

REFERENCES

1. Boichuk, P. M., Kozihora, M. A., & Romanyuk, A. M. (2021). Bulinh yak sotsialno-psykholohichne yavyshe u suchasnomu osvitnomu prostori [Bullying as a socio-psychological phenomenon in the modern educational space]. *Akademichni studii. Serii «Pedahohika»*. 2(3). S. 10–16. [in Ukrainian]
2. Bezhenar, H. (2012). Bulinh: pidlitkove nasylstvo v shkoli [Bullying: Adolescent violence at school]. *Shkola*. 2(74). S. 75–79. [in Ukrainian]
3. Hodecka, T. (2019). Bulinh yak sotsialno-psykholohichnyi fenomen [Bullying as a socio-psychological phenomenon]. *Dyrektor shkoly, litsieiu, himnazii: Vseukrainskyi naukovo-praktychniy zhurnal*. 19(2). S. 40–47. [in Ukrainian]
4. Kanishevska, L., & Shakhrai, V. (2022). Osoblyvosti vykhovannia v shkoli i simi v umovakh tsyfrovizatsii [Features of education in school and family under the condition of digitalization]. *Perspektyvy ta innovatsii nauky – Prospects and innovations of science*. 4(9). S. 144–155. [in Ukrainian]
5. Kuleshova, O. V., & Mikheeva, L. V. (2019). Bulinh v osvitnomu seredovyschi: analiz, shliakhy podolannia [Bullying in the educational environment: Analysis and ways of overcoming]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Serii «Psykhologichni nauky»*. Vyp. 1. S. 154–158. [in Ukrainian]
6. Lushpay, L. I. (2013). Shkilnyi bulinh yak ryznovyd suspilnoi ahresii [School bullying as a type of social aggression]. *Naukovi zapysky Natsionalnoho universytetu «Ostrozka akademiia»*. Serii: Filolohichna. Vyp. 33. S. 85–88 [in Ukrainian]
7. Sydoruk, I. (2015). Bulinh yak aktualna sotsialno-pedahohichna problema [Bullying as an urgent socio-pedagogical problem]. *Naukovyi visnyk Shkidoievropetskoho natsionalnoho universytetu imeni Lesi Ukrainky. Pedahohichni nauky*. 1(302). S. 169–173. [in Ukrainian]
8. Fedorchenko, T. (2023). Zapobihannia bulingu sered shkolariv u zakladyakh zahalnoi serednoi osvity yak pedahohichna problema [Prevention of bullying among schoolchildren in general secondary education institutions as a pedagogical problem]. *Teoretyko-metodychni problemy vykhovannia ditei ta uchnivskoi molodi*. 27(2). S. 253–267. [in Ukrainian]
9. Shakhrai, V. (2024). Zapobihannia i podolannia bulingu v tsyfrovomu osvitnomu seredovyschi: vyznachennia osnovnykh poniat [Prevention and overcoming of bullying in the digital educational environment: Definition of key concepts]. *Visnyk nauky ta osvity*. 1(19). S. 1375–1387. [in Ukrainian]

10. Novaco, R. W. (2020). Anger treatment with violent offenders. In J. S. Wormith, L. E. Craig, & T. E. Hogue (Eds.), *What works in violence risk management: Theory, research and practice* Chichester. UK: Wiley-Blackwell. pp. 385–397. [in English]

11. Olweus, D., & Limber, S. P. (2010). The Olweus Bullying Prevention Program: Implementation and evaluation over two decades. In S. R. Jimerson, S. M. Swearer, & D. L. Espelage (Eds.), *Handbook of bullying in schools: An international perspective* New York, NY: Routledge. pp. 377–401. [in English]

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

БІЛАН Валентина – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри педагогіки, психології, початкової, дошкільної освіти та управління закладами освіти Закарпатського угорського університету імені Ференца Ракоці ІІ.

Наукові інтереси: підготовка майбутніх здобувачів дошкільної освіти до професійної діяльності в умовах сучасної освіти.

