

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка

Хіміко-біологічний факультет
Кафедра хімії та методики її навчання

Кваліфікаційна робота

**СУЧАСНІ ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ ХІМІЧНОЇ ОСВІТИ:
АНАЛІЗ ДОСТУПНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ**

Спеціальність 014.06 Середня освіта (Хімія)
**Освітньо-професійна програма «Середня освіта (Хімія, біологія та
здоров'я людини)», другий (магістерський) рівень**

ЗДОБУВАЧ ОСВІТИ:

Лішнянська Юлія Іванівна

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:

кандидат хімічних наук, доцент
Барановський Віталій Сергійович

РЕЦЕНЗЕНТ:

доктор педагогічних наук, професор
кафедри природничих наук та методик
викладання Центральноукраїнського
державного університету імені
Володимира Винниченка
Плющ Валентина Миколаївна

АНОТАЦІЯ

Лішнянська Ю.І. Сучасні цифрові інструменти хімічної освіти: аналіз доступності та ефективності. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» зі спеціальності 014.06 Середня освіта (Хімія). ТНПУ ім. В. Гнатюка. Тернопіль, 2025. 42 с.

Здійснено комплексний аналіз сучасних цифрових інструментів навчання хімії. Теоретично обґрунтовано психолого-педагогічні аспекти використання ІКТ та розроблено класифікацію цифрових засобів за функціональним призначенням (візуалізація, віртуальні лабораторії, AR/VR, контроль знань, ШІ). Проведено порівняльний аналіз інструментів за критеріями технічної доступності та дидактичної ефективності, що дозволило виділити кластери засобів для масової та профільної освіти. Експериментальне дослідження (анкетування 26 вчителів Тернопільської області) виявило реальний стан впровадження цифрових технологій: поширеність стратегії BYOD (60%), основні бар'єри (мовний бар'єр – 45%) та високу оцінку ефективності симуляцій педагогами (80%). Розроблено методичні рекомендації щодо подолання технічних та мовних перешкод, а також інтеграції інструментів штучного інтелекту в освітній процес.

Ключові слова: цифрові інструменти, хімічна освіта, віртуальні лабораторії, доступність, ефективність, BYOD, штучний інтелект.

ABSTRACT

Lishnanska Yu. I. Modern digital tools for chemistry education: an analysis of accessibility and effectiveness. Master's thesis for the MA degree in the specialty 014.06 Secondary education (Chemistry). Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Ternopil, 2025. 42 p.

The thesis provides a comprehensive analysis of modern digital tools for chemistry education. The psychological and pedagogical aspects of ICT use are theoretically substantiated, and a classification of digital tools by functional purpose (visualization, virtual laboratories, AR/VR, knowledge assessment, AI) is developed. A comparative analysis of tools based on criteria of technical accessibility and didactic effectiveness was conducted, allowing the identification of tool clusters for mass and specialized education. Experimental research (survey of 26 teachers in the Ternopil region) revealed the actual state of digital technology implementation: the prevalence of the BYOD strategy (60%), main barriers (language barrier – 45%), and the high effectiveness rating of simulations by educators (80%). Methodological recommendations regarding overcoming technical and language obstacles, as well as integrating artificial intelligence tools into the educational process, have been developed.

Keywords: digital tools, chemistry education, virtual laboratories, accessibility, effectiveness, BYOD, artificial intelligence.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1.....	8
ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ХІМІЧНІЙ ОСВІТІ	8
1.1. Роль та місце цифрових інструментів у сучасній парадигмі природничої освіти	8
1.2. Психолого-педагогічні аспекти сприйняття навчального матеріалу з хімії	11
1.3. Класифікація сучасних цифрових засобів навчання хімії	13
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ДОСТУПНОСТІ ЦИФРОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ.....	17
2.1. Критерії оцінювання цифрових засобів навчання хімії	17
2.2. Віртуальні хімічні лабораторії та симуляції	19
2.3. Засоби молекулярного моделювання та візуалізації	21
2.4. Мобільні додатки та технології доповненої реальності (AR)	23
2.5. Використання штучного інтелекту (AI) в хімічній освіті.....	25
2.6. Порівняльний аналіз доступності та ефективності цифрових засобів .	28
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ ПРИ НАВЧАННІ ХІМІЇ.....	31
3.1. Організація та методика дослідження	31
3.2. Аналіз технічної та методичної доступності цифрових засобів	33
3.3. Дослідження ефективності цифрових засобів.....	34
3.4. Методичні рекомендації щодо використання цифрових інструментів на уроках хімії	35
ВИСНОВКИ	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	39

ВСТУП

Актуальність роботи

В умовах стрімкої цифровізації суспільства та переходу до змішаних форм навчання, традиційні методи викладання хімії потребують суттєвої модернізації [1]. Хімія є наукою про мікросвіт, процеси якого неможливо спостерігати безпосередньо, тому візуалізація за допомогою цифрових інструментів стає ключовим фактором глибокого розуміння навчального матеріалу [2].

Сучасний етап реформування освітньої галузі («Нова українська школа») вимагає переходу від репродуктивної моделі до компетентнісної, де учень виступає активним дослідником [3]. Проте на практиці існує суттєве протиріччя між широким спектром наявних програмних засобів (віртуальні лабораторії, AR, ШІ) та недостатнім рівнем методичної підготовки вчителів до їх використання [4], а також технічними обмеженнями закладів освіти. Вирішення цієї проблеми потребує детального аналізу доступності інструментів та розробки адаптивних методик їх впровадження [5].

Мета і завдання дослідження

Мета роботи полягає у здійсненні комплексного аналізу доступності та дидактичної ефективності сучасних цифрових інструментів хімічної освіти, а також у розробці методичних рекомендацій щодо їх впровадження у навчальний процес закладів загальної середньої освіти.

Для досягнення мети поставлено такі **завдання**:

- ✓ Проаналізувати психолого-педагогічні та методичні засади використання ІКТ у природничій освіті.
- ✓ Класифікувати сучасні цифрові засоби (віртуальні лабораторії, 3D-візуалізатори, AR-додатки) та здійснити їх порівняльний аналіз за критеріями технічної доступності та ефективності.

- ✓ Експериментально дослідити стан використання цифрових інструментів вчителями хімії, виявити основні бар'єри впровадження та вплив на мотивацію учнів.
- ✓ Розробити методичні рекомендації для вчителів щодо інтеграції цифрових ресурсів та штучного інтелекту в різні типи уроків .

Об'єкт дослідження – процес навчання хімії в закладах загальної середньої освіти.

Предмет дослідження – методичні умови використання та критерії відбору сучасних цифрових інструментів для підвищення ефективності хімічної освіти.

