

УДК 378.016.046-021.68:54

DOI: 10.31652/2786-5754-2026-10-56-66

Кормош Ж.О.

кандидат хімічних наук, професор,
професор кафедри хімії та екології

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

ORCID ID 0000-0001-6018-8787

e-mail: zholt-1971@ukr.net

Бохан Ю.В.

кандидат хімічних наук, доцент,
доцент кафедри харчових технологій

Херсонський державний аграрно-економічний університет

ORCID ID 0000-0002-9612-7780

e-mail: lyuliya.bohan@gmail.com

Форостовська Т.О.

кандидат педагогічних наук, доцент,
викладач хімії

Комунальний заклад «Ліцей «Науковий» Кропивницької міської ради»

ORCID ID 0000-0001-9353-4017

e-mail: forostovskaja67@gmail.com

Горбатюк Н.В.

кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри хімії та екології

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

ORCID ID 0000-0001-5834-7830

e-mail: NatalyaG@i.ua

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ VESTA У ФОРМУВАННІ НАВИЧОК ХІМІЧНОЇ НОМЕНКЛАТУРИ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ХІМІЇ

Метою дослідження є обґрунтування методичної доцільності використання програмного забезпечення VESTA для візуалізації кристалічних структур як засобу формування навичок хімічної номенклатури у здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, які навчаються за освітньою програмою «Середня освіта (Хімія)», а також визначення ефективності інтеграції тривимірної візуалізації у процес вивчення освітнього компонента «Хімічна термінологія».

Дослідження передбачало комплексний підхід, що включав: завантаження кристалічних структур з відкритої бази даних Crystallography Open Database (COD) у форматі cif; роботу студентів з тривимірними моделями в програмному середовищі VESTA; обертання, масштабування моделей, аналіз симетрії, визначення атомних координат, міжатомних відстаней та кутів зв'язків; ідентифікацію хіральних центрів та стереоізомерних форм; порівняння із альтернативними ізомерами; формулювання правил найменування за IUPAC. Ефективність впровадження нового підходу оцінювали за допомогою структурованого опитування та систематичного педагогічного спостереження.

Використання VESTA дозволяє поєднувати теоретичні знання з інтерактивним просторовим аналізом, що сприяє усвідомленню встановленню взаємозв'язку між складом, структурою та назвою речовин. Педагогічна новизна полягає в інтеграції цифрових інструментів у навчальний процес для розвитку просторового та аналітичного мислення майбутніх учителів хімії.

Результати експерименту показали, що використання VESTA у навчанні допомагає студентам розвивати аналітичні компетентності для визначення атомного складу, типів зв'язків, ступенів окиснення та правильного формування хімічних назв відповідно до IUPAC. 90% студентів продемонстрували усвідомлене застосування номенклатури після аналізу тривимірних моделей, зменшилася кількість механічних помилок. Інтеграція 3D-візуалізації у навчальний процес сприяє формуванню ключових компетентностей майбутніх учителів хімії та розвитку методичної готовності до використання цифрових інструментів і дослідницьких підходів у викладанні

хімії.

Ключові слова: VESTA, хімічна номенклатура, тривимірна візуалізація, кристалічна структура, хіральність, стереоізомерія, амінокислоти, підготовка вчителів хімії, цифрові освітні технології, педагогічна компетентність.

Kormosh Z.O.

Candidate of Chemical Sciences, Professor,
Professor of Department of Chemistry and Ecology
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University
ORCID ID 0000-0001-6018-8787
e-mail: zholt-1971@ukr.net

Bokhan Y.V.

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Department of Food Technologies
Kherson State Agrarian and Economic University
ORCID ID 0000-0002-9612-7780
e-mail: 1yuliya.bohan@gmail.com

Frostovska T.O.

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
chemistry teacher
Municipal Establishment «Lyceum «Naukovyi»
of the Kropyvnytskyi City Council»
ORCID ID 0000-0001-9353-4017
e-mail: frostovskaja67@gmail.com

Horbatiuk N. N.

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of Department of Chemistry and Ecology
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University
ORCID ID 0000-0001-5834-7830
e-mail: NatalyaG@i.ua

THE USE OF SOFTWARE IN DEVELOPING CHEMICAL NOMENCLATURE SKILLS OF FUTURE CHEMISTRY TEACHERS

The aim of the study is to justify the methodological feasibility of using the VESTA software for visualizing crystal structures as a tool for developing chemical nomenclature skills in first-cycle (bachelor's) students enrolled in the educational program "Secondary Education (Chemistry)", as well as to determine the effectiveness of integrating three-dimensional visualization into the learning process of the educational component "Chemical Terminology".

The study employed a comprehensive approach, which included: downloading crystal structures from the open-access Crystallography Open Database (COD) in .cif format; working with three-dimensional models in the VESTA software environment; rotating and scaling models, analyzing symmetry, determining atomic coordinates, interatomic distances, and bond angles; identifying chiral centers and stereoisomeric forms; comparing with alternative isomers; and formulating IUPAC naming rules. The effectiveness of the new approach was assessed using a structured survey and systematic pedagogical observation.