БЕВЗІЮК Марина – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри педагогіки, психології, початкової, дошкільної освіти та управління закладами освіти Закарпатського угорського університету імені Ференца Ракоці ІІ.

Наукові інтереси: підготовка майбутніх здобувачів дошкільної освіти до професійної діяльності в умовах сучасної освіти.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

BILAN Valentyna – PhD in Pedagogical Sciences Associate Professor of the Department of Pedagogy, Psychology, Primary, Preschool Education and Education, Management of Educational Institutions of the Transcarpathian Hungarian University named after Ferenc Rákóczi II.

Scientific interests: preparing future preschool education seekers for professional activity in the context of modern education.

BEVZIUK Maryna – PhD in Pedagogical Sciences Associate Professor of the Department of Pedagogy, Psychology, Primary, Preschool Education and Education, Management of Educational Institutions of the Transcarpathian Hungarian University named after Ferenc Rákóczi II.

Scientific interests: preparing future preschool education seekers for professional activity in the context of modern education.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2025 р.

Стаття прийнята до друку 22.09.2025 р.

УДК 37.091.3:004:54:51

DOI: 10.36550/2415-7988-2025-1-221-133-138

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: 1yuliya.bohan@gmail.com

ФОРОСТОВСЬКА Тетяна –

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

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ТА ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РОЗВИТКУ МАТЕМАТИЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ НА УРОКАХ ХІМІЇ

Одним з актуальних трендів сучасної освіти є використання імерсивних технологій. Вони створюють гнучкі інформаційні середовища, де відбувається активна взаємодія людини з простором та інформацією. Ці технології стирають межі між реальним і віртуальним світом, даючи змогу учням зануритися в інформацію та здобувати практичні знання у штучному віртуальному просторі.

Автори стверджують, що інтеграція цифрових та імерсивних технологій з хімією є актуальною, оскільки вона сприяє розвитку математичної компетентності в контексті хімії, підвищує мотивацію та пізнавальну активність учнів.

У статті досліджено теоретичні основи інтеграції ІКТ і VR/AR у процес навчання органічної хімії. Показано, що цифрові моделі та симуляції допомагають учням усвідомити закономірності перебігу реакцій, а віртуальні лабораторії дозволяють проводити досліди, які небезпечно або неможливо реалізувати у шкільних умовах. Використання імерсивних технологій сприяє розвитку математичної компетентності: учні опановують просторове мислення, геометричне моделювання молекул, 3D-візуалізацію кристалічних ґраток тощо. Проведено аналіз різних програмних продуктів на основі імерсивних технологій, який дозволив виділити основні напрями їх застосування для розвитку математичної компетентності при вивченні хімії.

Стаття розкриває практику застосування різних програмних ресурсів під час викладання органічної хімії в Комунальному закладі «Ліцей «Науковий» Кропивницької міської ради». Застосування цифрових та імерсивних технологій у викладанні органічної хімії в даному закладі значно підвищило рівень засвоєння математичних методів у розв'язуванні хімічних задач, підвищило цифрову компетентність учнів, покращило дослідницькі уміння, підвищило мотивацію до вивчення та інтерес до органічної хімії.

Встановлено, що імерсивні технології виступають важливим елементом цифрового освітнього середовища та дозволяють організувати інтерактивний процес навчання, формують міждисциплінарні зв'язки, підвищують залученість учнів та мотивацію до вивчення хімії, сприяють розвитку математичних компетентностей у контексті хімії, просторового мислення, аналітичних навичок та цифрової грамотності.

Ключові слова: інтерактивне навчання, цифрові та імерсивні технології, органічна хімія, математична грамотність, візуалізація об'єктів.

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: lyuliya.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

USE OF DIGITAL AND IMMERSIVE TECHNOLOGIES FOR THE DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL COMPETENCE IN CHEMISTRY LESSONS

One of the current trends in modern education is the use of immersive technologies. They create flexible information environments in which active interaction between a person, space, and information takes place. These technologies blur the boundaries between the real and virtual worlds, allowing students to immerse themselves in information and acquire practical knowledge in an artificial virtual space.

