

формуванні правової компетентності майбутніх учителів, розробленні діагностичного інструментарію для оцінювання рівня її сформованості, а також у створенні та апробації комплексних моделей інтеграції інноваційних технологій у систему професійної підготовки педагогів.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Іванова Н. М. Правова компетентність педагога як складова професійної підготовки майбутнього вчителя. *Педагогічні науки: теорія та практика*. 2020. № 3. С. 45–50.
2. Коваленко О. В. Правова культура вчителя в умовах модернізації освіти. Київ: Педагогічна думка. 2021. 176 с.
3. Литвиненко І. П. Інтерактивні методи навчання у підготовці майбутніх педагогів. *Освітні інновації*. 2023. № 4. С. 33–39.
4. Марченко Л. А. Інноваційні технології у професійній підготовці майбутніх учителів. *Вісник педагогічних досліджень*. 2022. № 2. С. 62–68.
5. Петрова С. О. Формування правової компетентності студентів педагогічних спеціальностей. Харків: Основа, 2018. 192 с.
6. Сидоренко Т. В. Правова культура педагога як чинник захисту прав учасників освітнього процесу. *Наукові записки*. Серія: Педагогіка. 2019. № 1. С. 89–94.

REFERENCES

1. Ivanova, N. M. (2020). Pravova kompetentnist' pedahoha yak skladova profesiinoi pidhotovky maibutnoho vchytelia [Legal competence of the teacher as a component of professional training of future teachers]. *Pedahohichni nauky: teoriia ta praktyka*. (3). S. 45–50. [in Ukrainian]
2. Kovalenko, O. V. (2021). Pravova kultura vchytelia v umovakh modernizatsii osvity [Teacher's legal culture in the context of education modernization]. Kyiv: Pedahohichna dumka. 176 s. [in Ukrainian]

3. Lytvynenko I. P. (2023). Interaktyvni metody navchannia u pidhotovtsi maibutnikh pedahohiv [Interactive teaching methods in the preparation of future educators]. *Osvitni innovatsii*. (4). S. 33–39. [in Ukrainian]

4. Marchenko, L. A. (2022). Innovatsiini tekhnolohii u profesiinii pidhotovtsi maibutnikh uchyteliv [Innovative technologies in the professional training of future teachers]. *Visnyk pedahohichnykh doslidzhen*. (2). S. 62–68. [in Ukrainian]

5. Petrova, S. O. (2018). Formuvannia pravovoi kompetentnosti studentiv pedahohichnykh spetsialnostei [Formation of legal competence of students in pedagogical specialties]. Kharkiv: Osнова. 192 s. [in Ukrainian]

6. Sydorenko, T. V. (2019). Pravova kultura pedahoha yak chynnyk zakhystu prav uchasykyv osvitalnoho protsesu [Teacher's legal culture as a factor in protecting the rights of participants in the educational process]. *Naukovi zapysky. Seriya: Pedahohika*. (1). S. 89–94. [in Ukrainian]

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

ПОТАПЧУК Тетяна – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри теорії та методики дошкільної і спеціальної освіти Карпатського національного університету імені Василя Стефаника.

Наукові інтереси: професійна підготовка майбутніх педагогів, правова компетентність, інноваційні технології.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

POTAPCHUK Tetiana – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor of Theory and Methods Preschool and Special Education of Vasyl Stefanyk Carpathian National University.

Scientific interests: professional training of future teachers, legal competence, innovative technologies.

Стаття надійшла до редакції 18.12.2025 р.

Стаття прийнята до друку 25.12.2025 р.

УДК 378.147:543:004.94

DOI: 10.36550/2415-7988-2026-1-222-42-48

БОХАН Юлія –

кандидат хімічних наук, доцент,
доцент кафедри харчових технологій
Херсонського державного аграрно-економічного університету
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9612-7780>
e-mail: lyuliya.bohan@gmail.com

ФОРОСТОВСЬКА Тетяна –

кандидат педагогічних наук, доцент, викладач хімії
Комунального закладу «Ліцей «Науковий» Міської ради
міста Кропивницького»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9353-4017>
e-mail: forostovskaja67@gmail.com

ШАРОШКІНА Тетяна –

кандидат педагогічних наук, викладач хімії
Кіровоградського медичного фахового коледжу
ім. Є.І. Мухіна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3041-8649>
e-mail: dinaket81@gmail.com

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИВЧЕННЯ АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

У статті здійснено комплексне науково-педагогічне дослідження комп'ютерного моделювання як засобу підвищення ефективності вивчення аналітичної хімії у закладах вищої освіти. Сучасні цифрові інструменти дозволяють покращити якість навчання, розвинути у студентів уміння оперувати даними, здійснювати розрахунки та формувати наукові висновки. Водночас, в українській педагогічній практиці наразі бракує комплексних методичних розробок, які демонструють застосування

комп'ютерного моделювання саме у курсі аналітичної хімії. Це породжує певні суперечності між потребою сучасної освіти у цифровізації природничих дисциплін та обмеженими можливостями її впровадження, потенціалом аналітичної хімії для використання комп'ютерних моделей і недостатньою методичною базою, а також запитом на інтерактивні освітні ресурси та нестачею адаптованих матеріалів для українських університетів.