Using VESTA allows the combination of theoretical knowledge with interactive spatial analysis, which promotes a conscious understanding of the relationship between composition, structure, and the names of substances. The pedagogical novelty lies in the integration of digital tools into the learning process to develop the spatial and analytical thinking of future chemistry teachers.

The results of the experiment showed that using VESTA in teaching helps students develop analytical competencies for determining atomic composition, types of bonds, oxidation states, and correct formation of chemical names according to IUPAC. Ninety percent of students demonstrated conscious application of nomenclature after analyzing three-dimensional models, and the number of mechanical errors decreased. Integrating 3D visualization into the learning process contributes to the development of key competencies in future chemistry teachers and enhances methodological readiness for using digital tools and research-based approaches in chemistry education.

Keywords: VESTA, chemical nomenclature, three-dimensional visualization, crystal structure, chirality, stereoisomerism, amino acids, chemistry teacher training, digital educational technologies, pedagogical competence.

Постановка проблеми у загальному вигляді. У сучасних умовах реформування вищої педагогічної освіти та впровадження компетентнісного підходу особливої актуальності набуває проблема якісної підготовки майбутніх учителів хімії, здатних не лише відтворювати хімічні знання, а й свідомо оперувати хімічною термінологією та номенклатурою у професійній діяльності. Освітній компонент «Хімічна термінологія», що викладається в межах освітньої програми «Середня освіта (Хімія)» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 014 Середня освіта (предметна спеціальність 014.06 Середня освіта (Хімія)) в Уманському державному педагогічному університеті імені Павла Тичини, відіграє ключову роль у формуванні професійної мовленнєвої та предметної компетентності майбутнього вчителя-бакалавра хімії.

Практика викладання хімії у закладах загальної середньої освіти свідчить, що недостатнє розуміння учнями хімічної термінології та номенклатури є однією з основних причин формального засвоєння навчального матеріалу, помилок у записі формул і назв речовин, а також труднощів у поясненні хімічних процесів. Відповідно, майбутній учитель хімії повинен не лише знати правила номенклатури, а й усвідомлювати їхній зв'язок зі складом і структурою речовин, уміти пояснювати походження назв та формувати у здобувачів освіти цілісне уявлення про хімічні поняття.

Особливо складною для засвоєння студентами є хімічна номенклатура кристалічних речовин, де правила найменування безпосередньо пов'язані з просторовою організацією атомів, типом кристалічної ґратки, координаційним оточенням і симетрією. Традиційні підходи до викладання хімічної термінології, що ґрунтуються переважно на текстових поясненнях, таблицях і плоских схемах, не завжди забезпечують формування глибокого розуміння цих взаємозв'язків, що знижує якість професійної підготовки майбутніх учителів хімії.

У цьому контексті актуальним є впровадження цифрових освітніх технологій, зокрема засобів тривимірної візуалізації, які дозволяють поєднати теоретичне вивчення термінології з наочним аналізом кристалічної структури речовин. Використання програмного забезпечення VESTA [1]. у процесі вивчення освітнього компонента «Хімічна термінологія» створює умови для формування в студентів цілісного уявлення про взаємозв'язок між складом, структурою та назвою сполук, сприяє розвитку просторового мислення, аналітичних умінь і професійної рефлексії, що є необхідними складовими фахової компетентності вчителя-бакалавра хімії.

Таким чином, актуальність дослідження зумовлена необхідністю методичного оновлення змісту та форм навчання хімічної термінології в системі підготовки майбутніх учителів хімії, зокрема шляхом інтеграції засобів тривимірної візуалізації кристалічних структур. Це відповідає сучасним вимогам освітніх стандартів галузі знань «Освіта», сприяє підвищенню якості фахової підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти та забезпечує готовність випускників освітньої програми «Середня освіта (Хімія)» до ефективної професійної діяльності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зазначені положення зумовлюють необхідність звернення до наукових напрацювань, присвячених проблемам використання візуалізації у хімічній освіті, формуванню хімічної термінології та номенклатурних умінь у здобувачів освіти, а також упровадженню цифрових інструментів у професійну підготовку майбутніх учителів хімії. У зв'язку з цим доцільним є аналіз сучасних вітчизняних і зарубіжних досліджень і публікацій, у яких розглядаються теоретичні засади та практичний досвід застосування тривимірної візуалізації кристалічних структур, зокрема програмного забезпечення VESTA [1], у освітньому процесі з хімії та інших галузях.