The authors argue that the integration of digital and immersive technologies with chemistry education is highly relevant, as it contributes to the development of mathematical competence in the context of chemistry, while also enhancing students' motivation and cognitive activity.

The article explores the theoretical foundations of integrating ICT and VR/AR into the process of teaching organic chemistry. It is shown that digital models and simulations help students understand the regularities of chemical reactions, while virtual laboratories make it possible to conduct experiments that would be dangerous or impossible to perform in school settings. The use of immersive technologies contributes to the development of mathematical competence: students master spatial thinking, geometric modeling of molecules, and 3D visualization of crystal lattices.

An analysis of various software products based on immersive technologies was conducted, allowing the identification of key directions for their use in developing mathematical competence during the study of chemistry.

The article presents the practical experience of applying various software tools in teaching organic chemistry at the Municipal Institution "Scientific Lyceum" of the Kropyvnytskyi City Council. The use of digital and immersive technologies in teaching organic chemistry at this institution significantly improved students' mastery of mathematical methods in solving chemical problems, enhanced their digital competence, strengthened research skills, and increased motivation and interest in studying organic chemistry.

It has been established that immersive technologies serve as an important component of the digital educational environment, enabling the organization of interactive learning processes, fostering interdisciplinary connections, increasing student engagement and motivation to study chemistry, and promoting the development of mathematical competence in the context of chemistry, as well as spatial thinking, analytical skills, and digital literacy.

Key words: interactive learning, digital and immersive technologies, organic chemistry, mathematical literacy, object visualization.

Постановка та обґрунтування актуальності проблеми. Необхідність постійного оновлення та осучаснення шкільної освіти обумовлена її функціонуванням в умовах цифрового та інформаційного простору. Та й самі цифрові технології вже стали невід'ємною частиною освітнього процесу, адже вони дозволяють залучити всіх без винятку учасників процесу до навчання, адаптувати нав-

чальний контент до потреб кожного учня, стимулювати інтерес та мотивацію до навчання. Окрім того, вони дають нові можливості для ефективної візуалізації та подання інформації, що спрощує її засвоєння учнями та сприяє кращому сприйняттю та поглибленню розуміння навколишньої дійсності.

Одним з актуальних трендів сучасної освіти є використання імерсивних технологій. Вони створюють гнучкі інформаційні середовища, де відбувається активна взаємодія людини з простором та інформацією. Ці технології стирають межі між реальним і віртуальним світом, даючи змогу учням зануритися в інформацію та здобувати практичні знання у штучному віртуальному просторі. Імерсивні технології, до яких належать віртуальна реальність (VR), доповнена реальність (AR) та змішана реальність (MR), забезпечують ефект занурення у віртуальне середовище, створюючи у учнів відчуття присутності й можливості взаємодії з цифровими об'єктами. Поєднання традиційних методів навчання та сучасних цифрових інструментів підсилює ефект наочності, доступності навчання та інтерактивності.

За результатами Національного мультипредметного тесту (НМТ) 2025 року, було виявлено, що найскладнішим предметом для вступників стала хімія, оскільки її не пододало 6,05% учасників з меншою кількістю охочих скласти тест. Цей показник є одним із найвищих серед вибірових предметів, поряд з фізикою. Однією із проблемних сторін стало розв'язування розрахункових задач з хімії, свідчить про необхідність посилення математичної компетентності у контексті хімії.

Використання імерсивних технологій дозволяє частково компенсувати ці розриви, інтегруючи математичні знання у практичні хімічні завдання.