Із метою розв'язання поставленої проблеми було застосовано комплекс методів, що забезпечив всебічну оцінку ефективності використання комп'ютерного моделювання у навчанні аналітичної хімії. Було проведено аналіз психолого-педагогічної та методичної літератури, що дозволило систематизувати та узагальнити сучасні підходи до навчання хімії та інтеграції цифрових технологій у вищу освіту, визначити переваги використання віртуальних лабораторій і симуляторів у процесі вивчення аналітичної хімії. Педагогічний експеримент із застосуванням комп'ютерного моделювання під час вивчення аналітичної хімії, проводився на базі Херсонського державного аграрно-економічного університету та Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини.

Результати проведеного педагогічного експерименту підтвердили ефективність використання комп'ютерного моделювання у навчанні аналітичної хімії як інноваційного засобу інтеграції теоретичних знань із практичними навичками студентів. Застосування віртуальних лабораторій і цифрових симуляцій забезпечило візуалізацію складних аналітичних процесів, сприяло розвитку аналітичного мислення, формуванню стійких професійних компетентностей і підвищенню мотивації до навчання, здатність до самостійного пізнання, критичного мислення та творчого вирішення практичних завдань.

Ключові слова: аналітична хімія, професійні компетентності, комп'ютерне моделювання, віртуальні лабораторії, симулятори, інтерактивні завдання.

BOKHAN Iuliia –

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department Food Technologies of
Kherson State Agrarian and Economic University
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9612-7780>
e-mail: 1yuliya.bohan@gmail.com

FOROSTOVSKA Tetiana –

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, chemistry
teacher of «Lyceum «Naukovyi»
of the Kropyvnytskyi City Council»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9353-4017>
e-mail: forostovskaja67@gmail.com

SHAROSHKINA Tetiana –

Candidate of Pedagogical Sciences, chemistry teacher at the
Kirovohrad Medical College named after I.I Mukhina
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3041-8649>
e-mail: dinaket81@gmail.com

COMPUTER MODELING AS A MEANS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF STUDYING ANALYTICAL CHEMISTRY IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

The article presents a comprehensive scientific and pedagogical study of computer modeling as a means of enhancing the effectiveness of teaching analytical chemistry in higher education institutions. Modern digital tools not only improve the quality of learning but also contribute to the development of students' abilities to work with data, perform calculations, and formulate scientific conclusions. At the same time, Ukrainian pedagogical practice currently lacks comprehensive methodological frameworks that demonstrate the application of computer modeling specifically within the course of analytical chemistry. This situation gives rise to certain contradictions between the contemporary educational demand for the digitalization of natural sciences and the limited opportunities for its implementation; between the significant potential of analytical chemistry for the use of computer models and the insufficient methodological support; as well as between the growing demand for interactive educational resources and the shortage of adapted materials for Ukrainian universities.

In order to address the identified problem, a set of methods was employed to ensure a comprehensive assessment of the effectiveness of computer modeling in teaching analytical chemistry. An analysis of psychological, pedagogical, and methodological literature was conducted, which made it possible to systematize and generalize modern approaches to chemistry education and the integration of digital technologies into higher education, as well as to identify the advantages of using virtual laboratories and simulators in the study of analytical chemistry. A pedagogical experiment involving the use of computer modeling in the teaching of analytical chemistry was carried out at Kherson State Agrarian and Economic University and Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University.

The results of the pedagogical experiment confirmed the effectiveness of computer modeling in teaching analytical chemistry as an innovative means of integrating theoretical knowledge with students' practical skills. The use of virtual laboratories and digital simulations provided visualization of complex analytical processes, promoted the development of analytical thinking, facilitated the formation of sustainable professional competencies, and increased students' motivation for learning, capacity for independent inquiry, critical thinking, and creative problem-solving.

Key words: analytical chemistry, professional competencies, computer modeling, virtual laboratories, simulators, interactive tasks.

