

doi: 10.33842/22195203-2026-36-137-167-174

УДК 373.5.091.33:54+004

ХІМІЯ КРИЗЬ ПРИЗМУ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ: МОЖЛИВОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ З ІНФОРМАТИКОЮ

Юлія Сухомлінова

<https://orcid.org/0009-0005-3899-4076>*Мелітопольська гімназія №20 Мелітопольської міської ради Запорізької області*

У статті проаналізовано значення цифрових технологій для оновлення змісту й методики викладання хімії та обґрунтовано можливості інтеграції хімії з інформатикою на основі STEM/STEAM-підходу. Розглянуто сучасні цифрові засоби навчання хімії (віртуальні лабораторії, комп'ютерне моделювання, хмарні платформи, програми для візуалізації тощо) та наведено приклади їх використання в освітній практиці. Описано конкретні кейси інтегрованих уроків і проєктів, що поєднують хімію та інформатику. Проаналізовано педагогічні переваги такої інтеграції (підвищення мотивації, розвиток критичного мислення, індивідуалізація навчання тощо), а також окреслено труднощі (брак обладнання, потреба в підготовці вчителів, мовні бар'єри цифрового контенту) та перспективи (створення STEM-лабораторій, розвиток цифрової компетентності, впровадження доповненої та віртуальної реальності) інтеграції хімії з інформатикою в середній освіті.

Ключові слова: цифрові технології; STEM-освіта; інтеграція предметів; віртуальна лабораторія; інформатика; хімічна освіта; цифрова компетентність.

Sukhomlinova Yulia. Chemistry through the prism of digital technologies: possibilities of integration with computer science.

The article examines the significance of digital technologies for updating the content and methodology of chemistry teaching and substantiates the possibilities of integrating chemistry with computer science based on the STEM/STEAM approach. Modern digital tools for chemistry education (virtual laboratories, computer modeling, cloud platforms, visualization programs, etc.) are reviewed, and examples of their use in educational practice are provided. Specific case studies of integrated lessons and projects combining chemistry and informatics are discussed. The pedagogical advantages of such integration (increased motivation, development of critical thinking, individualized learning, etc.) are analysed, as well as the challenges (lack of equipment, need for teacher training, language barriers of digital content) and prospects (creation of STEM laboratories, development of digital competence, implementation of augmented and virtual reality) for integrating chemistry with informatics in secondary education.

Keywords: digital technologies; STEM education; subject integration; virtual laboratory; computer science; chemistry education; digital competence.

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку освіти характеризується стрімкою цифровою трансформацією суспільства. Інформаційно-комунікаційні технології все глибше проникають у всі сфери життя, зокрема й в освітній процес. Перехід до інформаційного суспільства зумовлює об'єктивну потребу модернізації освіти – оновлення змісту, методів і форм навчання – відповідно до вимог сьогодення. Викладання хімії не є винятком: ця природничо-наукова дисципліна потребує нових підходів, що враховують можливості цифрових технологій у навчанні. Використання цифрових технологій у навчанні хімії дозволяє інтенсифікувати освітній процес, прискорити передачу знань і досвіду та підвищити якість освіти. Цифрові інструменти відкривають доступ до сучасного наукового контенту, мультимедійних наочних матеріалів і інтерактивних методик, що сприяє зацікавленню учнів хімією.

Паралельно з інформатизацією освіти виникає потреба інтеграції навчальних предметів,

особливо природничих наук із технологіями та інженерією, у руслі концепції STEM/STEAM. У світі інтегроване STEM-навчання розглядається як основа підготовки учнів до викликів ХХІ століття. Об'єднання науки, технологій, інженерії, мистецтва та математики у навчальних проєктах сприяє формуванню в учнів цілісного бачення проблем, розвитку критичного мислення та вмінь розв'язувати комплексні задачі. В Україні також приділяється значна увага розвитку STEM-освіти: у 2020 р. ухвалено Концепцію розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) до 2027 року, яка передбачає модернізацію змісту навчання та широкое впровадження STEM-підходів на всіх рівнях освіти. Це створює передумови для активнішої інтеграції інформатики з предметами природничого циклу, зокрема з хімією, з метою підвищення якості освіти і підготовки учнів до сучасних професійних реалій.

Таким чином, актуальною проблемою постає оновлення методики викладання хімії шляхом