Формування компетентностей з хімічної номенклатури залишається однією з ключових

проблем у сучасній хімічній освіті. Традиційні методи навчання, що базуються переважно на механічному заучуванні правил і таблиць, часто не забезпечують повного розуміння студентами взаємозв'язку між структурою речовини, її формулою та назвою. Особливо складним є засвоєння тем, пов'язаних із кристалічними речовинами, де просторові характеристики молекул і ґраток визначають типи сполук і правила їх найменування. В умовах цифровізації освіти актуальним стає використання тривимірних візуалізаційних інструментів, які поєднують теоретичне навчання з інтерактивним досвідом студентів. Williamson V. M. [2] пропонує дослідження з використанням візуалізаційних методик у хімічній освіті та демонструє, що застосування інтерактивних, мультимедійних засобів значно підвищує розуміння абстрактних понять, формує ментальні моделі молекул і кристалів, що критично важливо для засвоєння систематичної номенклатури. Автор підкреслює, що ефективність таких методів залежить від інтеграції візуалізації з активними завданнями, де студенти самостійно аналізують структури і роблять висновки, а не просто спостерігають готові моделі.

У доповнення, Teruya K., Cavallo G., Shudo K. [3] узагальнюють сучасні підходи до візуалізації в хімічній освіті, відзначаючи, що вона включає не лише демонстрацію моделей, а й активне маніпулювання структурними даними: обертання, масштабування, аналіз симетрії та кристалічних ґраток. Автори вказують на важливість педагогічного супроводу, який спрямовує студентів на виявлення закономірностей і формування висновків щодо правил номенклатури, що підкреслює методологічну цінність інтеграції візуалізації в навчальний процес.

Momma K. та Izumi F. [4,5,6,7] детально описують програму VESTA, яка дозволяє тривимірно відображати кристалічні, об'ємні та морфологічні дані. Автори розкривають можливості VESTA для аналізу симетрії, координаційних чисел, атомних зв'язків та поліедрів, що дозволяє студентам спостерігати структурні особливості речовин у 3D. Це робить програму потужним інструментом для навчання номенклатури, оскільки наочне відображення структури допомагає логічно пов'язувати атомну організацію з формулою та назвою сполуки та дає можливість використовувати її в різних напрямках наукової роботи.

Підтвердженням педагогічної ефективності VESTA є дослідження Nadiyyah K. та співавт. [8], в якому студентів розділили на контрольну групу (традиційне навчання) та експериментальну групу (робота з VESTA). Результати показали, що експериментальна група краще розуміла просторову організацію атомів у кристалічній решітці, швидше встановлювала зв'язок між структурою та назвою сполуки і демонструвала вищу точність у застосуванні правил номенклатури. Це свідчить, що тривимірна візуалізація істотно підвищує ефективність навчання та формує концептуальні знання, а не лише механічні навички.

Українські автори Іванець Л. М., Польовий Д. О. [9] також досліджували застосування візуалізації при викладанні фізичної та колоїдної хімії. Вони підкреслюють, що інтерактивні цифрові моделі дозволяють студентам активно взаємодіяти з матеріалом, полегшують сприйняття абстрактних понять і сприяють формуванню просторового мислення, що є ключовим для правильного засвоєння номенклатури.

Сняла Ю. [10] звертає увагу на значення цифрових інструментів у навчанні хімії, зокрема тривимірних візуалізацій. Авторка доводить, що робота з такими програмами стимулює аналітичне мислення, допомагає студентам перевіряти формули і коректно формулювати назви сполук, поєднуючи теоретичне знання з практичним застосуванням.

Аналіз літератури з теми дослідження свідчить, що візуалізація кристалічної структури, зокрема через VESTA, є ефективним засобом вивчення номенклатури. Вона поєднує структурне розуміння ↔ формули ↔ назви, формує логічне мислення і глибоке засвоєння матеріалу.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри суттєві напрацювання щодо теоретичних засад та практичного застосування тривимірної візуалізації кристалічних структур, зокрема програмного забезпечення VESTA в освітньому процесі з

хімії та інших галузях за кордоном, в українській педагогічній практиці поки що бракує комплексних методичних розробок, які демонструють її застосування під час вивчення хімії в закладах вищої освіти. Це зумовлює низку суперечностей: між об'єктивною необхідністю цифровізації природничої освіти та обмеженістю ресурсів для її реалізації; між високим потенціалом комп'ютерного моделювання в хімії та дефіцитом відповідних методик; а також між попитом на інтерактивний контент і браком адаптованих україномовних навчальних матеріалів для українських університетів.

Метою даної роботи є обґрунтування методичної доцільності використання програмного забезпечення VESTA для візуалізації кристалічної структури як засобу формування навичок хімічної номенклатури у здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, які навчаються за освітньою програмою «Середня освіта (Хімія)», а також визначення ефективності інтеграції тривимірної візуалізації у процес вивчення освітнього компонента «Хімічна термінологія».