Постановка та обґрунтування актуальності проблеми. Вивчення аналітичної хімії є складним і послідовним процесом, який вимагає високого рівня логічного мислення, точності у розрахунках і постійного самоконтролю студентів [1, с. 2]. Ця галузь хімії поєднує фундаментальні теоретичні знання з практичними навичками кількісного та якісного аналізу речовин, що робить її базовою дисципліною у підготовці майбутніх хіміків, агрохіміків, технологів і вчителів природничих

наук [7, с. 10]. Змістовна частина освітнього компоненту «Аналітична хімія» відзначається глибоким теоретичним змістом – численними абстрактними поняттями, законами, закономірностями та великою кількістю розрахункових операцій, необхідних для визначення концентрацій, титрів і точності вимірювань [8, с. 15]. Ефективне засвоєння такого матеріалу можливе лише за умови активної пізнавальної діяльності студентів і застосування сучасних педагогічних технологій,

які забезпечують візуалізацію процесів і моделювання хімічних явищ [3, с. 55–62]. Саме тому дедалі більшої актуальності набуває комп'ютерне моделювання як засіб інтеграції теорії з практикою [4; 5; 6]. Одним із головних принципів викладання аналітичної хімії є принцип наочності, який реалізується через відтворення складних аналітичних процесів – таких як титрування, зміщення рівноваги, розрахунок рН буферних систем чи побудова діаграм розчинності – у візуальному форматі [2, с. 120–125]. Сучасні цифрові інструменти (віртуальні лабораторії, симулятори титрування, програми для розрахунків і побудови діаграм тощо) дозволяють не лише покращити якість навчання, а й розвинути у студентів уміння оперувати даними, здійснювати розрахунки та формувати наукові висновки [7, с. 150–155]. Водночас, в українській педагогічній практиці поки що бракує комплексних методичних розробок, які демонструють застосування комп'ютерного моделювання саме у курсі аналітичної хімії. Це породжує певні суперечності між потребою сучасної освіти у цифровізації природничих дисциплін та обмеженими можливостями її впровадження, потенціалом аналітичної хімії для використання комп'ютерних моделей і недостатньою методичною базою, а також запитом на інтерактивні освітні ресурси та нестачею адаптованих матеріалів для українських університетів [1; 2; 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасне навчання аналітичній хімії потребує поєднання глибоких теоретичних знань із практичними навичками аналізу, що підтверджують численні дослідження вітчизняних і зарубіжних науковців. І. Мороз [1, с. 15–22] підкреслює, що ефективне освоєння аналітичних дисциплін потребує не лише засвоєння теоретичних основ, а й розвитку практичних навичок, уміння виконувати розрахунки, оцінювати похибки та робити наукові висновки. О. Колесник [2, с. 45–70] доводить, що використання інформаційних технологій у хімічній освіті сприяє активізації пізнавальної діяльності студентів та покращує візуалізацію складних процесів, таких як хімічна рівновага, титрування і побудова кривих розчинності.

Т. Коваль [3, с. 55–62] у своїй роботі описує ефективність віртуальних лабораторій, зазначаючи, що інтеграція цифрових симуляцій у навчальний процес підвищує мотивацію студентів, сприяє розвитку аналітичного мислення та формуванню професійних компетентностей.

Серед міжнародних джерел, платформи ChemCollective [4], PHET Simulations [5] та Avogadro [6] забезпечують інтерактивне моделювання хімічних експериментів, структур молекул та кислотно-основних систем, що дозволяє студентам безпечно проводити досліди та аналізувати їх результати. D. C. Harris [7], D. A. Skoog та співавт. [8], G. D. Christian та співавт. [9] демонструють фундаментальні підходи до навчання аналітичної хімії з інтеграцією цифрових технологій, підкреслюючи важливість точності розрахунків, аналітичної логіки та моделювання експериментальних процесів.

Додатково, Р. Chan [10] у систематичному огляді показав, що віртуальні лабораторії сприяють підвищенню академічних досягнень студентів та забезпечують гнучкість у навчанні за умов обмежених ресурсів. С. Tüysüz [11] довів, що інтеграція цифрових симуляцій підвищує якість навчання та розвиває критичне мислення. R. El-maazen та співавт. [12] підкреслюють, що навчальна аналітика у віртуальних лабораторіях дозволяє контролювати прогрес студентів і адаптувати навчальний процес під їхні потреби. F. Alhashem [13] дослідив вплив віртуальних лабораторій на ставлення студентів до навчання та розвиток практичних навичок, підтвердивши позитивний ефект цифрових технологій у хімічній освіті.

У сукупності українські та міжнародні дослідження демонструють, що використання комп'ютерного моделювання, віртуальних лабораторій та інтерактивних симуляцій у курсах аналітичної хімії сприяє підвищенню рівня знань та практичних навичок студентів, розвитку аналітичного мислення та здатності до самостійного проведення експериментів, формуванню мотивації до навчання та інтересу до дослідницької діяльності, а також інтеграції теоретичних знань із практичними навичками та цифровими інструментами.