впровадження цифрових технологій та інтеграції з інформатикою. Це потребує відповіді на низку питань: яке дидактичне значення мають цифрові технології для вивчення хімії; яким чином STEM-інтеграція хімії та інформатики може реалізовуватися на практиці; які цифрові засоби найбільш ефективні у навчанні хімії; з якими труднощами стикаються педагоги при впровадженні такої інтеграції і які перспективи відкриваються перед освітянами та учнями. Вирішення цих питань сприятиме підвищенню якості хімічної освіти та формуванню в учнів необхідних компетентностей інформаційної ери.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика використання інформаційно-цифрових технологій у навчанні хімії та інтеграції природничих і комп'ютерних наук знаходить відображення у працях багатьох дослідників. В Україні питання застосування ІКТ у викладанні хімії досліджували, зокрема, О. Бондаренко, В. Заболотний, Г. Козлакова, О. Міщенко та інші науковці. В їхніх роботах обґрунтовано дидактичні можливості використання електронних освітніх ресурсів, комп'ютерних програм та інтернет-технологій у шкільному курсі хімії. Так, Л. Бондар і А. Живага проаналізували сучасний цифровий контент із хімії та власний педагогічний досвід його використання у школі, відзначивши, що застосування ІКТ сприяє індивідуалізації, диференціації й інтенсифікації навчання та загалом оптимізації освітнього процесу. Водночас вони зауважують, що наявна цифрова підтримка навчання хімії в Україні ще не є досконалою, оскільки багато ресурсів більше орієнтовані на популяризацію науки, ніж на безпосередній супровід шкільної програми. Автори наголошують, що модернізація уроків хімії залежить не лише від впровадження технологій, а й від матеріально-технічного оснащення кабінетів і, головне, від методичної компетентності та цифрової грамотності самого вчителя (Бондар, Живага, 2023). Отже, питання підготовки педагогів до ефективного використання цифрових інструментів є надзвичайно важливим.

Дослідження С. Толчко присвячене формуванню цифрової компетентності педагогів в умовах цифровізації освіти та дистанційного навчання. В ньому підкреслено необхідність цілеспрямованого розвитку ІКТ-навичок учителів для забезпечення якості освітнього процесу в нових умовах (Толчко, 2021). О. Карабін і М. Шуль розглядають розвиток цифрових компетентностей учнів у контексті реформи «Нова українська школа», відзначаючи, що інтеграція цифрових технологій у навчальні програми є однією з передумов формування в

учнів ключових компетентностей XXI століття (Карабін, Шуль, 2020). У дослідженні Н. Кононенко було показано ефективність застосування мультимедіа на уроках хімії для підвищення наочності та цікавості навчального матеріалу (Кононенко, 2010).

На міжнародному рівні помітним є зростання кількості праць, що присвячені STEM-інтеграції в освіті та використанню технологій у навчанні хімії. Наприклад, роботи зарубіжних авторів показують, що впровадження інтегрованого STEM-навчання в хімії підвищує інтерес учнів до предмета та сприяє розвитку в них дослідницьких умінь, критичного й творчого мислення. Дослідження Fitriyana та співавторів продемонструвало позитивне ставлення вчителів хімії до STEM-підходу, хоча водночас виявило нестачу практичного досвіду його застосування у шкільних уроках, що вказує на потребу у відповідних програмах підвищення кваліфікації педагогів (2024). Дворічне індонезійське дослідження Ridwan і співавторів показало, що інтеграція принципів STEAM через проєктно-орієнтоване навчання дозволила старшокласникам значно розвинути навички XXI століття – критичне і креативне мислення, вміння розв'язувати проблеми, співпрацювати та аргументувати. Це підтверджує тезу, що міждисциплінарні підходи з використанням технологій здатні підвищити якість навчальних результатів і сформувати більш глибоке розуміння учнями навчального матеріалу (2021).

Окремі роботи фокусуються на залученні інформатики до хімічної освіти. Зокрема, з'являється напрям «освітня хемоінформатика», що розглядає використання комп'ютерного моделювання та аналізу хімічних даних у навчальному процесі. Перспективи і виклики застосування методів хемоінформатики як контексту для STEM-освіти обговорено в оглядовому дослідженні J. Pernaа, де проведено SWOT-аналіз навчального проєкту з візуалізації молекул. Показано, що такі проєкти можуть підвищувати інтерес учнів до програмування через зрозумілі їм хімічні приклади, водночас вимагаючи подолання певних труднощів, таких як складність матеріалу, потреба в підготовці вчителя (Pernaа, 2022). Загалом література свідчить, що інтеграція хімії й інформатики в освіті є багатообіцяючим напрямом, який вже має перші успішні результати, проте потребує подальших досліджень і методичних розробок.

Отже, аналіз наукових джерел показує, що використання цифрових технологій у навчанні хімії та інтеграція з інформатикою розглядаються як важливі чинники підвищення ефективності освіти. Існуючі дослідження відзначають як суттєві переваги (зростання мотивації, розвиток

компетентностей учнів, візуалізація складних понять тощо), так і вказують на перепони (технічні, методичні, психологічні), які необхідно враховувати. Це створює підґрунтя для визначення мети і завдань даного дослідження.

Формулювання цілей статті. Метою статті є розкриття педагогічного потенціалу цифрових технологій у навчанні хімії та обґрунтування доцільності інтеграції курсу хімії з інформатикою в умовах STEM/STEAM-орієнтованої освіти. Відповідно до поставленої мети визначено такі завдання: 1) проаналізувати, яким чином цифрові технології впливають на зміст і методику викладання хімії, які нові можливості вони відкривають; 2) дослідити можливі шляхи міжпредметної інтеграції хімії й інформатики (через проєктну діяльність, спільні уроки, STEM-проєкти тощо) та навести приклади їх реалізації; 3) охарактеризувати основні цифрові засоби, що можуть бути використані у навчанні хімії, та проаналізувати досвід їх застосування; 4) оцінити педагогічні переваги інтеграції хімії з інформатикою для учнів і вчителів; 5) виявити типові труднощі впровадження таких інновацій та окреслити перспективи подальшого розвитку цього напрямку у середній освіті.