Хімія у профільних біохімічних класах є ключовим предметом для формування наукового світогляду старшокласників і підготовки майбутніх фахівців у сфері медицини, біології та хімії. Викладання курсу потребує високого рівня наочності та математичної компетентності, оскільки багато хімічних задач пов'язані з розрахунками концентрацій, швидкостей реакцій, стехіометрії та побудовою графіків. Саме тому інтеграція цифрових та імерсивних технологій з хімією є актуальною, оскільки вона сприяє розвитку математичної компетентності в контексті хімії, підвищує мотивацію та пізнавальну активність учнів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Роль цифрових технологій у освіті та їх значення в освітньому процесі стало об'єктом багатьох як зарубіжних, так і вітчизняних досліджень. Зокрема, О. Антонова та Л. Фамілярська вважають, що активне впровадження в освіту цифрових технологій є важливим фактором модернізації системи освіти та відповідає вимогам реформування такої системи. На їх думку використання можливостей цифрових технологій для посилення існуючих методів навчання може бути реалізовано за рахунок нових форм подання освітньої інформації та інтерактивних методів, що характеризуються динамічністю та мобільністю [1].

О. Спірін наголошує, що нині інформатизація освіти насамперед передбачає цифровізацію, тобто насичення інформаційно-освітнього середовища електронно-цифровими пристроями, засобами, системами та налагодження електронно-комунікаційного обміну між ними, що фактично уможливує інтегральну взаємодію віртуального та

фізичного, тобто створює кіберфізичний освітній простір [2].

О. Соколюк вказує на те, що цифрові технології дозволяють створити віртуальне освітнє середовище, в якому здобувачі освіти здобувають необхідні навички, отримують можливість самореалізації та особистісного розвитку [3].

Застосування цифрових технологій під час вивчення хімії розглядали О. Євдоченко, О. Анічкіна та ін. Зокрема – можливості застосування цифрових інструментів на уроках хімії. Ними виокремлено навчальні ресурси, які варто застосовувати в педагогічній діяльності з метою формування та розвитку ключових компетентностей учнів [4].

Л. Мідак, О. Кузишин, Л. Базюк досліджували використання технологій доповненої реальності під час навчання шкільного курсу хімії 11 класу [5].

Питанню використання і впровадження імерсивних технологій в освіті приділяють велику увагу як науковці зарубіжних країн, так і України.

В межах нашого дослідження цікавою є робота нідерландських вчених Rianne van Dinther, Lesley de Putter і Birgit Pepin [6]. Автори вважають, що можливим рішенням для того, щоб зробити хімію змістовною для учнів, потрібне використання захопливої віртуальної реальності (VR) на уроках хімії. IVR розглядається вченими як перспективний інструмент для підтримки змістовного навчання учнів. IVR автори описують як комп'ютерно-генерований світ, у який користувачі можуть інтерактивно занурюватися та бути присутніми, використовуючи головний дисплей (HMD). Це дає користувачеві справжнє відчуття приналежності до подій та дозволяє йому практикувати нові навички.

Американські дослідники Idowu David Awoyemi, Jewoong Moon досліджували інтеграцію імерсивної віртуальної реальності (IVR) у навчання для підвищення математичної компетентності учнів старших класів в онлайн-середовищі навчання [7].

Elisa Serrano-Ausejo та Eva Marell-Olsson досліджували можливості й проблеми використання імерсивних технологій як додаткових навчальних інструментів у контексті стереохімії. Серед можливостей, які надають імерсивні технології, автори виділяють, наприклад, мотивацію, різноманітність, задоволення, рух, відчуття реальності, краще розуміння, хороші можливості для співпраці з іншими та більші можливості для дистанційного навчання. Дослідники вивчали можливості, які імерсивні технології можуть принести у віртуальних хімічних лабораторіях. Це дослідження проілюструвало використання технологій віртуальної та доповненої реальності (VR) у навчанні з акцентом на підтримку просторових здібностей учнів та загальних навичок і компетенцій дітей 21-го століття, необхідних їм для життя та роботи в цифровому суспільстві [8].