Таким чином, аналіз останніх досліджень і публікацій підтверджує ефективність використання комп'ютерного моделювання як інноваційного засобу підвищення якості навчання аналітичної хімії у закладах вищої освіти [1–13].

Мета статті полягає у дослідженні формування інноваційного освітнього середовища з освітнього компоненту «Аналітична хімія», у якому застосування комп'ютерного моделювання, віртуальних експериментів та цифрових інструментів аналізу даних забезпечує не лише ефективне засвоєння теоретичного матеріалу, а й розвиток аналітичного мислення, практичних навичок і професійних компетентностей студентів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Із метою розв'язання поставленої проблеми було застосовано комплекс методів, що забезпечив всебічну оцінку ефективності використання комп'ютерного моделювання у навчанні аналітичної хімії. Було проведено аналіз психолого-педагогічної та методичної літератури, що дозволило систематизувати сучасні підходи до навчання хімії та інтеграції цифрових технологій у вищу освіту [1–13]. Для порівняння традиційних та цифрових методів навчання було використано систематизацію та узагальнення наявних даних. Педагогічний експеримент, проведений на базі Херсонського державного аграрно-економічного університету та Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини, включав розподіл студентів на експериментальні та контрольні групи, виконання інтерактивних завдань у віртуальних лабораторіях, моделювання процесів титрування, розрахунок рН буферів, побудову кривих титрування та аналіз похибок вимірювань за допомогою спеціалізованих програмних засобів. Для оцінки результатів навчання застосовувалися тестування, анкетування та аналіз

практичних навичок студентів. Усі отримані дані підлягали статистичній обробці з використанням *t*-критерію Стьюдента для визначення достовірності різниці між результатами експериментальних та контрольних груп ($p < 0,05$). Комплекс застосованих методів дозволив оцінити ефективність інтеграції комп'ютерного моделювання у навчальний процес аналітичної хімії та сформулювати практичні рекомендації щодо впровадження цифрових технологій для розвитку професійних компетентностей студентів.

Методологічну основу дослідження становить моделювання як метод навчання, що дозволяє відтворювати сутність хімічних явищ через створення комп'ютерних аналогів реальних процесів [7; 8; 9]. У дослідженні застосовувалися навчальні комп'ютерні програми (НКП), які моделюють ключові процеси аналітичної хімії: ChemCollective Virtual Lab та Virtual ChemLab – моделювання титрувань і реакцій осадження [4]; Avogadro, MolView – побудова структур молекул і реагентів [6]; PHET Interactive Simulations – дослідження кислотно-основних рівноваг і буферних систем [5]; ChemMaths, ChemBuddy – обчислення pH, йонної сили, констант дисоціації [1]; Virtual Periodic Table,

ChemReference – інтерактивні довідники для розрахункових задач [2]. У рамках педагогічного експерименту студентам пропонувалися інтерактивні завдання, що дозволяли поєднати теоретичні знання з практичними навичками аналітичної хімії. Зокрема, із застосуванням ресурсу *PhET Interactive Simulations* студенти моделювали буферні системи, змінюючи концентрації компонентів та спостерігаючи динаміку зміни pH розчинів. Це завдання дало змогу відпрацювати навички розрахунку pH, аналізу кислотно-основних рівноваг та оцінки впливу концентрації реагентів на стійкість буферних систем у реальному часі. Окрім того, у межах практичного модуля «Контроль якості харчових продуктів» було змодельовано вплив додавання кислот і лугів на pH різних напоїв (зокрема фруктових соків і молочних продуктів) для визначення оптимальних умов стабілізації кислотно-лужного балансу. Це дало можливість студентам проаналізувати, які добавки сприяють збереженню смакових і технологічних властивостей продуктів, а також розвинути навички практичного прогнозування змін pH у харчових системах [5] (рис. 1).

Моделювання зміни pH харчових продуктів при додаванні кислот і лугів у середовищі PhET Interactive Simulations

Ви працюєте у лабораторії контролю якості харчових продуктів. Завдання полягає у визначенні, як додавання кислоти або луку впливає на pH різних розчинів напоїв (наприклад, фруктових соків або молочних продуктів). Вашою метою є оцінити, які добавки можна застосовувати для стабілізації pH продукту та підтримки його смакових та технологічних властивостей.

Мета завдання: Навчитися прогнозувати зміну pH при додаванні кислот або лугів, спостерігати вплив концентрації реагентів на кислотно-лужний баланс розчину, розвинути навички аналітичного мислення і практичної інтерпретації результатів.



Рис. 1. Приклад інтерактивного завдання – моделювання зміни pH харчових продуктів при додаванні кислот і лугів у середовищі *PhET Interactive Simulations*.