Виклад основного матеріалу дослідження. Упровадження цифрових технологій у освітній процес безпосередньо впливає на підготовку учнів до життя у сучасному інформаційному суспільстві. Застосування інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у навчанні хімії має кілька вимірів позитивного впливу. По-перше, воно підсилює мотивацію учнів до вивчення предмета за рахунок підвищення цікавості й наочності матеріалу. Яскраві мультимедійні демонстрації, інтерактивні симуляції хімічних процесів, навчальні відео та анімації роблять уроки хімії більш захопливими, що сприяє формуванню стійкого пізнавального інтересу. По-друге, цифрові технології дозволяють інтенсифікувати навчальний процес: учні можуть самостійно опрацювати матеріал у зручному темпі, повторювати експерименти у віртуальному середовищі стільки разів, скільки потрібно для розуміння, виконувати додаткові тренувальні завдання онлайн тощо. Таким чином забезпечуються умови для реалізації особистісно орієнтованого навчання – індивідуалізації та диференціації за рівнем і темпом засвоєння знань. По-третє, використання цифрових засобів сприяє підвищенню якості засвоєння складних теоретичних концепцій. Зокрема, комп'ютерне моделювання дозволяє візуалізувати процеси, невидимі неозброєним оком (на молекулярному чи атомарному рівні), і прослідкувати їх перебіг у динаміці, що веде до глибшого розуміння закономірностей. Учень має змогу

експериментувати в цифровому середовищі: змінювати параметри реакції, спостерігати наслідки (наприклад, як змінюється об'єм газу при зміні концентрації реагентів у змодельованій реакції), аналізувати отримані результати та робити висновки. Такий підхід розвиває наукове мислення і дослідницькі навички школярів.

Важливо й те, що цифрові технології розширюють доступ учнів до сучасного наукового знання. Інтернет-ресурси дають можливість оперативно залучати на уроках актуальні дані про новітні досягнення хімії, переглядати відео реальних хімічних експериментів, користуватися інтерактивними довідниками (наприклад, електронними таблицями Менделєєва, базами даних із властивостей речовин тощо). Це збагачує зміст освіти і пов'язує його з реальними науковими та прикладними проблемами. Учитель отримує змогу впроваджувати елементи дослідницького навчання, коли учні самі шукають інформацію в цифрових джерелах, виконують проєкти чи вебквести з хімії, використовуючи комп'ютерні технології.

Нарешті, цифрові інструменти спрощують реалізацію компетентнісного підходу та міжпредметних зв'язків. За допомогою комп'ютера значно легше інтегрувати в урок хімії елементи інших дисциплін: математичний аналіз даних (побудова графіків, обчислення), елементи програмування для розв'язання хімічних задач, моделювання хіміко-фізичних процесів тощо. Це створює умови для формування в учнів ключових компетентностей: математичної, базових природничих, інформаційно-цифрової. Отже, цифрові технології стають інструментом оновлення як змісту хімічної освіти, наповнюючи його новими даними і міждисциплінарними підходами, так і методів навчання, роблячи їх більш активними, індивідуалізованими та наближеними до реального життя.

Водночас слід відзначити, що ефективність використання цифрових технологій залежить від цілого ряду умов. Це і наявність відповідного обладнання (комп'ютерів, мультимедійних проєкторів, доступу до Інтернету) та програмного забезпечення в закладах освіти, і готовність самого вчителя методично грамотно застосовувати ІКТ. Досвід показує, що одних лише технологій недостатньо – потрібні також нові педагогічні підходи, щоб реалізувати їхній потенціал у навчанні. Якщо ж комп'ютер використовується епізодично, лише як заміна традиційних підручника чи дошки, то очікуваний високий ефект може не проявитися. Тому важливо впроваджувати цифрові інструменти систематично, на різних етапах уроку: і при поясненні нового матеріалу, і для демонстрацій та практикумів, і при контролі знань. Не менш

важливо забезпечити різноманітність застосовуваних педагогічних програмних засобів, адже хімія як навчальний предмет охоплює явища мікросвіту, невидимі безпосередньо, і тому потребує засобів візуалізації, якісних симуляторів тощо. В цілому, практики, проаналізовані в літературі, підтверджують, що коли цифрові технології органічно вплітаються в структуру уроку, вони дозволяють суттєво покращити засвоєння знань учнями та підвищити ефективність навчання.

Інтеграція хімії з інформатикою через STEM/STEAM-підхід. STEM-освіта базується на ідеї взаємопов'язаного навчання наук, технологій, інженерії, мистецтва та математики, що відображає реальні міждисциплінарні задачі сучасності. Для хімії та інформатики таке поєднання є природним, адже сучасна хімічна наука неможлива без використання комп'ютерів для моделювання речовин, обробки великих обсягів даних (прикладом є хемоінформатика) та автоматизації експериментів. У шкільному курсі інтеграція хімії та інформатики може реалізовуватися у різних форматах: від коротких міждисциплінарних занять до повноцінних проєктів чи курсів за вибором. Головна ідея – продемонструвати учням, як цифрові технології можуть застосовуватися для вирішення хімічних задач, і одночасно показати практичну цінність інформатики на прикладах із хімії.

