першого надходження статті до видання: 24.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 10.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026