У рамках дослідження були визначені етапи формування інтерактивного завдання при вивченні аналітичної хімії з використанням технології комп'ютерного моделювання:

1. Теоретичний огляд. Перед виконанням завдання студент повинен добре засвоїти теоретичний матеріал, що забезпечує розуміння сутності моделюваного процесу.

2. Визначення рівня складності завдання. На початковому етапі студент знайомиться з комп'ю-

терною програмою та виконує завдання за алгоритмом, підготовленим викладачем. Після формування базових навичок роботи з моделлю студентам пропонуються завдання різного рівня складності.

3. Виконання завдання. Студент реалізує запропоноване завдання відповідно до інструкції або алгоритму. На цьому етапі важливо надати можливість самостійного виконання завдання з координацією та підтримкою з боку викладача у

разі труднощів. Для активізації мислення студента можуть застосовуватися різні способи: від підказок викладача до технічної допомоги.

4. Оцінка результату роботи. Результат навчання оцінюється залежно від виду роботи з інтерактивною моделлю.

Ще одним із прикладів інтерактивного завдання була побудова молекули координаційної сполуки $[Pd(en)_2]Cl_2$ за допомогою універсальної комп'ютерної програми King Draw. Завдання було структуроване за принципом покрокової інструкції: студентам пропонувалося створити молекулу етилендіаміну, приєднати до неї атом паладію, оптимізувати структуру, перевести формулу у 3D-модель та дослідити її просторову будову. Під час виконання завдання студенти визначали типи хімічних зв'язків, їхню кількість і довжину, а також механізм утворення зв'язків. Крім того, вони мали можливість обернути молекулу, оцінювати взаємне розташування атомів та порівнювати різні види моделей: кулестержневу, масштабну або модель, що відображає сили Ван-дер-Ваальса. Завдання побудоване таким чином, що його алгоритм є універсальним і може бути адаптований для моделювання будь-яких молекул у курсі аналітичної хімії [6].

Поєднання цих інтерактивних завдань із традиційними лабораторними роботами дозволило студентам розвинути просторове уявлення про молекулярну будову, підвищити точність розрахунків і сформувати навички самостійного аналізу експериментальних даних. Крім того, використання віртуальних симуляцій сприяло розвитку аналітичного мислення, умінню прогнозувати поведінку систем та оцінювати вплив змін параметрів на результати експерименту. Такий підхід забезпечив ефективну інтеграцію теоретичних знань із практичними навичками та підтвердив ефективність комп'ютерного моделювання як інноваційного засобу навчання аналітичної хімії.

Педагогічний експеримент було проведено у 2024–2025 та продовжено проведення у 2025–2026 навчальному році на базі двох закладів вищої освіти:

- Херсонського державного аграрно-економічного університету,
- Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини.

У дослідженні взяли участь 84 студенти, які навчалися за спеціальностями «Середня освіта (Хімія)» та «Харчові технології». Учасників було поділено на експериментальні (42 особи) та контрольні (42 особи) групи. У контрольних групах навчання відбувалося традиційними методами: лекції, лабораторні роботи з використанням реактивів, практичні роботи зі стандартними розрахунковими завданнями. В експериментальних групах використовувалося комп'ютерне моделювання під час лекцій, практичних та лабораторних занять.

Педагогічний експеримент із впровадження технологій комп'ютерного моделювання у вивчення аналітичної хімії проводився поетапно та складався з трьох основних етапів. На конста-

тувальному етапі було визначено вихідний рівень знань, умінь і навичок студентів, зокрема їхню здатність виконувати аналітичні розрахунки, розуміння теоретичних основ хімічної рівноваги, а також умінь інтерпретувати експериментальні дані. Цей етап дав змогу виявити рівень готовності студентів до використання цифрових інструментів у процесі навчання [7]. На формувальному етапі студенти виконували інтерактивні завдання у віртуальних лабораторіях, що включали моделювання процесів кислотно-основного титрування, розрахунок рН буферних розчинів, побудову кривих титрування, а також аналіз похибок вимірювань за допомогою спеціалізованих програмних засобів [4; 5; 6]. Використання віртуальних симуляторів сприяло глибшому розумінню механізмів перебігу аналітичних процесів, підвищенню точності розрахунків і розвитку навичок самостійної науково-дослідної діяльності.

На контрольному етапі здійснювалася перевірка рівня засвоєння навчального матеріалу, здатності студентів застосовувати набуті знання на практиці, а також оцінювався розвиток аналітичного мислення, самостійності та вміння робити висновки на основі моделювання експериментальних даних [7; 8]. Після завершення експерименту результати контрольних і експериментальних груп засвідчили помітну різницю у рівнях знань та практичних умінь студентів (табл. 1).