Прикладом STEM-підходу є проєктне навчання, де учні працюють над спільним проєктом на перетині двох дисциплін. Такі проєкти можуть стосуватися як прикладних проблем (наприклад, моніторинг стану довкілля, хімічний аналіз води чи ґрунту з використанням цифрових інструментів), так і суто навчальних досліджень (наприклад, моделювання хімічних реакцій за допомогою комп'ютерних програм). Важливо, щоб учні в ході проєкту виконували ролі і хіміків-дослідників, і розробників технологічних рішень. Це сприяє формуванню в них цілісного розуміння процесу наукового дослідження: від постановки проблеми та планування експерименту – до збору даних, їх математичної обробки та презентації результатів із використанням ІТ-інструментів.

Прикладом інтеграції хімії та інформатики є впровадження елементів програмування безпосередньо на уроках хімії. Так, учитель може запропонувати учням написати просту програму (наприклад, мовою Python) для розрахунку параметрів хімічної реакції – коефіцієнтів рівняння, молярної маси сполуки, виходу продукту за формулою тощо. Подібне завдання одночасно тренує хімічні знання (учень має розуміти алгоритм розрахунку) і навички програмування (скласти код за цим алгоритмом).

У результаті учні краще засвоюють як сам принцип розрахунків у хімії, так і здобувають початковий досвід кодування для вирішення практичних задач. Деякі школи впроваджують практику, де учні моделюють кінетику реакцій, розраховують рН складних розчинів, аналізують великі масиви експериментальних даних за допомогою комп'ютерних засобів. Такі інтегровані заняття вчать школярів бачити міждисциплінарні зв'язки та застосовувати знання комплексно, а також розвивають їх інформаційно-цифрову компетентність.

Не можна не згадати й про напрям STEAM, що додає до STEM ще компоненти мистецтва й творчості. У контексті інтеграції хімії та ІТ це може проявлятися у проєктах, де учні створюють, скажімо, цифрові творчі продукти на хімічну тематику: анімації або навчальні ігри про хімічні процеси, віртуальні музеї молекул, 3D-моделі кристалів тощо. Наприклад, відомі проєкти, де школярі за допомогою програм для 3D-моделювання (Blender, Tinkercad) створювали моделі молекул і друкували їх на 3D-принтері, що поєднало знання стереохімії з інженерним дизайном і ІТ. Інші учні розробляли прості комп'ютерні ігри (на зразок вікторин чи пазлів) для закріплення знань із хімії, опановуючи при цьому основи алгоритмізації та дизайну. STEAM-підхід акцентує увагу на творчості, тому дає змогу залучити ширше коло учнів: не лише тих, кому цікава наука, але й тих, хто любить малювати, конструювати, фантазувати – адже всі ці вміння можна застосувати і в хімічних проєктах із цифровими технологіями.

Педагогічні переваги інтеграції хімії з інформатикою. Об'єднання зусиль двох дисциплін – хімії та інформатики – у навчальному процесі створює синергетичний ефект, що позитивно позначається на результатах навчання. Нижче узагальнено ключові переваги такої інтеграції, підтвержені досвідом і дослідженнями:

- Зростання мотивації та інтересу учнів. Інтегровані STEM-заняття зазвичай викликають у школярів більший інтерес, ніж традиційні уроки, оскільки пропонують практичну, прикладну діяльність і елемент новизни. Учні бачать реальне застосування своїх знань (наприклад, програмуючи прилад для хімічного експерименту), що підвищує їхню внутрішню мотивацію до навчання. Вони відчують себе дослідниками і інженерами одночасно, що пробуджує захоплення процесом пізнання.

- Розвиток критичного мислення і творчих здібностей. Інтеграція з інформатикою передбачає вирішення нестандартних, комплексних задач, що виходять за межі одного предмета. Учні вчать аналізувати проблему з різних боків, висувати

гіпотези, планувати експеримент або алгоритм вирішення. Така діяльність розвиває критичне мислення – уміння оцінити умови задачі, обрати оптимальний шлях, проаналізувати отримані дані. Одночасно стимулюється й творчість: часто задачі STEM мають кілька підходів до вирішення, і учні генерують власні ідеї, пропонують оригінальні конструкторські рішення тощо. Наприклад, у проєкті з програмування хімічних реакцій учні могли різними способами реалізувати алгоритм – і це заохочувало їх творче мислення. Дослідження Timurkyzu відзначає, що STEM-інтеграція в уроках хімії розвиває в учнів науковий склад розуму, підсилює їхні дослідницькі навички та здатність до інновацій (Timurkyzu, 2025).