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися такі завдання: аналіз сучасних підходів до формування навичок хімічної номенклатури у студентів; оцінка ефективності традиційних методів навчання порівняно з інтерактивними підходами, що передбачають роботу з тривимірними моделями кристалічних структур; визначення впливу використання програми VESTA на розуміння студентами взаємозв'язку між структурою речовини, її формулою та назвою; розробити методичні рекомендації щодо інтеграції тривимірної візуалізації у навчальний процес освітнього компонента «Хімічна термінологія» з метою формування у майбутніх учителів хімії глибоких концептуальних знань та професійних компетентностей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Виходячи з результатів проведеного літературного огляду та відповідно до поставленої мети дослідження, у роботі основна увага зосереджується на комплексній оцінці ефективності використання програми VESTA як засобу формування навичок хімічної номенклатури у студентів-хіміків. Особливий акцент робимо на порівняльному аналізі традиційних методів навчання, що базуються на текстових і схематичних поясненнях, із інтерактивними підходами, які передбачають роботу з тривимірними моделями кристалічних структур. У межах дослідження також розглядається вплив тривимірної візуалізації на розуміння студентами взаємозв'язку між просторовою організацією речовини, її хімічною формулою та правилами найменування сполук, що відповідає сучасному компетентнісному підходу в освіті. Окрему увагу буде приділено обґрунтуванню методичних рекомендацій щодо інтеграції програми VESTA у освітній процес з хімії з метою формування не лише репродуктивних умінь, а й глибоких концептуальних знань, необхідних для свідомого застосування хімічної номенклатури. Процедура проведення дослідження передбачала використання програми VESTA для тривимірної візуалізації кристалічних структур сполук, що вивчалися студентами освітньої програми «Середня освіта (Хімія)» першого (бакалаврського) рівня в межах освітнього компоненту «Хімічна термінологія».

Робота студентів у програмі VESTA організовувалася поетапно та передбачала послідовне залучення здобувачів освіти до аналізу тривимірних кристалічних і молекулярних структур з метою формування навичок хімічної номенклатури. На підготовчому етапі студенти отримували файли кристалічних структур у форматі *CIF* з відкритих кристалографічних баз даних, зокрема Crystallography Open Database (COD) та Inorganic Crystal Structure Database (ICSD), а також ознайомилися з інтерфейсом програми VESTA, основними інструментами обертання, масштабування та візуального аналізу моделей.

На ознайомчому етапі здійснювався двовимірний і тривимірний аналіз структур, під час якого студенти досліджували просторову організацію атомів у кристалічній ґратці, визначали типи хімічних зв'язків, міжатомні відстані, кути зв'язків і координаційне оточення атомів. Саме на цьому етапі відбувалося первинне поєднання візуального аналізу структури з

відпрацюванням правил хімічної номенклатури на конкретних прикладах неорганічних, органічних і комплексних сполук.

Практичний етап був спрямований на активну самостійну діяльність студентів і передбачав ідентифікацію атомів у структурі, аналіз стехіометричних співвідношень і формулювання назв сполук відповідно до правил IUPAC. Важливою складовою цього етапу було порівняння структур різних класів речовин, визначення типів кристалічних ґраток і встановлення взаємозв'язку між складом, просторовою будовою та номенклатурною назвою. Отримані результати обговорювалися в малих групах із подальшою перевіркою коректності сформульованих назв.

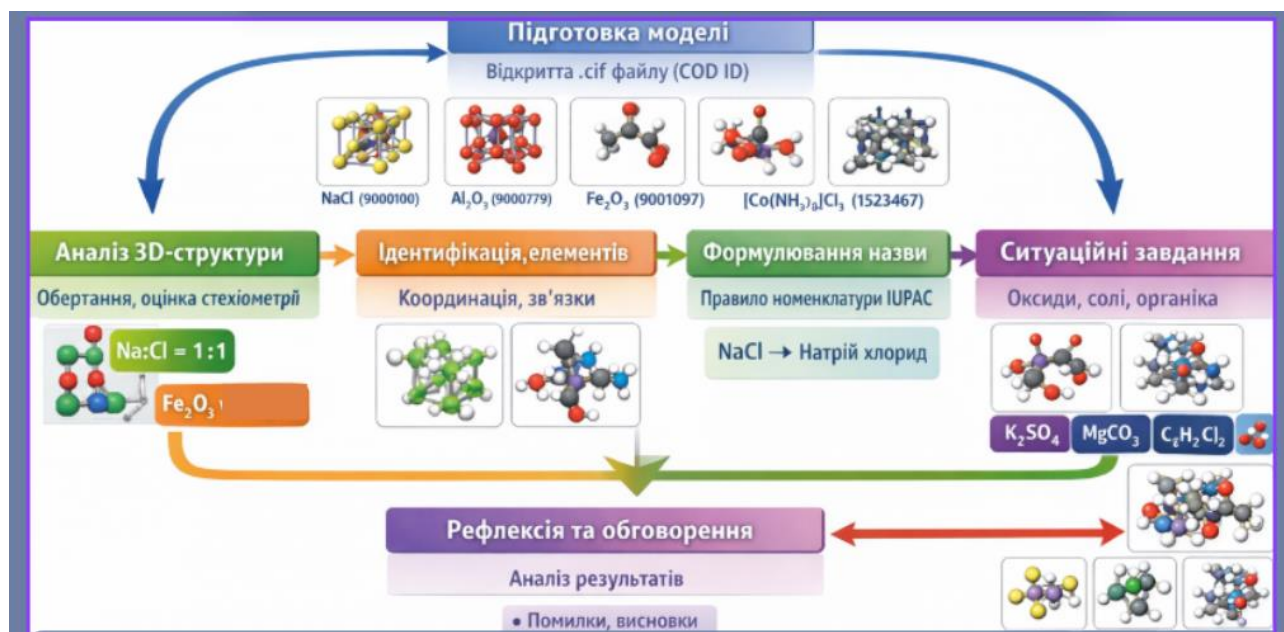


Рис. 1. Візуалізація освітньої діяльності студента: послідовність визначення назви хімічних сполук на основі просторового аналізу структури з використанням програмного середовища VESTA