Методи дослідження

Теоретичні: аналіз наукової літератури, класифікація, порівняння – для визначення функціональних можливостей цифрових засобів.

Емпіричні: анкетування вчителів, педагогічне спостереження – для збору даних про стан впровадження ІКТ.

Статистичні: обробка результатів опитування для забезпечення достовірності висновків.

Практичне значення одержаних результатів

Практична значущість роботи полягає у розробці науково обґрунтованих методичних рекомендацій та систематизованого каталогу цифрових ресурсів, адаптованих до умов української школи. Розроблено алгоритми використання безкоштовних україномовних ресурсів (PhET, MolView) для візуалізації хімічних процесів, що може бути безпосередньо використано вчителями-практиками. Сформульовано рекомендації щодо етичного використання інструментів штучного інтелекту (ChatGPT) для розвитку критичного мислення учнів. Матеріали дослідження можуть бути використані при підготовці вчителів хімії, на курсах підвищення кваліфікації та безпосередньо у навчально-виховному процесі.

Апробація та впровадження роботи

Результати кваліфікаційної роботи доповідалися на звітній науковій конференції студентів і магістрантів Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка (травень 2025 р.). За результатами роботи опубліковано статтю у Магістерському науковому віснику Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка.

Обсяг і структура кваліфікаційної роботи

Кваліфікаційна робота викладена на 42 стор. друкованого тексту і складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку цитованої літератури з 36 джерел, з яких латиницею – 19, містить 1 таблицю та, 2 рисунки.

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ХІМІЧНІЙ ОСВІТІ

1.1. Роль та місце цифрових інструментів у сучасній парадигмі природничої освіти

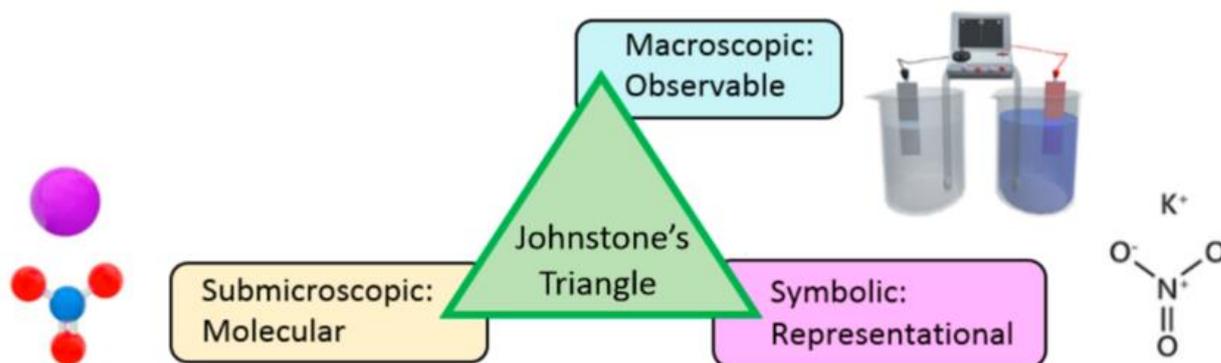
На сучасному етапі реформування освітньої галузі України, що відбувається в контексті концепції «Нової української школи», спостерігається фундаментальна зміна педагогічної парадигми [3]. Відбувається перехід від традиційної знанневої моделі, орієнтованої на репродуктивне відтворення інформації, до компетентнісного підходу [6]. У цій системі координат пріоритетним стає не обсяг засвоєних фактів, а здатність здобувача освіти критично осмислювати інформацію, оперувати нею та ефективно застосовувати набуті знання для вирішення практичних задач у реальному житті.

Хімія як навчальна дисципліна посідає особливе місце у природничому циклі через свою специфічну дуалістичну природу. З одного боку, це експериментальна наука, що вивчає речовини та їх перетворення. З іншого – вона вимагає від учнів високого рівня абстрактного мислення, оскільки розуміння спостережуваних явищ неможливе без усвідомлення процесів, що відбуваються на невидимому для людського ока рівні мікросвіту (рух електронів, розрив хімічних зв'язків, перебудова кристалічних ґраток) [7]. Саме цей розрив між спостережуваним та абстрактним часто стає причиною когнітивних труднощів у школярів. У цьому контексті цифровізація хімічної освіти розглядається не як данина моді, а як методологічна необхідність. Цифрові інструменти трансформувалися з допоміжних засобів наочності (функція «електронного плаката») у невіддільний компонент навчального екосередовища, що дозволяє подолати обмеження традиційних методик.

Аналіз сучасної науково-педагогічної літератури [7-9] дозволяє виділити ключові тенденції та функції впровадження інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у процес навчання хімії:

1. *Візуалізація невидимого (Immersive Visualization)*. Традиційні поліграфічні засоби (підручники, таблиці) пропонують учням статичні 2D-моделі, які не здатні передати динаміку хімічних процесів. Цифрові інструменти забезпечують перехід до динамічних 3D-симуляцій, дозволяючи візуалізувати механізми реакцій у часі, просторову будову молекул та природу хімічного зв'язку. Це сприяє формуванню адекватних ментальних моделей мікросвіту.
2. *Інтерактивність та діяльнісний підхід*. Використання ІКТ докорінно змінює роль здобувача освіти: з пасивного спостерігача він перетворюється на активного дослідника (inquiry-based learning). Інтерактивні симулятори дозволяють учневі втручатися в хід віртуального експерименту, змінювати параметри (температуру, концентрацію, тиск) і миттєво спостерігати наслідки своїх дій, що формує причинно-наслідкове мислення.
3. *Персоналізація навчання*. Інтеграція систем управління навчанням (LMS) та адаптивних тестувань дозволяє реалізувати індивідуальну освітню траєкторію. Система може автоматично підлаштовувати темп подачі матеріалу та рівень складності завдань під конкретні потреби учня, забезпечуючи диференційований підхід.
4. *Безпека та економічна ефективність*. Віртуальні лабораторії відкривають доступ до експериментів, проведення яких у шкільних умовах є неможливим через високу токсичність реагентів, вибухонебезпечність або високу вартість обладнання. Це дозволяє розширити експериментальну базу курсу хімії без ризику для здоров'я учасників освітнього процесу.

Особливого значення використання цифрових інструментів набуває в контексті концепції «хімічного трикутника», запропонованої Алексом Джонстоном (Johnstone's Triangle) [10]. Згідно з цією теорією, повноцінне розуміння хімії вимагає одночасного оперування поняттями на трьох рівнях [1]]:



- *Макроскопічний рівень*: те, що ми бачимо, відчуваємо на дотик або запах (наприклад, зміна кольору розчину, виділення газу, випадання осаду).
- *Субмікроскопічний (мікроскопічний) рівень*: пояснення явищ через поведінку частинок – атомів, молекул, йонів.
- *Символьний (репрезентативний) рівень*: запис процесів за допомогою хімічних формул, рівнянь, графіків та математичних розрахунків.