- Формування навичок співпраці та комунікації. Більшість інтегрованих проєктів передбачають командну роботу учнів: вони разом збирають пристрій, розподіляють ролі програміста і експериментатора, обговорюють результати. Таким чином тренуються навички командної взаємодії, уміння спілкуватися, аргументувати свою думку, прислухатися до інших. Це важливі соціальні компетентності, які традиційні уроки (де переважає індивідуальна робота або взаємодія лише «учитель-учень») розвивають меншою мірою. Спільне подолання міжпредметних проблем згуртовує учнів, вчить їх ефективно працювати разом. Крім того, у таких проєктах часто відбувається комунікація між учителем хімії та інформатики – спільне планування і проведення занять – що теж є позитивним моментом, адже педагоги переймають один від одного досвід і підходи.

- Індивідуалізація навчання і врахування різних стилів. Інтегровані підходи дають більше можливостей диференціювати завдання залежно від здібностей і схильностей учнів. Наприклад, у команді один учень може взяти на себе більше програмування, інший – експериментальної роботи, третій – аналітичних обчислень, четвертий – творчого оформлення результатів. Кожен реалізує себе в тій ролі, де відчувається впевненіше, водночас опановуючи і суміжні вміння. Це особливо корисно для дітей із різними пізнавальними стилями: хтось краще засвоює через практику, хтось через роботу за комп'ютером, хтось у грі – і STEM-формат дозволяє поєднати ці види активності на одному уроці. Як наслідок, підвищується залученість кожного учня та комфортність навчання для різних психологічних типів.

- Практична спрямованість і профорієнтація. Інтеграція хімії з ІТ орієнтує учнів на сучасні професії, де поєднуються знання з різних галузей. Участь у таких проєктах може виявити в учня інтерес до майбутньої кар'єри, наприклад, у галузі біотехнологій, хімічної інженерії, екології,

ІТ-стартапів тощо. Учні починають розуміти, що хімія – не ізольований предмет, а частина великого інноваційного простору, у якому вона взаємодіє з технологіями. Це може стати мотиватором для подальшого навчання: школярі бачать перспективи застосування отриманих знань у житті. За результатами опитувань, проведених після STEM-класів, значна частина учнів відзначала, що такі уроки допомогли їм визначитися з вибором напрямку вищої освіти, адже вони спробували себе у ролі і науковця, і програміста, і їм це сподобалося.

Труднощі та обмеження інтеграції. Попри численні плюси інтеграція цифрових технологій та інформатики в курс хімії супроводжується певними викликами. Виявлення і усвідомлення цих труднощів є важливим для вироблення шляхів їх подолання у майбутньому. Основні з них такі:

- Матеріально-технічні обмеження. Не всі школи достатньо оснащені для повноцінного впровадження цифрових інструментів. Бракує сучасних комп'ютерів у кабінетах хімії, іноді навіть немає стабільного інтернет-зв'язку. Як наслідок, учитель не може реалізувати задуманий STEM-проєкт через банальну відсутність обладнання. Часто доводиться покладатися лише на персональні девайси учнів (смартфони, планшети), але це теж створює нерівні умови: не у всіх учнів вони є, або не кожен пристрій підтримує потрібні застосунки. Матеріальне забезпечення – об'єктивна перешкода, яка особливо характерна для сільських шкіл, шкіл у прифронтових територіях тощо. Її розв'язання потребує державної підтримки і інвестицій у STEM-лабораторії.

- Нестача якісного навчального софту українською мовою. Як зазначалося вище, більшість доступних програм і онлайн-ресурсів із хімії створені англійською або іншими мовами, іноді не узгоджені з нашими навчальними програмами. Вчителю доводиться або витратити час на переклад і адаптацію, або обмежуватися тими небагатьма ресурсами, що є українською. Це зужує вибір і потенційно знижує ефективність (не завжди знайдеться україномовний симулятор саме з потрібної теми). Існує потреба у розробці більшої кількості локалізованих навчальних програм із хімії, створених з урахуванням державних освітніх стандартів та мовних особливостей. Також важливо навчати учнів працювати і з англійськими джерелами – це, у свою чергу, ставить питання про рівень їх володіння англійською та готовності сприймати іншомовний науковий контент.

- Відсутність часу і перевантаженість навчальних програм. Інтегровані проєкти

завичай потребують більше часу, ніж традиційний урок: треба пояснити принцип дії приладу, навчити програмуванню, провести сам експеримент тощо. У рамках типового навчального плану (1 - 2 уроки хімії на тиждень) викроїти зайві години на STEM-активності складно, адже є тиск виконання програми і підготовки до іспитів. Через це деякі вчителі уникають складних проєктів, боячись «не встигнути» пройти теми. Рішенням могло б бути впровадження спецкурсів або гуртків, але це не завжди оплачується і підтримується адміністрацією. Отже, регламент часу – суттєвий стримуючий фактор, який вимагає або оптимізації програм, або інтеграції з уроками інформатики (наприклад, частину роботи виконувати на уроках інформатики під керівництвом колеги).