Контрольний етап включав виконання тестових завдань або опитувальників, спрямованих на оцінювання рівня засвоєння навчального матеріалу, зокрема легкості використання програмного середовища VESTA, розуміння просторової структури сполук і правил хімічної номенклатури, а також рівня сформованості самостійності й аналітичних умінь студентів.

На узагальнюючому етапі здійснювалося обговорення результатів навчальної діяльності з викладачем, аналіз типових помилок і формування рекомендацій щодо подальшого використання програми VESTA у освітньому процесі. Підсумком цього етапу стало напрацювання методичних рекомендацій для інтеграції тривимірної візуалізації у викладання освітнього компонента «Хімічна термінологія» в межах освітньої програми підготовки майбутніх учителів хімії.

Результати дослідження показали, що студенти, які працювали з тривимірними моделями у VESTA, продемонстрували вищу точність у визначенні атомних координат, типів зв'язків і складанні назв сполук, а також краще засвоїли правила номенклатури в порівнянні з традиційними методами навчання, які передбачають роботу лише з таблицями і схемами. Студенти відзначали високу наочність моделей, можливість самостійно маніпулювати структурою і перевіряти свої висновки, що сприяло розвитку аналітичного та просторового мислення.

Під час роботи зі студентами використовувалися приклади різних типів сполук, що є ключовими для формування компетентностей у хімічній термінології: прості речовини, оксиди, гідроксиди, солі тощо. Так, аналізуючи NaCl, студенти визначали взаємне розташування атомів натрію та хлору в кристалічній решітці і усвідомлювали стехіометричне співвідношення 1:1, після чого формулювали назву «натрій хлорид». Для CaCO₃ студенти оцінювали розташування іонів кальцію та карбонат-аніону, спостерігали координаційні зв'язки та правильно записували «кальцій карбонат». Розгляд будови Al₂O₃ дозволяв студентам зрозуміти різницю між оксидами та гідроксидами, а робота з оксидами Fe₂O₃ і Fe₃O₄ демонструвала вплив ступеня окиснення на найменування сполук та відмінності між ферум (III) оксидом і змішаним ферум (II,III) оксидом.

Для підвищення практичної цінності занять і розвитку професійних компетентностей майбутніх учителів хімії студентам пропонувалися ситуаційні навчальні завдання, орієнтовані на роботу з окремими кристалічними об'єктами, приклад одного з яких наведено в таблиці 1. Таблиця подає розгорнутий зразок навчального завдання на основі органічної кристалічної сполуки — амінокислоти аланіну, тривимірну модель якої отримано з відкритої кристалографічної бази даних Crystallography Open Database (COD) та опрацьовано у програмному середовищі VESTA. Такий підхід забезпечує використання автентичних наукових даних і дозволяє відтворювати просторову будову молекул без втрати наукової коректності, що є принципово важливим у процесі фахової підготовки майбутніх учителів хімії.

Таблиця 1.

Приклад ситуаційного навчального завдання у середовищі VESTA з використанням даних Crystallography Open Database (COD)

Кристалічна сполука (COD)	Клас сполук	Об'єкт аналізу у VESTA	Навчальна ситуація	Аналітичні дії студента	Хімічні поняття, що формуються	Професійний аспект (медицина / харчові технології / педагогіка)
Аланін (α-аланін) C ₃ H ₇ N O ₂ COD ID 21051 50	Органічні кристалічні сполуки, амінокислоти	3D-модель молекули та елементарної комірки; хіральний атом С; просторове розташування -NH ₂ , -COO ⁻ , -CH ₃	Студент досліджує кристалічну структуру аланіну, отриману з відкритої кристалографічної бази даних COD, та встановлює, яка стереоізомерна форма (L- або D-) представлена у структурі. Пояснює, чому саме ця форма є	<ul style="list-style-type: none"> • завантаження структури з COD у VESTA; • ідентифікація хірального центра; • визначення конфігурації (L/D); • порівняння з альтернативним стереоізомером 	Амінокислоти; цвітеріонна форма; хіральність; стереоізомерія; взаємозв'язок складових просторової будови; основи IUPAC-номенклатури	Медицина: L-аланін входить до складу білків людини; D-аланін характерний для клітинних стінок бактерій (антибіотикорезистентність). Харчові технології: використання L-аланіну як біологічно цінного компонента харчових продуктів; значення стереоізомерної чистоти. Педагогіка: студент проектує фрагмент уроку, у якому за допомогою 3D-моделі пояснює