Традиційне навчання часто перевантажує робочу пам'ять учня, змушуючи його самостійно вибудовувати зв'язки між цими рівнями. Учитель демонструє дослід (макро), пише рівняння на дошці (символ), але мікрорівень залишається лише в уяві, яка у багатьох учнів недостатньо розвинена.

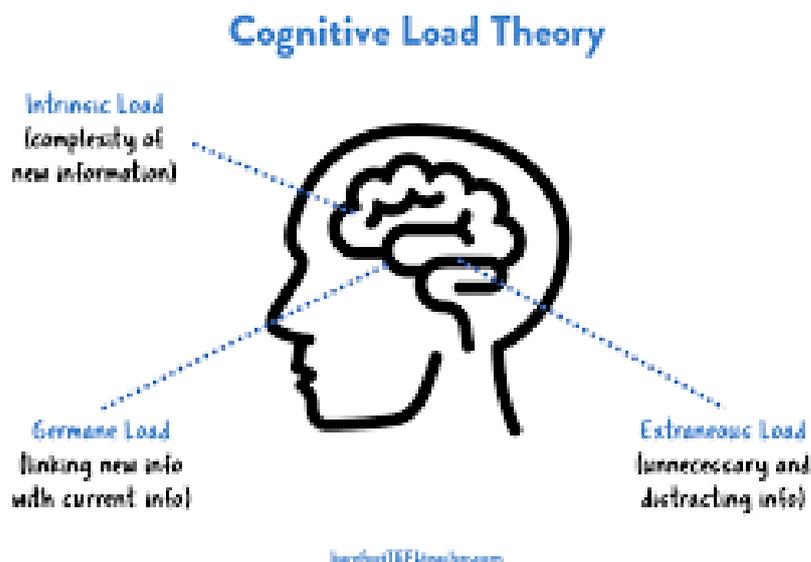
Унікальність сучасних мультимедійних систем полягає в їхній здатності інтегрувати всі три рівні Джонстона в одному інтерфейсі. Наприклад, під час роботи з віртуальною лабораторією учень може «змішувати» розчини у колбі (макрорівень), одночасно бачити у спливаючому вікні анімацію зіткнення частинок (мікрорівень) та динамічну зміну хімічного рівняння і графіків концентрацій (символьний рівень). Така синхронізація (Multiple Representations) значно знижує когнітивне навантаження і сприяє глибшому концептуальному розумінню предмета [12].

Таким чином, цифрові інструменти у сучасній парадигмі природничої освіти виступають не лише як засіб передачі інформації, а як потужний когнітивний інструмент, що забезпечує синергію між теоретичним, експериментальним та візуальним компонентами навчання хімії.

1.2. Психолого-педагогічні аспекти сприйняття навчального матеріалу з хімії

Ефективність впровадження цифрових інструментів у процес навчання хімії не може розглядатися виключно з технічної точки зору. Фундаментом успішної інтеграції ІКТ є врахування закономірностей когнітивної психології, оскільки хімія як навчальна дисципліна характеризується високим рівнем абстракції, що створює значне навантаження на когнітивну сферу здобувача освіти.

Центральне місце у розумінні процесів сприйняття складного хімічного контенту посідає теорія когнітивного навантаження (Cognitive Load Theory – CLT), розроблена Дж. Свеллером [13].



Згідно з цією теорією, робоча пам'ять людини має обмежену пропускну здатність. При вивченні хімії учень стикається з трьома типами навантаження, баланс яких визначає успішність навчання:

1. *Внутрішнє навантаження* (Intrinsic Load): Визначається складністю самого матеріалу (наприклад, необхідність одночасно утримувати в пам'яті валентності елементів, правила розстановки коефіцієнтів та сутність реакції). Цифрові інструменти не можуть змінити суть хімії, але можуть структурувати подачу матеріалу (сегментація), роблячи його доступнішим.

2. *Зовнішнє навантаження* (Extraneous Load): Пов'язане зі способом подачі інформації. Невдало спроектовані навчальні матеріали (наприклад, статичні схеми у підручнику, що вимагають значних зусиль для просторової уяви) збільшують це навантаження. Мета мультимедіа – мінімізувати зовнішнє навантаження шляхом якісної візуалізації [14].
3. *Релевантне навантаження* (Germane Load): Зусилля, спрямовані безпосередньо на засвоєння та створення нових ментальних схем. Інтерактивні завдання повинні максимізувати саме цей тип навантаження.

На основі CLT та аналізу психолого-педагогічної літератури можна виділити ключові фактори, що впливають на сприйняття хімічних знань у цифровому середовищі:

1. *Принцип подвійного кодування* (Dual Coding Theory). Відповідно до теорії А. Пайвіо, людський мозок має два окремі канали обробки інформації: візуальний (зображення) та вербальний (текст/звук). Традиційне навчання часто перевантажує вербальний канал [15]. Мультимедійні хімічні симулятори реалізують принцип подвійного кодування, подаючи інформацію паралельно: учень бачить анімацію руху молекул (візуальний канал) і одночасно слухає пояснення або читає лаконічний текст (вербальний канал). Така синергія збільшує ймовірність переходу інформації з робочої пам'яті у довготривалу та сприяє глибшому розумінню абстрактних понять (наприклад, механізму гібридизації електронних орбіталей).

2. *Інтерактивність та феномен миттєвого зворотного зв'язку*. З точки зору біхевіоральної психології та теорії оперантного обумовлення, ефективність навчання залежить від швидкості підкріплення дії. У традиційній системі часовий проміжок між виконанням завдання (наприклад, контрольної роботи) та отриманням оцінки може складати від кількох днів до тижня, що руйнує асоціативний зв'язок між дією та результатом [16]. Цифрові платформи забезпечують миттєвий зворотний зв'язок (feedback). Повідомлення системи на кшталт «Реакція неможлива через недостатню енергію активації» або візуалізація вибуху при неправильному змішуванні реагентів у віртуальній

лабораторії дозволяють учневі миттєво скоригувати свою ментальну модель та сформувані стійкі нейронні зв'язки. Це трансформує помилку з індикатора неуспішності на інструмент пізнання.