· Необхідність підвищення кваліфікації вчителів. Для багатьох учителів хімії застосування складних цифрових інструментів чи навчання елементам програмування є новим і незнайомим. Не всі мають достатні ІТ-навички, дехто відчуває психологічний бар'єр перед використанням техніки. Це суб'єктивний фактор, що стримує впровадження інновацій. Подолати його можна через систему навчальних тренінгів, курсів підвищення кваліфікації з ІКТ для педагогів природничих дисциплін. Важливо також налагодити співпрацю між учителями інформатики і хімії: взаємне наставництво, проведення спільних уроків, обмін досвідом. Якщо вчитель хімії відчує підтримку колеги-айтішника, йому буде легше долучитися до інтеграції. На державному рівні вже робляться кроки в цьому напрямку – вводяться сертифікаційні курси з цифрової грамотності для педагогів, але поки охоплення їх недостатнє.

· Певний опір традиційної системи оцінювання. Інтегровані види діяльності не завжди легко оцінити звичними контрольними чи тестами. Проєктні роботи більш комплексні, їх оцінювання потребує критеріїв, часто якісних (на кшталт креативності, вміння співпрацювати). Чинна система оцінювання у школі не дуже гнучка щодо таких результатів – вона більше пристосована до перевірки знань з окремих предметів. Переконати в цінності інтеграції можна, лише маючи чіткі докази і критерії успішності – над цим аспектом ще потрібно працювати методистам і дослідникам освіти.

Перспективи і подальший розвиток. Попри зазначені труднощі, тенденція до цифровізації і STEM-інтеграції в освіті має незворотний характер. У найближчому майбутньому можна очікувати суттєвого розширення можливостей інтеграції хімії з інформатикою завдяки появі нових технологій і поступовому вирішенню

наявних проблем. Зокрема, перспективними є такі напрями:

· Створення сучасних STEM-лабораторій у школах. В рамках державних програм підтримки природничо-математичної освіти планується обладнання шкіл спеціалізованими STEM-лабораторіями та кабінетами з новітнім приладдям. Це значно підвищить їхні можливості впроваджувати інтегровані проєкти. Учні зможуть проводити справжні дослідження у шкільних стінах, користуючись обладнанням, яке раніше було доступним лише у вузівських або позашкільних лабораторіях. Отже, розвиток матеріальної бази – ключова перспектива, що відкриває шлях до якісно нового рівня хімічної освіти.

· Розробка і впровадження нових цифрових освітніх ресурсів. Є очікування появи більшої кількості україномовних інтерактивних курсів, симуляторів, навчальних програм із хімії, адаптованих під наші стандарти. Можливо, їх створення буде стимулюватися попитом із боку шкіл та підтримкою МОН у межах цифрової трансформації освіти. Також ймовірно ширше застосування глобальних онлайн-платформ (Coursera, EdX, Академія Хана тощо) для поглибленого вивчення учнями суміжних із хімією ІТ-напрямів (наприклад, основ програмування чи аналізу даних). Все це збагатить освітній простір та надасть учителю широкий інструментарій для роботи.

· Використання доповненої (AR) і віртуальної реальності (VR). Ці технології розвиваються дуже швидко і стають більш доступними. В хімії AR-додатки можуть дозволити учням «бачити» молекули і реакції: наводячи камеру смартфона на зображення у підручнику, з'являться об'ємні моделі чи анімації процесів. VR може забезпечити повне занурення у віртуальну хімічну лабораторію або навіть всередину кристалічної ґратки чи живої клітини для вивчення біохімії. Досліди показують, що такі підходи підсилюють ефект присутності і розуміння просторових структур. У найближчі роки очікується поява освітніх AR/VR-продуктів саме для шкільної хімії, і їх інтеграція з інформатикою буде цілковито природною, адже учні зможуть навіть створювати власний AR-контент.

· Індивідуальні освітні траєкторії та змішане навчання. Цифрові технології дозволяють гнучко поєднувати очне та дистанційне навчання (blended learning). Перспектива – надати учням можливість частково самостійно вивчати матеріал із хімії онлайн (наприклад, через інтерактивні курси), а час на уроці присвячувати обговоренню складних питань, проведенню експериментів, проєктній роботі. Інформатика в

цьому допоможе, забезпечивши платформу для відстеження прогресу, автоматичного тестування, персоналізації завдань. Кожен учень зможе рухатися своїм темпом, а вчитель отримуватиме аналітику про успіхи/труднощі та коригуватиме індивідуальні плани навчання. Такий підхід вже застосовується в інших предметах і цілком може бути імплементований у хімії.

Міжшкільні та міжнародні проекти. З розвитком онлайн-комунікацій стає можливим проводити спільні STEM-проекти між школами з різних регіонів чи країн. Наприклад, українські учні можуть спільно з однолітками з ЄС виконувати дослідження екологічного стану довкілля, обмінюючись даними онлайн, або разом розробляти програму для аналізу хімічних експериментів. Такі проекти не лише інтегрують хімію та інформатику, а й розвивають міжкультурне спілкування, англомовні навички, дають вихід на глобальний рівень. Вже існують платформи eTwinning, Erasmus+ для пошуку партнерів і реалізації подібних ініціатив, і в майбутньому їх роль тільки зростатиме.