Таблиця 1. Динаміка навчальних результатів студентів контрольної та експериментальної груп у процесі вивчення аналітичної хімії

Показник	Контрольна група	Експериментальна група
Середній бал за тестуванням	71,8 %	8,6 %
Практичні навички (0–10 балів)	6,3	8,9
Здатність до самостійного аналізу результатів	57 %	86 %
Мотивація до навчання (анкетування)	63 %	90 %

Статистичний аналіз результатів (t-критерій Стьюдента, $p < 0,05$) підтвердив достовірність підвищення ефективності навчання в експериментальних групах. Отримані результати свідчать, що впровадження комп'ютерного моделювання у навчання аналітичної хімії сприяє глибшому розумінню матеріалу, підвищує рівень самостійності студентів і забезпечує інтеграцію теорії з практикою [7; 9]. Використання віртуальних лабораторій і симуляцій титрування дало змогу студентам експериментувати без ризику помилки, аналізувати вплив параметрів реакцій і спостерігати динаміку змін рівноваги. Така форма діяльності розвиває навички аналітичного мислення, точності та дослідницької культури, що особливо важливо для підготовки фахівців аграрного та педагогічного профілю [1; 3; 5].

Висновки та перспективи подальших розвідок напрямку. Результати проведеного педа-

гогічного експерименту підтвердили ефективність використання комп'ютерного моделювання у навчанні аналітичної хімії як інноваційного засобу інтеграції теоретичних знань із практичними навичками. Застосування віртуальних лабораторій і цифрових симуляцій, забезпечило візуалізацію складних аналітичних процесів, сприяло розвитку аналітичного мислення, формуванню стійких професійних компетентностей і підвищенню мотивації до навчання. Студенти експериментальних груп продемонстрували значно вищі результати за всіма показниками навчальних досягнень порівняно з контрольними групами, що статистично підтверджено за допомогою t-критерію Стюдента ($p < 0,05$).

Отримані результати доводять, що впровадження комп'ютерного моделювання у процес вивчення аналітичної хімії підвищує якість засвоєння навчального матеріалу, розвиває у студентів здатність до самостійного пізнання, критичного мислення та творчого вирішення практичних завдань. Цифрові симуляції забезпечують безпечне середовище для експериментів, де студенти можуть спостерігати динаміку хімічних процесів, змінювати параметри реакцій і одразу бачити результати своїх дій, що значно підвищує рівень розуміння матеріалу.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні інтегрованих методичних рекомендацій для викладачів аналітичної хімії щодо системного використання комп'ютерного моделювання у навчальному процесі, створенні україномовних цифрових симуляцій, адаптованих до освітніх стандартів вищої школи, а також у розширенні дослідження на інші галузі хімічних дисциплін. Подальший розвиток таких технологій сприятиме формуванню цифрової компетентності майбутніх фахівців, забезпеченню безперервності хімічної освіти та підвищенню її якості відповідно до сучасних європейських освітніх стандартів.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Мороз І.В. Методика викладання аналітичної хімії: підручник. Київ: Либідь. 2020. 256 с.
2. Колесник О.П. Інформаційні технології в хімічній освіті: монографія. Харків: Харківський національний університет. 2021. 184 с.
3. Коваль Т.П. Використання віртуальних лабораторій у навчанні хімії. *Наукові записки Уманського державного педагогічного університету*. 2023. Вип. 3. С. 55–62.
4. ChemCollective Virtual Lab. [Електронний ресурс]: симулятор хімічних експериментів. The ChemCollective. URL: <https://chemcollective.org> (дата звернення: 06.10.2025).
5. PhET Simulations: Acid-Base Solutions [Електронний ресурс]: симулятор кислотно-основних розчинів. University of Colorado Boulder. URL: <https://phet.colorado.edu> (дата звернення: 06.10.2025).
6. Avogadro Project [Електронний ресурс]: конструктор молекул / Avogadro Development Team. URL: <https://avogadro.cc> (дата звернення: 06.10.2025).
7. Juan José Baeza-Baeza, Olivia Pini, Francisco F. Pérez-Pla, María Celia García-Álvarez-Coque. Solving Chemical Equilibria in Titrimetry with the Inclusion of Ionic Strength Using OCTAVE and EXCEL. *World Journal of Chemical Education*. 2021. 9(3):81-87. URL: <https://doi.org/10.12691/wjce-9-3-3>. (дата звернення: 12.10.2025).
8. Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch,

S. R. Fundamentals of Analytical Chemistry. Boston: Cengage Learning. 2014. URL: <https://doi.org/10.1007/s00216-013-7242-1>. (дата звернення: 09.09.2025).

9. Horvai, G. Gary D. Christian, Purnendu (Sandy) Dasgupta and Kevin Schug. Analytical chemistry, 7th ed.. *Anal Bioanal Chem*. 2014. 406. 5255–5256. URL: <https://doi.org/10.1007/s00216-014-7884-7>. (дата звернення: 06.10.2025).