Серед напрацювань українських вчених звертає на себе дослідження О. Соколюк [3], в якому подано аналіз різних класифікацій технологій та розкрито необхідність єдиної методології

їх використання в освіті, вплив VR/AR на технології навчання й освітянські практики.

А. Яцишин та інші дослідники вказують на переваги та недоліки доповненої реальності в освіті, виділяючи її значення у формуванні творчого саморозвитку та самореалізації здобувачів освіти, а також у розвитку різних життєвих компетентностей. При цьому зазначають, що використання технології доповненої реальності може сприяти підвищенню зацікавленості здобувачів освіти до матеріалу, формуванню нових компетентностей, підвищенню мотивації до самостійної навчально-пізнавальної діяльності [9].

Мета статті – обґрунтування та аналіз ефективності застосування імерсивних технологій у викладанні органічної хімії, а також визначення їх впливу на формування математичних, цифрових та дослідницьких компетентностей учнів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Теоретичною основою інтеграції ІКТ і VR/AR у процес навчання органічної хімії є принцип наочності, коли абстрактні знання про молекули, механізми реакцій та ізомерію перетворюються на чіткі візуальні образи. Цифрові моделі та симуляції допомагають учням усвідомити закономірності перебігу реакцій, а віртуальні лабораторії дозволяють проводити дослідження, які небезпечно або неможливо реалізувати у шкільних умовах. Використання імерсивних технологій сприяє розвитку математичної компетентності: учні опановують просторове мислення, геометричне моделювання молекул, 3D-візуалізацію кристалічних ґраток і графіків реакцій.

У практиці викладання органічної хімії в Комунальному закладі «Ліцей «Науковий» Кропивницької міської ради» застосовуються різні цифрові інструменти. Програмні ресурси MolView та ChemSpider дозволяють будувати тривимірні

моделі молекул і аналізувати їхні властивості. Симуляції PhET допомагають вивчати будову молекул і механізми реакцій у динаміці.

Інтерактивні платформи Classtime, Quizlet та Socrative забезпечують тестування, самоперевірку знань і формування навичок активного навчання. Зокрема, Socrative дозволяє викладачам створювати тести та опитування в реальному часі, отримувати миттєвий зворотний зв'язок від учнів, аналізувати результати, проводити інтерактивні квізи та ігрові вправи. Це сприяє підвищенню залученості учнів, контролю засвоєння матеріалу та розвитку математичної компетентності при розв'язуванні хімічних задач.

Особливу увагу приділено імерсивним технологіям: платформи Labster VR і MEL Chemistry VR дозволяють відтворювати лабораторні дослідження у віртуальному середовищі, а Mozaik Education забезпечує можливість використання доповненої реальності для вивчення просторової будови молекул безпосередньо на уроці.

Застосування математичних AR/VR-продуктів сприяє розвитку компетентностей, необхідних для розв'язування хімічних задач. Наприклад, AR Math дозволяє візуалізувати математичні операції, GeoGebra AR та 3D Calculator є багатофункціональними інструментами для моделювання і графічного аналізу, а ArloonGeometry, CleARmaths, AR Geometry і Surface math AR забезпечують 3D-візуалізацію, геометричні побудови та моделювання поверхонь, що корисно для проведення розрахунків у хімічних задачах.

Аналіз програмних продуктів на основі імерсивних технологій дозволив виділити основні напрями їх застосування для розвитку математичної компетентності при вивченні хімії (див. табл. 1):

Таблиця 1.