3. *Гейміфікація та мотиваційна сфера.* Гейміфікація (Gamification) у навчанні хімії виходить за межі простої розваги і базується на нейробіологічних механізмах. Впровадження ігрових механік (системи досягнень, прогрес-барів, рівнів складності) стимулює дофамінову активність лімбічної системи мозку [17]. Це створює «ситуацію успіху» та підтримує внутрішню мотивацію до вивчення складних, рутинних тем (наприклад, номенклатури органічних сполук чи запам'ятовування Періодичної таблиці хімічних елементів) [18]. Крім того, ігровий контекст знижує рівень навчальної тривожності, яка часто блокує когнітивні процеси при вивченні точних наук.

Попри переваги, некритичне використання мультимедіа несе психолого-педагогічні ризики. Дослідження вказують на так званий «ефект звабливих деталей» (seductive details effect), коли надмірно яскраві, емоційно насичені, але педагогічно несуттєві елементи анімації відвертають увагу від основного навчального змісту [19]. Це призводить до розсіювання уваги (split-attention effect) і когнітивного перевантаження: учень запам'ятовує візуальний ефект, але не розуміє хімічного принципу, що лежить в його основі.

Отже, проектування цифрового освітнього середовища з хімії вимагає суворого дотримання принципу педагогічної доцільності, де візуалізація та інтерактивність слугують меті зниження когнітивного навантаження, а не його збільшення через надлишкову сенсорну стимуляцію.

1.3. Класифікація сучасних цифрових засобів навчання хімії

Різноманіття існуючих програмних продуктів та веб-ресурсів для хімічної освіти вимагає чіткої систематизації для визначення їхнього місця в методичній системі вчителя. У науково-методичній літературі найбільш доцільним вважається підхід до класифікації за функціональним

призначенням, що дозволяє виокремити п'ять основних кластерів цифрових інструментів [20].

1. *Програмні засоби візуалізації та молекулярного моделювання.* Ця група інструментів є критично важливою для подолання бар'єру абстракції при вивченні мікросвіту. Вони забезпечують перехід від символічного рівня (плоскі формули) до реалістичного мікроскопічного представлення. Програми дозволяють будувати, редагувати та переглядати 3D-структури молекул, досліджувати кристалічні ґратки, електронні хмари та ізомерію.

До цієї групи належать редактори ChemSketch та ChemDraw, які є стандартом для створення хімічних формул та рівнянь [21]. Для 3D-візуалізації використовуються Avogadro [22] та онлайн-ресурс MolView, що дозволяють обертати молекули, вимірювати кути зв'язків та завантажувати структури з кристалографічних баз даних.

Дидактична цінність таких засобів полягає у розвитку просторового мислення та візуалізації складних понять стереохімії, які неможливо повноцінно продемонструвати на дошці.

2. *Віртуальні хімічні лабораторії (Virtual Chemical Labs – VCL).* Це інтерактивні середовища, що імітують умови реального хімічного експерименту. Вони виступають безпечною альтернативою або доповненням до натурального експерименту.

Дозволяють симуляції процесів вибору лабораторного посуду, змішування реагентів, нагрівання та фіксації результатів (зміна кольору, виділення газу, утворення осаду). Важливою особливістю є можливість математичного моделювання ідеальних умов експерименту.

Найвідомішим представником є платформа PhET Interactive Simulations, яка пропонує дослідницький підхід до навчання [9]. Для більш складних, наближених до професійних досліджень сценаріїв, використовується платформа Labster, що дозволяє виконувати віртуальні місії з використанням дороговартісного обладнання [23].

Такі засоби сприяють формуванню процедурних знань, даючи можливість безпечного проведення небезпечних дослідів (наприклад, з токсичними речовинами) та економії реактивів [24].

3. *Інструменти доповненої (AR) та віртуальної (VR) реальності.* Це новітня група засобів, що забезпечує імерсивність (ефект присутності) навчального процесу [25].

AR (Augmented Reality) дозволяє накладати цифрові об'єкти (наприклад 3D-моделі молекул) на зображення реального світу через камеру смартфона або планшета.

VR (Virtual Reality): Повне занурення учня у змодельоване тривимірне середовище (наприклад, "всередину" клітини або хімічного реактора) за допомогою спеціальних шоломів.

До цієї категорії відносять додатки типу Arloon Chemistry або комплекси MEL Science, які дозволяють "тримати" молекули в руках або спостерігати за реакцією на атомному рівні [26]. Вище вказані засоби цінні в плані підвищення емоційного залучення та унаочнення процесів, недоступних для безпосереднього спостереження.

4. *Сервіси для контролю знань та гейміфікації.* Ці інструменти трансформують процес перевірки знань з рутинної процедури на захоплююче змагання, забезпечуючи миттєвий зворотний зв'язок. За їх допомогою можна створювати інтерактивні тести, вікторини та опитування, де учні використовують власні гаджети для відповідей. Результати обробляються автоматично в реальному часі.

Найпопулярнішими платформами є Kahoot!, Quizizz, Mentimeter та LearningApps [27]. Вони дозволяють проводити "експрес-бої" та формувальне оцінювання. Дана група засобів сприяє підвищенню мотивації через елементи змагальності, швидкій діагностиці прогалин у знаннях та залученню всього класу до роботи.

5. *Довідково-інформаційні та обчислювальні ресурси* Цифрові бази даних, що замінюють паперові довідники, надаючи доступ до актуальної наукової

інформації. Забезпечують швидкий пошук фізико-хімічних констант, спектрів, токсикологічних даних та автоматичне розв'язування розрахункових задач.

Сюди відносяться інтерактивні Періодичні таблиці (наприклад, Ptable), бази даних PubChem (для візуалізації структур) та обчислювальні системи типу WolframAlpha, здатні балансувати складні рівняння. Дані засоби сприяють розвитку інформаційної компетентності, навичок роботи з великими даними та перевірка достовірності інформації.

Така класифікація дозволяє вчителю хімії комплексно підходити до вибору засобів навчання, комбінуючи їх залежно від етапу уроку та дидактичної мети (пояснення нового матеріалу, лабораторний практикум чи контроль знань).

РОЗДІЛ 2.

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ДОСТУПНОСТІ ЦИФРОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ

2.1. Критерії оцінювання цифрових засобів навчання хімії

Ефективність використання мультимедійних систем (ММС) у навчальному процесі визначається не самим фактом їх наявності, а якістю та доцільністю їх застосування. Враховуючи різноманіття доступних програмних продуктів, для проведення педагогічного експерименту та формування методичних рекомендацій необхідно сформулювати чітку систему критеріїв відбору цифрових інструментів [28].

Спираючись на аналіз психолого-педагогічної літератури та технічних характеристик сучасних ММС, ми виокремлюємо чотири групи критеріїв оцінювання: техніко-ергономічні, економічні, лінгвістичні та дидактико-методичні.

1. *Техніко-ергономічні критерії.* Ця група визначає можливість фізичного використання засобу в умовах реального освітнього закладу, де матеріально-технічна база може суттєво варіюватися.