Отже, інтеграція цифрових технологій та інформатики у викладання хімії перебуває на етапі становлення, але має вагомий потенціал для розкриття. Успішні приклади в Україні та світі демонструють, що така інтеграція сприяє осучасненню хімічної освіти, робить її цікавішою для учнів і більш результативною. Водночас необхідно усунути наявні перешкоди – покращити обладнання шкіл, підготувати кадри, створити методичне забезпечення – аби кожен учитель хімії міг впевнено користуватися можливостями цифрової епохи. Інтегрований підхід «хімія + інформатика» відповідає запитам суспільства на конкурентоспроможну STEM-освіту і формуванню покоління, здатного творчо застосовувати наукові знання для розв'язання реальних проблем. Це перспективний шлях розвитку середньої освіти, який вже сьогодні дає відчутні позитивні результати і визначає обличчя школи майбутнього.

Висновки. Сучасна хімічна освіта в школі потребує активного впровадження цифрових технологій та інтеграції з інформатикою, що диктується викликами інформаційного суспільства. Проведений аналіз підтверджує, що застосування ІКТ у навчанні хімії сприяє індивідуалізації, диференціації та інтенсифікації освітнього процесу, оптимізації та вдосконаленню навчання. Інтеграція хімії з

інформатикою через STEM/STEAM-підхід відкриває нові можливості: міжпредметні проекти та уроки підвищують мотивацію учнів, розвивають їхні дослідницькі та критичні здібності, формують практичні навички роботи з технологіями. Цифрові інструменти – від віртуальних лабораторій до навчальних програм – дозволяють покращити наочність і якість засвоєння складних хімічних понять, а також готують учнів до використання сучасних технологій у подальшому навчанні та житті.

Разом із тим, досвід упровадження показує наявність труднощів: матеріально-технічних (неповне оснащення шкіл цифровими лабораторіями), методичних (дефіцит адаптованого контенту, обмежений час на інтегровані активності) та кадрових (потреба в підвищенні цифрової компетентності вчителів). Існуюча цифрова підтримка викладання хімії наразі не є досконалою: багато ресурсів потребують локалізації та методичного осмислення. Вирішення цих проблем можливе через реалізацію державної політики розвитку STEM-освіти (оснащення кабінетів сучасним обладнанням, створення STEM-центрів), розробку нових навчальних програм і посібників, підготовку педагогів нового покоління з високим рівнем ІТ-компетентностей. Першочерговим фактором успіху є методична майстерність та цифрова грамотність учителя, тому інвестиції у розвиток професійних навичок вчителів хімії щодо використання ІКТ матимуть найбільший вплив.

Перспективи інтеграції хімії та інформатики вбачаються в розширенні міжпредметних навчальних проектів, впровадженні елементів програмування, робототехніки, використанні AR/VR-технологій у хімічних експериментах. Очікується, що такі підходи будуть ставати невід'ємною частиною освітнього процесу, оскільки відповідають напрямку цифровізації освіти та потребам формування в учнів компетентностей XXI століття. Загалом, хімія крізь призму цифрових технологій набуває нового звучання: вона перестає бути лише академічною наукою в рамках підручника і перетворюється на живий, інтерактивний предмет, тісно пов'язаний із реальним світом інформації і технологій. Це шлях до підвищення якості природничої освіти, розвитку інноваційного мислення молоді та підготовки її до життя і діяльності в умовах науково-технологічного прогресу.

Список використаних джерел

Бондар Л., Живага А. Модернізація уроків хімії в умовах цифровізації освіти (з досвіду роботи). *Педагогічна Житомирщина*. 2023. № 1(29). С. 13–21.

- Биков В. Ю. Цифрова трансформація суспільства і розвиток комп'ютерно-технологічної платформи освіти і науки України. Інформаційно-цифровий освітній простір України: трансформаційні процеси і перспективи розвитку: матеріали методологічного семінару НАПН України, 4 квітня 2019 р. / за ред. В. Г. Кременя, О. І. Ляшенка. Київ, 2019. С. 20–26.
- Castro, R. The Effects of Chemistry Virtual Laboratories in Academic Achievement of Secondary Level Learners: A Meta-Analysis. *Integrated Science Education Journal*. 2025. 6 (1), 15–27. DOI: 10.37251/isej.v6i1.1379
- Fitriyana, N., Wiyarsi, A., Pratomu, H., Marfuatun, M. The importance of integrated STEM learning in chemistry lesson: Perspectives from highschool and vocationalschool chemistry teachers. *Journal of Technology and Science Education*. 2024. 14 (2), 418–437. DOI: 10.3926/jotse.2356
- Gungor, A., Kool, D., Lee, M., etal. The Use of Virtual Reality in A Chemistry Laband ItsImpacton Students' Self-Efficacy, Interest, Self-Concept and Laboratory Anxiety. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2022. 18 (3), em2090. 1–12. DOI: 10.29333/ejmste/11814
- Карабін О. Й., Шуль М. В. Формування цифрових компетентностей здобувачів освіти в контексті Нової української школи. *Інноваційна педагогіка*. 2020. Вип. 29. Т. 1. С. 140–144.
- Karagiorgou, E., Spahos, V. Chembot: chemistry with robots. *Science in School*. 2016. (38), 36–41. [Електронний ресурс]. URL: <https://scienceinschool.org/article/2016/chembot-chemistry-robots/> (дата звернення: 14.11.2025).
- Кононенко Н. Мультимедіа на уроках хімії. Біологія і хімія в школі. 2010. № 4. С. 38–39.
- Perna, J. Possibilities and Challenges of Using Educational Cheminformatics for STEM Education: A SWOT Analysis of a Molecular Visualization Engineering Project. *Journal of Chemical Education*. 2022. 99 (3), 1190–1200. DOI: 10.1021/acs.jchemed.1c00683
- Ridwan, A., Rahmawati, Y., Hadinugrahaningsih, T. STEAM Integration in Chemistry Learning for Developing 21 st Century Skills. *MIER Journal of Educational Studies, Trends & Practices*. 2021. 7 (2), 137–155. DOI: 10.52634/mier/2017/v7/i2/1420
- Timurkyzy, A. STEM Integration in Chemistry Lessons. *Eurasian Science Review*. 2025. 1 (3), 2598–2610. DOI: 10.63034/esr-453
- Толчко С. В. Цифрова компетентність педагогів в умовах цифровізації закладів освіти та дистанційного навчання. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. 2021. № 13. С. 28–35.