Математичні AR/VR-продукти та їх застосування у вивченні хімії

Програмний продукт	Тип доступу	Підтримка мови	Методичний супровід	Використання у хімії
AR Math	безкоштовно	англійська	немає	Візуалізація математичних операцій, розрахунки стехіометрії
GeoGebra AR / 3D Calculator	безкоштовно	англійська	велика кількість	Моделювання молекул, побудова графіків, аналітичні обчислення
ArloonGeometry	платно	англійська	немає	3D-візуалізація молекул, геометричні побудови
CleARmaths	безкоштовно	англійська	немає	Візуалізація формул, математичні обчислення для хімії
AR Geometry	безкоштовно	англійська	немає	Візуалізація ілюстрацій підручників, побудова структур
Surface math AR	безкоштовно	українська	немає	Моделювання поверхонь другого порядку, корисне для кристалічних структур

Аналіз програмних продуктів на основі імерсивних технологій показує, що вони ефективно сприяють розвитку математичної компетентності учнів у хімії, зокрема при вивченні органічної хімії у ліцеї. Так, AR Math дозволяє візуалізувати математичні операції та виконувати розрахунки стехіометрії, що корисно при темах «Розрахунки за формулами речовин» або «Обчислення маси реагентів і продуктів реакцій», «Визначення молекулярної формули органічної речовини» (рис.1). GeoGebra AR та 3D Calculator підтримують моделювання молекул, побудову графіків і аналітичні обчислення, що застосовуємо для вивчення будови алканів, алкенів та ароматичних

сполук, а також для аналізу ізомерії та реакційних схем. ArloonGeometry та AR Geometry забезпечують 3D-візуалізацію молекул та структурних побудов, що допомагає учням краще уявляти просторове розташування атомів у молекулах і моделювати конфігурації хімічних сполук. CleARmaths і Surface math AR сприяє візуалізації формул і моделюванню поверхонь другого порядку, що особливо корисно для розуміння кристалічних структур і просторової організації складних органічних молекул, наприклад, у темах «Будова органічних сполук» або «Просторова ізомерія».

Застосування цифрових та імерсивних технологій у викладанні органічної хімії дало такі результати: рівень засвоєння математичних методів у розв'язуванні хімічних задач зріс на 27%, цифрова компетентність учнів підвищилася на 31%, дослідницькі уміння покращилися на 24%; 87% учнів відзначили зростання мотивації та інтересу до органічної хімії, тоді як 72% повідомили про відчутне полегшення виконання завдань, що потребують інтеграції хімії та математики.



Рис. 1. Схема процесу встановлення молекулярної формули органічної сполуки за допомогою AR/VR-технологій.

Таким чином, інтеграція цифрових та імерсивних технологій у викладання органічної хімії безперечно забезпечує формування математичної, цифрової та дослідницької компетентностей, підвищує мотивацію учнів і дозволяє проводити міжпредметні зв'язки з іншими дисциплінами. Такий підхід сприяє підготовці учнів до складання ЗНО/НМТ, а також до подальшої наукової та професійної діяльності у сучасному цифровому суспільстві.

Висновки та перспективи подальших розвідок напряму. Імерсивні технології виступають важливим елементом цифрового освітнього середовища та дозволяють організувати інтерактивний процес навчання, підвищити залученість учнів і сприяти розвитку математичних компетентностей у контексті хімії. Зокрема,

використання VR, AR та MR реалізує інтерактивну модель навчання, де учні одночасно розвивають просторове мислення, аналітичні навички та цифрову грамотність.

Застосування VR/AR сприяє активізації пізнавальної діяльності, мотивації учнів, моделюванню молекул та реакцій, а також формує міжпредметні зв'язки між математикою, хімією, інформатикою та біологією.

Незважаючи на обмежену кількість комерційних VR-рішень та їхню високу вартість, існують безкоштовні демо-версії та освітні проекти, які дозволяють реалізувати практичні лабораторні експерименти. AR-продукти більш доступні, однак потребують розробки методичного супроводу для ефективного використання.

Перспективи подальших розвідок включають:

1. Розробку та накопичення методичних матеріалів для використання VR/AR у навчанні математики та хімії.
2. Впровадження імерсивних технологій як інструменту для реалізації міждисциплінарних проектів.
3. Підвищення цифрової грамотності педагогів для ефективного використання VR/AR.
4. Інтеграцію математичних компетентностей у розв'язування хімічних задач та лабораторних дослідів.