			біологічно активною, і як відмінності просторової будови впливають на властивості речовини.	ром (уявна модель); • формулювання висновків «будова → властивості → застосування»		учням поняття хіральності та різницю між структурною формулою і реальною просторовою будовою, формулюючи наукове мислення та просторову уяву.
--	--	--	---	---	--	---

Структура таблиці відображає логіку пізнавальної діяльності студента за схемою «кристалічний об'єкт → аналітичні дії → інтерпретація результатів → професійне застосування». Навчальне завдання інтегрує знання з органічної хімії, стереохімії та кристалографії, зосереджуючи увагу на аналізі хіральності, стереоізомерії та цвітерйонної будови амінокислот, а також на встановленні взаємозв'язку між просторовою організацією молекули та її біологічними властивостями.

Запропоноване ситуаційне завдання охоплює ключові питання шкільного та університетського курсів хімії й сприяє досягненню програмних результатів навчання освітньої програми «Середня освіта (Хімія)». Робота з тривимірними моделями у середовищі VESTA формує в студентів здатність усвідомлено інтерпретувати складні хімічні поняття на основі просторової візуалізації, а включення медичних і харчово-технологічних контекстів підсилює прикладну спрямованість завдання. Одночасно педагогічний компонент спрямований на розвиток уміння проектувати навчальні ситуації для шкільного курсу хімії, що підвищує методичну готовність майбутніх учителів до використання цифрових інструментів і дослідницьких підходів у навчальному процесі.

У дослідженні застосовувався підхід, який передбачав активну роботу студентів із тривимірними кристалічними та молекулярними структурами у програмі VESTA (рис.2).

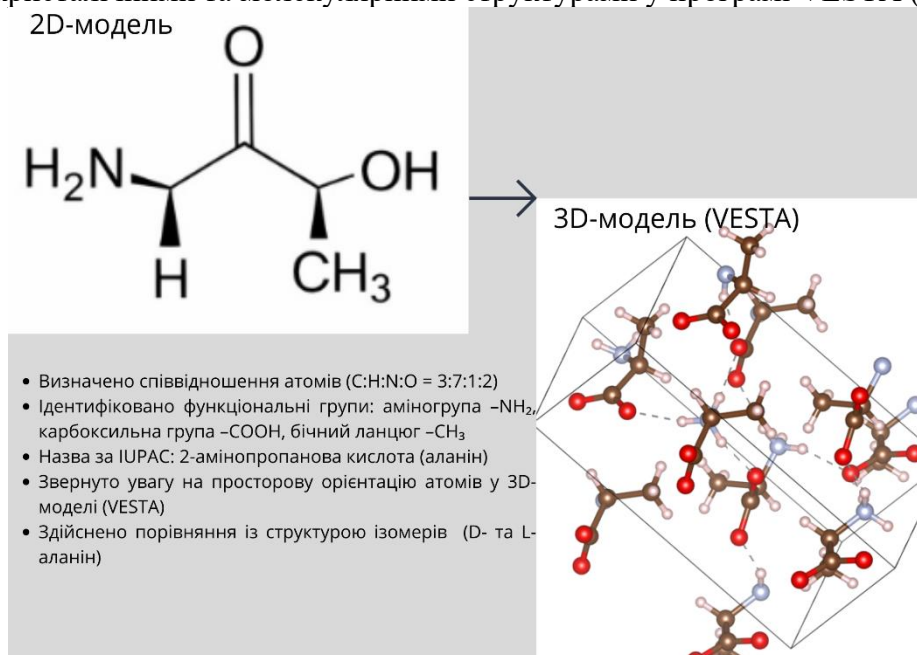


Рис. 2. Візуалізація освітньої діяльності студента: просторовий аналіз аланіну на основі Crystallography Open Database

Основна методична ідея полягала в тому, що студент спочатку аналізує модель, оцінює

просторову будову, визначає співвідношення атомів та ключові структурні елементи, а вже після цього формулює назву сполуки відповідно до правил IUPAC. Така послідовність дій забезпечує перехід від формального запам'ятовування хімічних назв до усвідомленого розуміння взаємозв'язку між складом, структурою та номенклатурою сполук, сприяє розвитку аналітичного й просторового мислення та формуванню професійних компетентностей майбутніх учителів хімії.

Результати педагогічного спостереження, проведеного під час роботи з групою з 20 студентів, засвідчили зростання навчальної активності та якості виконання завдань.