10. Chan, P., Van Gerven, T., Dubois, J., & Bernaerts, K. (2021). Virtual chemical laboratories: A systematic literature review of research, technologies and instructional design. *Computers and Education Open*. 2. 100053. URL: <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100053>. (дата звернення: 12.10.2025).

11. Tüysüz C. (2010). The Effect of the Virtual Laboratory on Students' Achievement and Attitude in Chemistry. *International Online Journal of Educational Sciences*. № 2(1). P.37–53. URL: <https://www.acarindex.com/dosyalar/makale/acarindex1423904485.pdf>. (дата звернення: 12.10.2025).

12. Elmoazen, R., Saqr, M., Khalil, M. et al. (2023). Learning analytics in virtual laboratories: a systematic literature review of empirical research. *Smart Learn. Environ*. 10. 23. URL: <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00244-y>. (дата звернення: 12.10.2025).

13. Alhashem, F., & Alfaiakawi, A. (2023). Technology-enhanced learning through virtual laboratories in chemistry education. *Contemporary Educational Technology*. 15(4). ep474. URL: <https://doi.org/10.30935/cedtech/13739>. (дата звернення: 06.10.2025).

REFERENCES

1. Moroz, I.V. (2020). *Metodyka vykladannya analitychnoyi khimiy: pidruchnyk* [Methods of teaching analytical chemistry: textbook]. Kyiv: Lybid'. 256 s. [in Ukrainian]
2. Kolesnyk, O.P. (2021). *Informatsiyni tekhnolohiyi v khimichnyi osviti: monohrafiya* [Information technologies in chemical education: monograph]. Kharkiv: Kharkivskyy natsional'nyy universytet. 184 s. [in Ukrainian]
3. Koval', T.P. (2023). *Vykorystannya virtual'nykh laboratoriy u navchanni khimiyi* [Using virtual laboratories in chemistry teaching]. Uman': Naukovi zapysky Umanskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu. Vyp. 3. S. 55–62. [in Ukrainian]
4. ChemCollective Virtual Lab [Elektronnyy resurs]: symulyator khimichnykh eksperymentiv. The ChemCollective. URL: <https://chemcollective.org> [in English]
5. PhET Simulations: Acid-Base Solutions [Elektronnyy resurs]: symulyator kyslotno-osnovnykh rozchyniv. University of Colorado Boulder. URL: <https://phet.colorado.edu>. [in English]
6. Avogadro Project [Elektronnyy resurs]: konstruktor molekul / Avogadro Development Team. URL: <https://avogadro.cc>. [in English]
7. Juan José, Baeza-Baeza, Olivia, Pini, Francisco F. Pérez-Pla, María Celia García-Álvarez-Coque. (2021). Solving Chemical Equilibria in Titrimetry with the Inclusion of Ionic Strength Using OCTAVE and EXCEL. *World Journal of Chemical Education*. 9(3):81-87. doi: 10.12691/wjce-9-3-3. [in English]
8. Skoog, D.A., West, D.M., Holler, F.J., & Crouch, S.R. (2014). *Fundamentals of Analytical Chemistry* (9-te vyd.). Boston: Cengage Learning. DOI: 10.1007/s00216-013-7242-1. [in English]
9. Horvai, G. Gary, D. Christian, Purnendu (Sandy) Dasgupta and Kevin Schug. (2014). *Analytical chemistry*, 7th ed.. *Anal Bioanal Chem* 406. Pp. 5255–5256. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00216-014-7884-7> [in English]
10. Chan P., Van Gerven T., Dubois J., & Bernaerts, K. (2021). Virtual chemical laboratories: A systematic literature review of research, technologies and instructional design. *Computers and Education Open*. 2. 100053. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100053>. [in English]

11. Tüysüz C. (2010). The Effect of the Virtual Laboratory on Students' Achievement and Attitude in Chemistry. International Online Journal of Educational Sciences. № 2(1). P. 37–53. URL: <https://www.acarindex.com/dosyalar/makale/acarindex1423904485.pdf>. [in English]

12. Elmoazen R., Saqr M., Khalil M. et al. (2023). Learning analytics in virtual laboratories: a systematic literature review of empirical research. Smart Learn. Environ. 10. 23. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00244-y>. [in English]

13. Alhashem F., & Alfalakawi A. (2023). Technology-enhanced learning through virtual laboratories in chemistry education. Contemporary Educational Technology. 15(4). ep474. DOI: <https://doi.org/10.30935/cedtech/13739>. [in English]

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

БОХАН Юлія – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету.

Наукові інтереси: методика та історія викладання хімії у закладах вищої освіти, аналітична хімія малих концентрацій, пробопідготовка в інструментальних методах аналізу.