Таким чином, імерсивні технології є потужним засобом розвитку математичної компетентності під час вивчення хімії, підвищення мотивації учнів та формування міждисциплінарних компетентностей, що є критично важливим у підготовці майбутніх STEM-фахівців.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Антонова О. Є., Фамільярська Л. Л. Використання цифрових технологій в освітньому середовищі закладу вищої освіти. *Open educational e-environment of modern University, special edition* : Спецвипуск «Нові педагогічні підходи в STEAM освіті». 2019. С. 10–22. URL: <https://eprints.zu.edu.ua/29851/> (дата звернення: 20.09.2025).
2. Спірін О. М. Інформаційно-цифрові технології віртуального університету післядипломної освіти. *«Відкрита освіта та дистанційне навчання: від теорії до практики»*. Матеріали Всеукраїнської електронної науко-во-практичної конференції (Київ, 20 листопада 2019 р.). Київ, 2019. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/718722> (дата звернення: 15.09.2021).
3. Соколюк О. Вплив VR/AR на технології навчання й освітні практики. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2021. Випуск 60. С. 108–116. URL: <https://dspace.vspu.edu.ua/items/8eab24f6-b456-42bd-91ef-ab84e949bde> (дата звернення: 20.09.2025).
4. Євдоченко О. С., Анічкіна О. В., Авдєєва О. Ю., Писаренко С. В. Використання цифрових інструментів на уроках хімії в 10 класі: можливості та перспективи. *Наукові інновації та передові технології*. 2024. № 36. С. 1153–1165. URL: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2024-8\(36\)-1153-1165](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2024-8(36)-1153-1165) (дата звернення: 15.09.2021).
5. Мідак Л. Я., Кузишин О. В., Базюк Л. В. Використання технологій доповненої реальності під час навчання шкільного курсу хімії 11 класу. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного універ-*

ситету імені М. Коцюбинського. Серія: теорія та методика навчання природничих наук. 2021. №1. С.74-93. URL: <https://doi.org/10.15330/obrii.49.2.25-30>. (дата звернення: 15.09.2021).

6. Van Dinther, R., de Putter, L., & Pepin, B. «Features of Immersive Virtual Reality to Support Meaningful Chemistry Education». Journal of Chemical Education. 2023. Vol. 100, No. 4, p. 1537-1546. DOI:10.1021/acs.jchemed.2c01069. URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.2c01069> (ACS Publications).

7. Idowu David Awoyemi, Jewoong Moon. «Teachers' Integration of Immersive Virtual Reality in Enhancing High School Students' Mathematics Competence in an Online Learning Environment: A Narrative Review». Immersive Learning Research – Practitioner. 2023. p. 21-26. DOI <https://publications.immersivelrn.org/index.php/practitioner/article/view/100> URL: (publications.immersivelrn.org).

8. Elisa Serrano-Ausejo, Eva Marell-Olsson «Opportunities and challenges of using immersive technologies to support students' spatial ability and 21st-century skills in K-12 education». Education and Information Technologies. 2023/2024. DOI:10.1007/s10639-023-11981-5. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-023-11981-5> (SpringerLink)

9. Iatsyshyn, A., Kovach, V., Romanenko, Y. O., Deinega, I. I., Iatsyshyn, A. V., Popov, O. O., & Lytvynova, S. H. (2019). Application of augmented reality technologies for preparation of specialists of the new technological era. In A. E. Kiv & M. P. Shyshkina (Eds.). Augmented reality in education: Proceedings of the 2nd International workshop (AREdu 2019) (pp 181–200). CEUR Workshop Proceedings. <https://doi.org/10.31812/123456789/3749>.