Таблиця 2

Узагальнені результати педагогічного спостереження ефективності використання VESTA у формуванні навичок хімічної номенклатури (n = 20)

Показник навчальної діяльності	Кількість студентів	Частка, %
Коректне визначення стехіометричних співвідношень атомів у неорганічних сполуках після роботи з 3D-моделями	16	80
Правильна ідентифікація типу сполуки (оксид, гідроксид, сіль) на основі просторової структури	15	75
Обґрунтоване визначення ступенів окиснення та формулювання назв відповідно правил номенклатури	14	70
Упевнене розрізнення простих і складних речовин за результатами аналізу 3D-моделей	17	85
Усвідомлене застосування правил IUPAC-номенклатури після аналізу структури у VESTA	18	90
Зменшення кількості механічних помилок у хімічних назвах порівняно з початковим етапом навчання	16	80

Так, після систематичної роботи з 3D-моделями у VESTA 16 студентів (80%) коректно визначали стехіометричні співвідношення атомів у неорганічних сполуках уже з першої спроби, тоді як на початковому етапі таких студентів було лише 9 осіб (45%). Аналогічна позитивна динаміка спостерігалася під час формулювання назв сполук за правилами IUPAC.

Під час аналізу різних типів сполук (оксиди, гідроксиди, солі) 15 студентів (75%) правильно ідентифікували тип речовини, спираючись на просторову структуру, а не лише на хімічну формулу. Особливо показовими були завдання, пов'язані з визначенням ступенів окиснення: при роботі з моделями Fe_2O_3 і Fe_3O_4 14 студентів (70%) змогли обґрунтовано пояснити відмінності в найменуванні сполук, посилаючись на структурні особливості та склад кристалічної решітки.

Тривимірні моделі у VESTA сприяли формуванню ключових навчальних компетенцій. За результатами спостереження, 17 студентів (85%) продемонстрували впевненість у розрізненні простих і складних речовин, а 18 студентів (90%) відзначали, що просторове представлення структури допомагає краще зрозуміти логіку побудови хімічних назв. Зменшилася кількість механічних помилок у номенклатурі, зокрема пропусків індексів або некоректного зазначення ступенів окиснення.

Для підвищення ефективності навчання студенти виконували завдання у чітко визначеній послідовності: відкривали 3D-модель у VESTA, аналізували її з різних ракурсів, визначали ключові структурні елементи та співвідношення атомів, після чого формулювали правильну хімічну назву. Педагогічне спостереження показало, що у 18 із 20 студентів (90%) така логіка роботи сприяла більш аргументованому й усвідомленому використанню правил IUPAC. Отримані результати підтверджують доцільність інтеграції програмного середовища

VESTA у підготовку майбутніх учителів хімії як ефективного інструменту формування хімічної термінологічної компетентності.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведене дослідження узгоджується з міжнародними тенденціями педагогічної практики та підтверджує методичну доцільність і педагогічну ефективність використання програмного забезпечення VESTA як засобу формування навичок хімічної номенклатури у здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньою програмою «Середня освіта (Хімія)». Інтеграція тривимірної візуалізації кристалічних структур у процес вивчення освітнього компонента «Хімічна термінологія» забезпечує перехід від формального заучування назв сполук до усвідомленого розуміння взаємозв'язку між складом, просторовою будовою та номенклатурою речовин.

Результати педагогічного спостереження за роботою групи з 20 студентів засвідчили позитивну динаміку у сформованості ключових номенклатурних і предметних умінь. Зокрема, більшість студентів продемонстрували здатність коректно визначати стехіометричні співвідношення атомів, ідентифікувати типи неорганічних сполук, обґрунтовувати ступені окиснення та формулювати хімічні назви відповідно до правил IUPAC на основі аналізу тривимірних моделей. Важливим результатом стало зменшення кількості механічних помилок у номенклатурі та зростання рівня самостійності й аналітичного мислення студентів.

Поетапна організація роботи у середовищі VESTA, що поєднувала аналіз автентичних кристалографічних даних із виконанням ситуаційних завдань, сприяла досягненню програмних результатів навчання освітньої програми «Середня освіта (Хімія)», зокрема розвитку просторового мислення, умінь інтерпретувати хімічні формули та пояснювати походження назв сполук. Таким чином, використання VESTA розширює дидактичний інструментарій підготовки майбутніх учителів хімії та підвищує якість засвоєння хімічної термінології.

Перспективним напрямом подальших досліджень є розширення вибірки здобувачів освіти та проведення порівняльних експериментів із використанням контрольних і експериментальних груп для кількісної оцінки впливу тривимірної візуалізації на результати навчання. Доцільним є також поглиблення методики застосування VESTA у вивченні координаційних сполук, кристалохімії та елементів стереохімії, а також розробка електронних навчальних модулів і дидактичних матеріалів для самостійної роботи студентів.