- ✓ *Апаратна доступність (Hardware Requirements).* Оцінюється вимогливість програмного забезпечення (ПЗ) до ресурсів комп'ютера. Важливим аспектом є кросплатформність – здатність працювати на різних операційних системах (Windows, Android, iOS). Пріоритет надається рішенням на базі HTML5, які запускаються у браузері без встановлення додаткового ПЗ.
- ✓ *Якість та ергономічність інтерфейсу.* Критерій передбачає оцінку зручності навігації, чіткості зображення та якості звуку. Важливою є помірність анімаційних ефектів, щоб уникнути когнітивного перевантаження учнів.

2. *Економічні критерії.* В умовах обмеженого фінансування освітніх закладів цей фактор часто стає вирішальним при виборі інструментарію вчителем.

Модель ліцензування.

- ✓ *Open Source / Free.* Повністю безкоштовні ресурси, доступні для широкого загалу (наприклад, проєкт PhET).
- ✓ *Freemium.* Умовно-безкоштовні сервіси, де базовий функціонал доступний вільно, а розширені можливості (наприклад, VR-режим або аналітика класу) потребують підписки.
- ✓ *Commercial.* Платні платформи (наприклад, Labster), доцільність закупівлі яких має бути обґрунтована унікальністю функціонала, який неможливо відтворити безкоштовними аналогами.

3. *Лінгвістичні критерії (культурна адаптація).* Для забезпечення інклюзивності та розуміння матеріалу всіма учнями, незалежно від рівня володіння іноземними мовами, критично важливим є мовна локалізація.

Наявність української мови: Перевага надається ресурсам, що мають офіційний український переклад інтерфейсу та методичних матеріалів (як, наприклад, PhET, що підтримує багатомовність, включаючи українську). Використання англомовних ресурсів можливе за умови інтеграції з методами CLIL (Content and Language Integrated Learning), проте це вимагає додаткової підготовки вчителя [29].

4. *Дидактико-методичні та змістові критерії.* Це ключова група критеріїв, що визначає відповідність цифрового засобу цілям навчання.

- ✓ *Наукова достовірність.* Контент (моделі молекул, механізми реакцій) повинен відповідати сучасним науковим теоріям та не містити фактичних помилок.
- ✓ *Методична доцільність.* Інструмент має відповідати віковим особливостям учнів та навчальній програмі (календарному плануванню). Контент не повинен бути надто спрощеним (що призводить до хибних уявлень) або надмірно академічним (що демотивує учнів).

- ✓ *Потенціал для інтерактивності.* Оцінюється здатність ПЗ забезпечувати активну взаємодію (маніпуляцію змінними, зворотний зв'язок), а не лише пасивний перегляд.

Застосування даної матриці критеріїв дозволяє відсіяти технічно застарілі або методично необґрунтовані засоби та відібрати найбільш ефективні інструменти для реалізації експериментальної методики.

2.2. Віртуальні хімічні лабораторії та симуляції

У системі цифрових засобів навчання хімії центральне місце посідають віртуальні хімічні лабораторії (ВХЛ) та інтерактивні симуляції. Ця група інструментів виконує критично важливу функцію заміщення або доповнення натурального експерименту, дозволяючи моделювати процеси, які в умовах шкільного кабінету є неможливими через технічні обмеження або ризики безпеки.

Для визначення оптимального інструментарію для впровадження у навчальний процес нами проаналізовано три категорії платформ, що відрізняються за рівнем імерсивності, методичною метою та доступністю.

1. Інтерактивні симуляції концептуального типу (на прикладі PhET Interactive Simulations).

Платформа PhET (Physics Education Technology), розроблена Університетом Колорадо в Боулдері, є найбільш поширеним інструментом у світовій педагогічній практиці. Симуляції PhET базуються на дослідницькому підході (inquiry-based learning). Їхня головна мета – не відтворити точну копію лабораторного столу, а візуалізувати концепцію. Вони дозволяють учням маніпулювати змінними та отримувати миттєвий візуальний зворотний зв'язок. Це робить їх ідеальними для вивчення тем, що вимагають розуміння мікросвіту: «Будова атома», «Кінетика реакцій» (теорія зіткнень), «рН середовища».

Платформа є безкоштовною та веб-орієнтованою (більшість симуляцій переведено на HTML5), що дозволяє використовувати її на будь-яких пристроях, включаючи смартфони та планшети. Наявність якісного перекладу

українською мовою значно полегшує інтеграцію в навчальний процес вітчизняних шкіл.

Проте, симуляції PhET представляють собою моделі ідеальних процесів. Вони спрощують реальність для кращого розуміння теорії, тому не можуть повноцінно сформувати навички поводження з реальним хімічним посудом чи технікою безпеки.

2. Процедурні віртуальні лабораторії (на прикладі ChemCollective).

На відміну від концептуальних симуляцій, платформи типу ChemCollective (проект Університету Карнегі-Меллон) імітують робоче місце хіміка.

Це повноцінна віртуальна лабораторія, де учень має самостійно обрати необхідний посуд (колби, піпетки, бюретки), взяти реактиви з «полиці» та змішати їх у правильних пропорціях. Платформа орієнтована на формування процедурних знань та навичок кількісного аналізу. Вона є незамінною при вивченні тем «Приготування розчинів заданої концентрації», «Стехіометрія» та «Титрування», вимагаючи від учня проведення математичних розрахунків, а не просто спостереження за анімацією.

Перевагами платформи є високий рівень реалізму в логіці проведення експерименту (наприклад, неможливість отримати результат, якщо забув додати індикатор).

На жаль, інтерфейс платформи може сприйматися сучасними учнями як застарілий. Відсутність повної української локалізації та вищий поріг входження (складність інтерфейсу) обмежують її використання у класах з низьким рівнем мотивації або мовної підготовки.

3. Імерсивні VR-лабораторії та високотехнологічні симулятори (MEL Science, Labster, VRLab Academy).

Ця група представляє сегмент комерційних високотехнологічних продуктів, що забезпечують максимальний ефект присутності.

Такі платформи, як Labster або MEL Science, пропонують високореалістичні 3D-симуляції, часто структуровані як наукові місії або

квести. Вони дозволяють учням потрапити у віртуальне середовище професійної лабораторії з дорогим обладнанням (центрифуги, спектрофотометри), яке недоступне школі. Гейміфікація та сюжетні лінії (наприклад, «розслідування екологічної катастрофи») забезпечують високу мотивацію.

Перевагами цих платформ є полісенсорність та візуальна досконалість графіки, можливість безпечно проводити небезпечні експерименти з можливістю багаторазового повторення, а вбудовані віртуальні асистенти забезпечують постійний супровід.