References

- Bondar, L., Zhivaga, A. Modernization of chemistry lessons in the context of digitalisation of education (from work experience). *Pedagogical Zhytomyr Region*. 2023. No. 1(29). pp. 13–21.
- Bykov, V. Yu. Digital transformation of society and development of the computer-technological platform of education and science of Ukraine. *Information and digital educational space of Ukraine: transformation processes and development prospects: materials of the methodological seminar of the National Academy of Sciences of Ukraine*, April 4, 2019 / edited by V.G. Kremen, O.I. Lyashenko. Kyiv, 2019. pp. 20–26.
- Castro, R. (2025). The effects of chemistry virtual laboratories in academic achievement of secondary level learners: A meta-analysis. *Integrated Science Education Journal*, 6 (1), 15–27. DOI: 10.37251/isej.v6i1.1379
- Fitriyana, N., Wiyarsi, A., Pratomu, H., & Marfuatun, M. (2024). The importance of integrated STEM learning in chemistry lesson: Perspectives from high school and vocational school chemistry teachers. *Journal of Technology and Science Education*, 14 (2), 418–437. DOI: 10.3926/jotse.2356
- Gungor, A., Kool, D., Lee, M., Avraamidou, L., & Bitter, J. H. (2022). The use of virtual reality in a chemistry lab and its impact on students' self-efficacy, interest, self-concept and laboratory anxiety. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18 (3), em2090. DOI: 10.29333/ejmste/11814
- Karabin, O. Y., Shul, M. V. Formation of digital competencies of students in the context of the New Ukrainian School. *Innovative Pedagogy*. 2020. Issue 29. Vol. 1. Pp. 140–144. DOI: <https://doi.org/10.32843/2663-6085/2020/29-1.28>
- Karagiorgou, E., & Spahos, V. (2016). Chembot: Chemistry with robots. *Sciencein School*, (38), 36–41. Retrieved from <https://scienceinschool.org/article/2016/chembot-chemistry-robots/>
- Kononenko, N. Multimedia in Chemistry Lessons. *Biology and Chemistry at School*. 2010. No. 4. Pp. 38–39.
- Perna, J. (2022). Possibilities and challenges of using educational cheminformatics for STEM education: A SWOT analysis of a molecular visualisation engineering project. *Journal of Chemical Education*. 99 (3). P. 1190–1200. DOI: 10.1021/acs.jchemed.1c00683
- Ridwan, A., Rahmawati, Y., & Hadinugrahaningsih, T. (2021). STEAM integration in chemistry learning for developing 21st century skills. *MIER Journal of Educational Studies, Trends & Practices*, 7 (2), 137–155. DOI: 10.52634/mier/2017/v7/i2/1420
- Timurkyzy, A. (2025). STEM integration in chemistry lessons. *Eurasian Science Review*, 1 (3), 2598–2610. DOI: 10.63034/esr-453
- Tolchko, S. V. Digital competence of teachers in the context of digitalization of educational institutions and distance learning. *Pedagogical sciences: theory, history, innovative technologies*. 2021. No. 13. pp. 28–35. Retrieved from <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/741496/>

Відомості про автора:

Сухомлінова Юлія Василівна
yuliasukhomlinova@gmail.com
Мелітопольська гімназія №20
Мелітопольської міської ради
Запорізької області
проспект Соборний, 164, Запоріжжя,
Запорізька обл., 69107, Україна

Information about the author:

Sukhomlinova Yulia Vasylivna
yuliasukhomlinova@gmail.com
Melitopol Gymnasium No. 20
of the Melitopol City Council
of Zaporizhzhia Region
Soborny Avenue, 164, Zaporizhzhia,
Zaporizhzhia region, 69107, Ukraine

Матеріал надійшов до редакції 22. 01. 2026 р.
Прийнято до друку 19. 02. 2026 р.

Received at the editorial office 22. 01. 2026.
Accepted for publishing 19. 02. 2026.