Окрему увагу в подальших дослідженнях плануємо приділити інтеграції програмного забезпечення VESTA з іншими цифровими освітніми ресурсами та вивченню можливостей використання тривимірної візуалізації у підготовці майбутніх учителів до викладання хімії в закладах загальної середньої освіти. Це сприятиме формуванню стійкої професійної компетентності, здатності до пояснення складних хімічних понять на наочній основі та підвищенню якості хімічної освіти загалом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. VESTA [Computer software]. URL: <https://jp-minerals.org/vesta/en/>.
2. Williamson V.M. What is the research evidence for using visualization techniques in the chemistry classroom? How should these techniques be implemented? *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*. 2015. Vol. 3, № 4. P. 10-22. URL: <https://doi.org/10.31129/lumat.v3i4.1022>.
3. Teruya K., Cavallo G., Shudo K. Visualization in chemistry education: Directions for research and development of educational resources. *ResearchGate*. 2015. URL: <https://www.researchgate.net/publication/262442572>
4. Momma K., Izumi F. VESTA 3 for three dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data. *Journal of Applied Crystallography*. 2011. Vol. 44, № 6. P. 1272–1276. URL: <https://doi.org/10.1107/S0021889811038970>.
5. Momma K., Izumi F. VESTA: a three dimensional visualization system for electronic and structural analysis. *Journal of Applied Crystallography*. 2008. Vol. 41, № 3. P. 653–658. URL: <https://doi.org/10.1107/S0021889808012016>.
6. Momma K. Development of crystallographic visualization software and its application (Review article). *Nihon Kessho Gakkaiishi*. 2014. Vol. 56, № 3. P. 173-178. URL: <https://doi.org/10.5940/jcrsj.56.173>.
7. Momma K., Izumi F. Applications of the three dimensional visualization system VESTA in mineralogical

sciences. *Japanese Magazine of Mineralogical and Petrological Sciences*. 2010. Vol. 39, № 4. P. 136-145. URL: <https://doi.org/10.2465/gkk.100216>.

8. Nadiyah K., Aprianti R., Zakirman Z., Widiasih W., Jhora F.U., Ratnawulan R. Enhancing student comprehension of crystal structures: The effectiveness of Vesta as a learning tool. *Momentum: Physics Education Journal*. 2025. Vol. 9, № 1. P. 69-79. URL: <https://doi.org/10.21067/mpej.v9i1.10448>.

9. Іванець, Л. М., Д. О. Польовий. 2024. Візуалізація понять при вивченні дисципліни «фізична та колоїдна хімія» здобувачами вищої освіти спеціальності «фармація». *Медична освіта*. № 1 С. 14-19. URL: <https://doi.org/10.11603/m.2414-5998.2024.1.14448>.

10. Сняла Ю. Застосування цифрових інструментів у навчанні хімії. *Освіта. Інноватика. Практика*. 2023. № 4. С. 55–64. URL: <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol11i4-008>.

REFERENCES

1. VESTA [Computer software]. URL: <https://jp-minerals.org/vesta/en/>.
2. Momma, K., & Izumi, F. (2008). VESTA: A three-dimensional visualization system for electronic and structural analysis. *Journal of Applied Crystallography*. 41(3), 653–658. URL: <https://doi.org/10.1107/S0021889808012016>.
3. Momma, K., & Izumi, F. (2011). VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data. *Journal of Applied Crystallography*. 44(6), 1272–1276. URL: <https://doi.org/10.1107/S0021889811038970>.
4. Momma, K. (2014). Development of crystallographic visualization software and its application (Review article). *Nihon Kessho Gakkaishi*. 56(3), 173-178. URL: <https://doi.org/10.5940/jcrsj.56.173>.
5. Momma, K., & Izumi, F. (2010). Applications of the three-dimensional visualization system VESTA in mineralogical sciences. *Japanese Magazine of Mineralogical and Petrological Sciences*. 39(4), 136–145. URL: <https://doi.org/10.2465/gkk.100216>.
6. Nadiyah, K., Aprianti, R., Zakirman, Z., Widiasih, W., Jhora, F. U., & Ratnawulan, R. (2025). Enhancing student comprehension of crystal structures: The effectiveness of VESTA as a learning tool. *Momentum: Physics Education Journal*. 9(1), 69–79. URL: <https://doi.org/10.21067/mpej.v9i1.10448>.
7. Williamson, V. M. (2015). What is the research evidence for using visualization techniques in the chemistry classroom? How should these techniques be implemented? *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*. 3(4), 10–22. URL: <https://doi.org/10.31129/lumat.v3i4.1022>.
8. Teruya, K., Cavallo, G., & Shudo, K. (2015). Visualization in chemistry education: Directions for research and development of educational resources. *ResearchGate*. URL: <https://www.researchgate.net/publication/262442572>.
9. Ivanets, L. M., & Polovyi, D. O. (2024). Vizualizatsiia poniat pry vyvchenni dystsypliny «fizychna ta koloidna khimiia» zdobuvachamy vyshchoi osvity spetsialnosti «farmatsiia» [Visualization of concepts in teaching «Physical and Colloid Chemistry» for higher education students in the Pharmacy program]. *Medychna Osvita*. (1). 14–19. URL: <https://doi.org/10.11603/m.2414-5998.2024.1.14448>.
10. Snyala, Yu. (2023). Zastosuvannia tsyfrovikh instrumentiv u navchanni khimii [Application of digital tools in chemistry education]. *Osvita. Innovatyka. Praktyka*. (4), 55–64. URL: <https://doi.org/10.31110/2616-650x-vol11i4-008>. [in Ukrainian]

Статтю надіслано до редколегії 15.03.2026 р.
Статтю рекомендовано до друку 08.04.2026 р.