Головним бар'єром для масового впровадження є економічний фактор: висока вартість ліцензій (підписки) та необхідність спеціального обладнання (шоломи віртуальної реальності для MEL/VRLab або потужні ПК для Labster) роблять ці рішення доступними переважно для спеціалізованих ліцеїв або приватних шкіл.

Порівняльний аналіз показує, що для масового впровадження в умовах української школи найбільш доцільним є використання платформ типу PhET Interactive Simulations. Попри певну ідеалізацію процесів, вони відповідають критеріям безкоштовності, технічної доступності та мовної адаптації, що дозволяє системно використовувати їх у педагогічному експерименті. Платформи рівня ChemCollective доцільно використовувати для поглибленого вивчення хімії, а VR-рішення – як елемент позакласної роботи або факультативів за наявності відповідного фінансування.

2.3. Засоби молекулярного моделювання та візуалізації

Специфіка хімії як навчальної дисципліни полягає в необхідності оперувати поняттями на мікроскопічному рівні, який є недоступним для безпосереднього спостереження. Розуміння властивостей речовин неможливе без усвідомлення їхньої просторової будови, оскільки такі явища, як стереоізомерія, комплементарність біополімерів чи утворення водневих зв'язків, мають виключно просторову природу.

Засоби комп'ютерного молекулярного моделювання дозволяють вирішити проблему візуалізації, забезпечуючи перехід від абстрактних хімічних формул (символічний рівень) до наочних 3D-об'єктів (мікроскопічний рівень). У рамках дослідження нами проаналізовано три програмні продукти, що найбільш ефективно використовуються в освітньому процесі: MolView, Avogadro та ACD/ChemSketch.

1. Хмарні засоби експрес-візуалізації (на прикладі MolView).

MolView – це веб-орієнтований інструмент з відкритим вихідним кодом, що поєднує можливості графічного редактора та бази даних хімічних сполук [30]. Головною перевагою MolView є відсутність необхідності встановлення програмного забезпечення – сервіс працює безпосередньо у браузері на будь-якому пристрої (ПК, планшет, смартфон). Інструмент інтегрований з глобальними базами даних PubChem та RCSB PDB, що дозволяє миттєво завантажувати як прості молекули, так і складні білкові структури. Алгоритм програми дозволяє автоматично перетворювати намальовану 2D-структурну формулу у обертову 3D-модель. Інструмент є оптимальним для використання в 7-9 класах та під час групової роботи на уроці завдяки низькому порогу входження ("намалював – побачив"). Він ідеально підходить для вивчення тем органічної хімії та біохімії, дозволяючи учням досліджувати конформації молекул та ізомерію в реальному часі.

2. Спеціалізоване ПЗ для наукового моделювання (на прикладі Avogadro)

Avogadro – це потужний кросплатформний редактор молекул, призначений для поглибленого моделювання та обчислювальної хімії.

Програма вимагає встановлення на персональний комп'ютер. На відміну від веб-переглядачів, Avogadro дозволяє не лише будувати молекули атом за атомом, але й виконувати розрахунки: оптимізувати геометрію молекули (знаходити найбільш енергетично вигідне положення атомів), розраховувати довжини зв'язків, валентні кути та розподіл енергії. Це дозволяє демонструвати, чому молекули мають саме таку форму, а не іншу.

Засіб ефективний при роботі з учнями профільних (10-11) класів та під час підготовки до олімпіад. Засіб дозволяє формувати глибоке розуміння природи хімічного зв'язку та стереохімії (наприклад, різниця між цис- і транс-ізомерами).

Проте, вища складність інтерфейсу робить його менш доцільним для використання у базовій школі (7-9 класи), де надмірний функціонал може відволікати від суті завдання.

3. *Засоби формування символної компетентності* (на прикладі ACD/ChemSketch) [31].

ACD/ChemSketch (Freeware версія) – це спеціалізоване програмне забезпечення, яке є «золотим стандартом» для створення хімічної документації. Програма спеціалізується на високоякісному кресленні хімічних структур, схем реакцій та лабораторних установок. Вона містить велику бібліотеку шаблонів (ароматичні системи, лабораторний посуд) та інструменти для автоматичної номенклатури за правилами IUPAC. Функція 3D-перегляду є допоміжною, але дозволяє швидко оцінити просторову будову намальованої структури. Основна цінність полягає у формуванні символної компетентності учнів – уміння правильно зображати формули органічних та неорганічних сполук. Це незамінний інструмент для оформлення учнівських науково-дослідницьких робіт (МАН), звітів та презентацій.

Таким чином, вибір засобу моделювання залежить від дидактичної мети: для швидкої демонстрації та фронтальної роботи доцільно використовувати MolView, для дослідницьких проєктів та поглибленого вивчення стереохімії – Avogadro, а для розвитку навичок графічного представлення хімічної інформації – ChemSketch. Комплексне використання цих засобів дозволяє сформувати в учнів цілісну картину хімічного світу.

2.4. Мобільні додатки та технології доповненої реальності (AR)

Стрімкий розвиток мобільних технологій та їх всепроникнення у повсякденне життя учнів зумовили появу концепції m-learning (мобільного навчання). У методиці викладання хімії цей підхід найчастіше реалізується

через модель BYOD (Bring Your Own Device – «принеси власний пристрій») [32]. Ця стратегія передбачає використання особистих смартфонів або планшетів учнів як повноцінних інструментів для навчання, що дозволяє вирішити проблему недостатнього матеріально-технічного забезпечення шкіл та забезпечує безперервність освітнього процесу.

Впровадження мобільних застосунків у навчання хімії можна розділити на два основні напрями: інтерактивні довідкові системи та засоби доповненої реальності.

1. *Інтерактивні довідкові системи* (на прикладі додатків «Періодична система»)

Сучасні мобільні додатки, такі як Talbica або адаптовані веб-версії Ptable, трансформували Періодичну систему з довідкової таблиці на потужну інформаційно-аналітичну систему. На відміну від паперових аналогів, цифрові додатки забезпечують багаторівневу взаємодію з інформацією. Окрім базових даних (атомна маса, електронна конфігурація), вони містять вбудовані медіа-галереї (фотографії простих речовин, відео демонстрації хімічних властивостей елементів), графіки температурних залежностей та інтерактивні схеми електронних оболонок. Такі інструменти сприяють формуванню інформаційної компетентності. Учень отримує інструмент для миттєвої верифікації даних та поглибленого вивчення властивостей елементів. Відеосупровід дозволяє побачити реакції активних металів або галогенів, демонстрація яких у класі може бути небезпечною.