ФОРОСТОВСЬКА Тетяна – кандидат педагогічних наук, доцент, вчитель хімії Комунального закладу «Ліцей «Науковий» Міської ради міста Кропивницького».

Наукові інтереси: проблеми методики навчання хімії в закладах загальної середньої освіти.

ШАРОШКІНА Тетяна – кандидат педагогічних

наук, викладач хімії Кіровоградського медичного фахового коледжу ім. Є.І. Мухіна.

Наукові інтереси: формування ключових компетентностей студентів на заняттях хімії шляхом використання інноваційних технологій, активних та інтерактивних методів навчання.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

BOKHAN Iuliia – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department Food Technologies of Kherson State Agrarian and Economic University.

Scientific interests: methodology and history of teaching chemistry in institutions of higher education, analytical chemistry of small concentrations, sample preparation in instrumental analysis methods.

FOROSTOVSKA Tetiana – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, chemistry teacher of «Lyceum Naukovyi» of the Kropyvnytskyi City Council.

Scientific interests: the theory and methodology for teaching chemistry in institutions of higher education.

SHAROSHKINA Tetiana – Candidate of Pedagogical Sciences, chemistry teacher at the Kirovohrad Medical College named after I.I. Mukhina.

Scientific interests: formation of students' key competencies in chemistry classes through the use of innovative technologies, active and interactive learning methods.

Стаття надійшла до редакції 11.12.2025 р.

Стаття прийнята до друку 21.12.2025 р.

УДК 37.015.3:159.942(73)

DOI: 10.36550/2415-7988-2026-1-222-48-52

ДОЛИННА Анна –

кандидат історичних наук,

доцент, доцент кафедри всесвітньої історії

Вінницького державного педагогічного університету

імені Михайла Коцюбинського

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0559-1087>

e-mail: anna_polishchukpas@ukr.net

АМЕРИКАНСЬКИЙ ДОСВІД ПСИХОНОМІЧНОЇ ОСВІТИ: ЕМОЦІЙНА СТІЙКІСТЬ В УМОВАХ СКЛАДНИХ ЖИТТЄВИХ ОБСТАВИН

Американський досвід психоемоційної освіти в умовах сучасних викликів демонструє системний підхід до формування емоційної стійкості педагогів і здобувачів освіти, особливо в умовах стресу, травматичних подій та соціальної нестабільності. У контексті зростаючих соціальних викликів, травматичних подій та психологічної нестабільності, особливо в освітньому середовищі, формування емоційної стійкості педагогів набуває особливої актуальності. У США психоемоційна освіта розвивається як міждисциплінарна галузь, що поєднує елементи педагогіки, психології, нейронауки та арт-терапії. Американські моделі активно впроваджують соціально-емоційне навчання, тренінги емоційного інтелекту, коучингові програми та практики саморегуляції, які спрямовані на розвиток здатності до адаптації, самоспостереження, емоційного балансу та професійної витривалості. Особливу увагу в США приділяють створенню безпечного освітнього простору, профілактиці емоційного вигорання та розвитку навичок стресостійкості серед педагогів. У межах проєктів, реалізованих за участі Американської федерації вчителів (AFT), розробляються навчальні модулі для освітян, які працюють у кризових умовах, зокрема з дітьми, що пережили травму. Такий досвід є надзвичайно цінним для української освітньої системи, яка функціонує в умовах війни та потребує ефективних моделей психоемоційної підтримки.

У статті представлено узагальнені показники емоційної стійкості фахівців психоемоційної сфери США, розподілені за когнітивною, емоційною, волевою та соціально-комунікативною складовими. На основі аналізу цих показників визначено високий рівень психоемоційної витривалості педагогів, психологів та арт-терапевтів, які працюють в умовах складних життєвих обставин. Встановлено, що найвищі показники спостерігаються у соціально-комунікативній (88.1) та емоційній (85.3) складових, що свідчить про ефективність коучингових, арт-терапевтичних і травма-інформованих практик у системі професійної підготовки. Індекс загальної емоційної стійкості (83.7) підтверджує системний характер американської психоемоційної освіти, яка поєднує когнітивно-поведінкові, нейропсихологічні, гуманістичні та технологічні моделі. Особливу увагу приділено розвитку soft skills: емоційного інтелекту, лідерства, комунікації та стресостійкості. Обґрунтовано доцільність адаптації американського досвіду до українського освітнього простору, зокрема через впровадження інтегративно-технологічного напрямку, що сприятиме формуванню емоційної стійкості, професійної автономії та готовності діяти в умовах невизначеності.

Ключові слова: емоційна стійкість, психоемоційна освіта, США, когнітивно-поведінкові моделі, освітні технології, професійна автономія, адаптація, освітнє середовище.