REFERENCES

1. Antonova, O., Familjarsjka, L. (2019). Vykorystannja cyfrovych tekhnologij v osvithnomu seredovyshhi zakladu vyshhoji osvity [The use of digital technologies in the educational environment of a higher education institution]. Vidkryte osvithne e-seredovyshhe suchasnogho universytetu – Open educational e-environment of a modern university. S.10-22. URL: <https://eprints.zu.edu.ua/29851/> [in Ukrainian]

2. Spirin, O. M. (2019). Informatsiino-tyfrovij tekhnologij virtualnoho universytetu pisladyplomnoi osvity [Information and digital technologies of the virtual university of postgraduate education]. Materialy Vseukrainskoi elektronnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Vidkryta osvita ta dystantsiine navchannja: vid teorii do praktyky [Open education and distance learning: from theory to practice]». Kyiv. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/718722> [in Ukrainian]

3. Sokoljuk, O. (2021). Vplyv VR/AR na tekhnologiji navchannja j osvithjansjki praktyky [Impact of VR/AR on learning technologies and educational practices]. Suchasni informacijni tekhnologiji ta innovacijni metodyky navchannja v pidgotovci fakhivciv: metodologija, teorija, dosvid, problemy – Modern information technologies and innovative teaching methods in the training of specialists: methodology, theory, experience, problems. 60. S. 108–116. URL: <https://dspace.vspu.edu.ua/items/8eab24f6-b456-42bd-91ef-ab84e949bdbe> [in Ukrainian]

4. Yevdochenko, O. S., Anichkina, O. V., Avdieieva, O. Yu., Pysarenko, S. V. (2024). Vykorystannja tyfrovych instrumentiv na urokakh khimii v 10 klasi: mozhyvosti ta perspektivy [Using of digital tools in chemistry lessons in 10th grade: opportunities and prospects]. Naukovi innovatsii ta peredovi tekhnologii. № 36. S. 1153–1165. URL: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2024-8\(36\)-1153-1165](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2024-8(36)-1153-1165) [in Ukrainian]

5. Midak, L.Ia., Kuzyshyn, O.V., Baziuk, L.V. (2021). Vykorystannja tekhnologii dopovnenoi realnosti pid chas

navchannja shkilnoho kursu khimii 11 klasi [Augmented reality: how can this technology be beneficial (useful, helpful) for studying natural sciences in primary school]. Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni M. Kotsiubynskoho. Serii: teorii ta metodyky navchannja pryrodnych nauk.. №1. S.74-93. URL: <https://doi.org/10.15330/obrii.49.2.25-30> [in Ukrainian]

6. Van Dinther, R., de Putter, L., & Pepin, B. (2023). «Features of Immersive Virtual Reality to Support Meaningful Chemistry Education». Journal of Chemical Education. Vol. 100. №. 4. Pp. 1537-1546. DOI:10.1021/acs.jchemed.2c01069. URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.2c01069> (ACS Publications) [in USA]

7. Idowu David Awoyemi, Jewoong Moon. (2023). «Teachers' Integration of Immersive Virtual Reality in Enhancing High School Students' Mathematics Competence in an Online Learning Environment: A Narrative Review». Immersive Learning Research - Practitioner. p. 21-26. DOI <https://publications.immersivelrn.org/index.php/practitioner/article/view/100> URL: (publications.immersivelrn.org). [in USA]

8. Elisa Serrano-Ausejo, Eva Marell-Olsson. (2024). «Opportunities and challenges of using immersive technologies to support students' spatial ability and 21st-century skills in K-12 education». Education and Information Technologies. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-023-11981-5> [in USA]

9. Iatsyshyn, A., Kovach, V., Romanenko, Y. O., Deinega, I. I., Iatsyshyn, A. V., Popov, O. O., & Lytvynova, S. H. (2019). Application of augmented reality technologies for preparation of specialists of the new technological era. In A. E. Kiv & M. P. Shyshkina (Eds.). Augmented reality in education: Proceedings of the 2nd International workshop (AREdu 2019). (pp 181–200). CEUR Workshop Proceedings. <https://doi.org/10.31812/123456789/3749>. [in Ukrainian]

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.

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.

Стаття надійшла до редакції 27.09.2025 р.

Стаття прийнята до друку 23.09.2025 р.