Додатки також дозволяють візуалізувати зміну властивостей елементів у періодах та групах (наприклад, зміна радіуса атома) через динамічні графіки допомагає учням зрозуміти періодичний закон на концептуальному рівні.

2. *Технології доповненої реальності (AR) у навчанні хімії*

Доповнена реальність (Augmented Reality – AR) – це технологія, що дозволяє накладати комп'ютерно-генеровані об'єкти (3D-моделі молекул, кристалічних ґраток) на зображення реального світу в режимі реального часу за допомогою камери смартфона. Яскравими представниками цієї групи є

додатки Arloon Chemistry або Da Vinci. Головною перевагою AR-технологій є високий рівень емоційного залучення. Можливість «побачити» та «потримати» на долоні об'ємну молекулу метану або складну структуру білка викликає в учнів захоплення, що значно підвищує внутрішню мотивацію до навчання. Це дозволяє подолати психологічний бар'єр сприйняття хімії як «нудної» науки. AR є незамінним інструментом для розвитку просторового мислення. Вона дозволяє візуалізувати абстрактні поняття стереохімії, демонструючи молекули з усіх боків без необхідності використання фізичних конструкторів. Учень може обійти віртуальну модель, наблизити її, зазирнути всередину кристалічної ґратки, що забезпечує імерсивність навчання. Попри високу ефективність, масове впровадження AR стримується низкою факторів. Більшість якісних додатків (Arloon) є платними, що ускладнює їх централізовану закупівлю. Крім того, коректна робота AR вимагає наявності у смартфонів гіроскопів та підтримки технологій ARCore/ARKit, які можуть бути відсутніми у бюджетних моделях телефонів учнів.

Мобільні додатки та технології AR є перспективним напрямом цифровізації хімічної освіти. Вони перетворюють смартфон з об'єкта, що відволікає, на персональну мобільну лабораторію та довідник. Однак їх використання вимагає від учителя чіткого дотримання балансу: «вау-ефект» від візуалізації повинен трансформуватися у стійкий пізнавальний інтерес, а не залишатися на рівні розваги.

2.5. Використання штучного інтелекту (AI) в хімічній освіті

Одним із найбільш значущих трендів розвитку освітніх технологій (EdTech) останніх років є стрімка інтеграція інструментів на базі генеративного штучного інтелекту (Generative AI). Впровадження великих мовних моделей (Large Language Models – LLM), таких як ChatGPT (OpenAI), Claude (Anthropic) та Gemini (Google), відкриває принципово нові можливості для персоналізації навчання хімії, але водночас ставить перед педагогічною спільнотою низку етичних та методичних викликів [33-35].

У контексті викладання хімії використання ШІ доцільно розглядати у двох площинах: як інструмент для вчителя та як персональний асистент для учня.

1. Функціональні можливості LLM у навчанні хімії.

Персоналізований тьютор (AI-Tutor). ШІ здатний виконувати роль індивідуального репетитора, доступного 24/7. Моделі можуть адаптувати пояснення складних абстрактних понять (наприклад, ентропія, гібридизація орбіталей, механізм нуклеофільного заміщення) під рівень знань конкретного учня, використовуючи аналогії та спрощення. Це дозволяє реалізувати диференційований підхід, коли сильний учень отримує поглиблене пояснення, а учень, що має прогалини в знаннях, – базове.

Генерація навчального контенту. Для вчителя ШІ стає потужним інструментом економії часу. Системи здатні миттєво генерувати унікальні набори розрахункових задач за заданими параметрами (наприклад, «Створи 10 задач на надлишок з використанням солей кальцію»), розробляти сценарії для проблемного навчання, тестові завдання різних форматів та навіть плани-конспекти уроків.

Допомога у вирішенні задач та написанні рівнянь. Сучасні моделі (особливо версії GPT-4 або Claude 3.5 Sonnet) демонструють високу точність у розстановці коефіцієнтів у складних окисно-відновних реакціях, номенклатурі органічних сполук та проведенні стехіометричних розрахунків.

2. Аналіз основних інструментів.

ChatGPT (OpenAI): Найбільш універсальний інструмент. Версія GPT-4o здатна аналізувати зображення (наприклад, фотографію рукописної формули) та знаходити помилки в розв'язанні задачі.

Claude (Anthropic): Відзначається високою здатністю до обробки великих обсягів тексту та меншою схильністю до «галюцинацій», що робить його ефективним для аналізу наукових статей або методичних матеріалів.

Gemini (Google): Має перевагу інтеграції з сервісами Google (Docs, Classroom) та пошуковою системою, що дозволяє отримувати більш актуальну інформацію порівняно з моделями, база знань яких обмежена певною датою.

Нами проведений SWOT-аналіз впровадження генеративного штучного інтелекту (ChatGPT, Gemini) у навчання хімії:

STRENGTHS (Сильні сторони):

- ✓ Персоналізований тьюторинг: ШІ може пояснювати складні теми (наприклад, гібридизацію орбіталей) різними словами нескінченну кількість разів, адаптуючись до рівня знань учня.
- ✓ Генерація завдань: вчитель може за лічені секунди створити 20 унікальних варіантів задач на стехіометрію, що унеможлиблює списування.
- ✓ Доступність 24/7: учень отримує допомогу у розв'язанні домашнього завдання в будь-який час.

WEAKNESSES (Слабкі сторони):

- ✓ Ризик «галюцинацій»: ШІ може вигадувати неіснуючі хімічні реакції або неправильно вказувати валентність елементів, подаючи це як факт.
- ✓ Текстова природа: хімія – візуальна наука, а текстові моделі (LLM) поки що погано справляються з побудовою структурних формул або схем приладів.
- ✓ Відсутність критичного мислення: ШІ дає відповідь, але не вчить шукати шлях до неї, якщо учень просто копіює умову задачі.

OPPORTUNITIES (Можливості):

- ✓ Інтеграція з візуалізацією: поява мультимодальних моделей, які зможуть аналізувати фотографію лабораторної установки й вказувати на помилки в її складанні.
- ✓ Створення індивідуальних освітніх траєкторій: ШІ може аналізувати помилки учня і пропонувати саме ті теми, де є прогалини.

THREATS (Загрози):

- ✓ Академічна недоброчесність: легкість отримання готових відповідей може демотивувати учнів вчити теорію та проводити розрахунки самостійно.
- ✓ Втрата базових навичок: якщо ШІ завжди урівнює реакції за учня, навичка підбору коефіцієнтів може атрофуватися.

2.6. Порівняльний аналіз доступності та ефективності цифрових засобів

Завершальним етапом теоретико-методичного аналізу цифрових інструментів є їх систематизація та порівняльна характеристика. Для об'єктивізації вибору засобів навчання нами розроблено матрицю оцінювання, що базується на двох ключових параметрах:

Індекс доступності (Accessibility Score): Інтегральний показник, що враховує технічні вимоги, вартість ліцензії та наявність мовної локалізації. (Шкала 1–10, де 10 – максимальна доступність: безкоштовно, веб-інтерфейс, українська мова).

Індекс дидактичної ефективності (Effectiveness Score): Показник, що відображає здатність інструменту формувати предметні компетентності, рівень наочності та інтерактивності. (Шкала 1–10, де 10 – максимальна ефективність: повна імерсивність, наукова точність, розвиток дослідницьких навичок).

Результати порівняльного аналізу представлено у табл. 2.1.

На основі даних таблиці можна виділити три кластери інструментів, що визначають стратегію їх впровадження в освітній процес:

Кластер "Масова освіта" (Висока доступність / Висока ефективність).

До цієї групи належать PhET Interactive Simulations, MolView та платформи гейміфікації (Kahoot!). Вони отримали найвищі бали доступності (9–10) завдяки безкоштовності, відсутності необхідності встановлення ПЗ та адаптації під мобільні пристрої.

Таблиця 2.1

Зведена характеристика цифрових засобів навчання хімії

Назва інструменту	Тип платформи	Модель ліцензування	Локалізація (укр. мова)	Оцінка доступності (1-10)	Оцінка ефективності (1-10)	Примітка (основне призначення)
PhET Interactive Simulations	Web (HTML5)	Free (Open Source)	Є	10	9	Концептуальне розуміння, дослідницьке навчання
MolView	Web	Free (Open Source)	Немає (Інтуїтивна)	9	8	Експрес-візуалізація 3D-молекул
Kahoot! / Quizizz	Web / Mobile App	Freemium	Є (Інтерфейс)	9	8	Гейміфікація, перевірка знань
Avogadro	PC (Win/Mac/Linux)	Free (Open Source)	Часткова	7	9	Поглиблене молекулярне моделювання
ACD/ChemSketch	PC (Windows)	Freemium	Немає	6	8	Створення хімічної документації, формул
ChemCollective	Web	Free	Немає	6	8	Віртуальна лабораторія (процедурні навички)
Arloon Chemistry (AR)	Mobile App	Paid	Є	5	9	Візуалізація через доповнену реальність
Labster	Web / VR	Paid (Subscription)	Немає	3	10	Професійні віртуальні симуляції
Generative AI (ChatGPT/Gemini)	Web	Freemium	Є	9	7*	Генерація задач, тьюторинг (*ризик помилок)

Саме ці інструменти рекомендовані як базові для щоденного використання на уроках хімії в загальноосвітніх навчальних закладах, оскільки вони не створюють технічних бар'єрів для учнів та вчителів.

Кластер "Профільне навчання" (Середня доступність / Висока ефективність).

Сюди входять Avogadro, ChemSketch та ChemCollective. Їх використання вимагає наявності персональних комп'ютерів та певного рівня технічної підготовки користувачів (оцінка доступності 6–7). Ці засоби є найбільш доцільними для поглибленого вивчення хімії, виконання учнівських наукових проєктів (МАН) та проведення віртуальних лабораторних робіт, що вимагають точних розрахунків.

Кластер "Високі технології" (Низька доступність / Максимальна ефективність).

Інструменти типу Labster та Arloon демонструють найвищий дидактичний потенціал (9–10 балів) завдяки імерсивності та якості контенту. Проте низька оцінка доступності (3–5), зумовлена вартістю ліцензій та вимогами до апаратного забезпечення (VR-шоломи, потужні смартфони), обмежує їх використання рамками спеціалізованих гуртків або пілотних проєктів.

Проведений аналіз дозволяє стверджувати, що не існує універсального цифрового інструменту, здатного вирішити всі освітні завдання. Ефективна методика інтерактивного навчання хімії має будуватися на принципі комплементарності (доповнення): для пояснення нового матеріалу та фронтальної роботи – використовувати PhET та MolView; для закріплення та контролю – Kahoot! та Quizizz; для індивідуальної дослідницької роботи – Avogadro або ChemCollective [36].

Такий підхід дозволяє збалансувати педагогічну ефективність із технічними можливостями реальної школи, забезпечуючи якісну цифрову трансформацію хімічної освіти.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ ПРИ НАВЧАННІ ХІМІЇ

3.1. Організація та методика дослідження

З метою вивчення реального стану використання цифрових технологій у закладах загальної середньої освіти, аналізу технічної доступності та визначення ставлення педагогів до впровадження інноваційних засобів, було проведено експериментальне дослідження.

Основним методом збору емпіричних даних слугувало анкетування, реалізоване за допомогою онлайн-інструменту Google Forms. Анкета «Використання цифрових інструментів у навчанні хімії: доступність та ефективність» складалася з чотирьох змістових блоків:

Загальна інформація (стаж роботи, тип закладу).

Аналіз технічної доступності (Hardware: наявність обладнання, якість інтернет-з'єднання).

Використання програмних засобів (Software: частота використання конкретних інструментів, бар'єри впровадження).

Оцінка ефективності (вплив на успішність учнів, доцільність заміни реального експерименту віртуальним).

АНКЕТА ДЛЯ ВЧИТЕЛІВ ХІМІЇ

Використання цифрових інструментів у навчанні хімії

Шановний колего! Просимо Вас відповісти на декілька запитань, що стосуються використання цифрових технологій на уроках хімії. Опитування є анонімним, результати будуть використані для проведення педагогічного дослідження)

Блок 1. Загальна інформація

1. Ваш стаж роботи:

- до 5 років
- 5–15 років

- понад 15 років

2. Тип закладу освіти, у якому Ви працюєте:

- Заклад у м. Тернополі
- Заклад у невеликому місті
- Сільська школа

Блок 2. Аналіз технічної доступності (Hardware)

3. Яке технічне забезпечення доступне Вам на уроках хімії? (оберіть усі можливі варіанти):

- Персональний комп'ютер/ноутбук вчителя
- Мультимедійний проектор або інтерактивна дошка
- Комп'ютерний клас (1 ПК на учня)
- Планшети для учнів
- Використовуємо власні смартфони учнів (BYOD)
- Тільки дошка та крейда

4. Як Ви оцінюєте якість інтернет-з'єднання у Вашому кабінеті?

- Висока (відео та симуляції завантажуються миттєво)
- Середня (інколи бувають затримки)
- Низька (неможливо використовувати онлайн-ресурси на уроці)
- Інтернет відсутній

Блок 3. Використання програмних засобів (Software)

5. Які цифрові інструменти Ви використовуєте найчастіше? (оберіть до 3-х варіантів):

- Віртуальні лабораторії (PhET, ChemCollective)
- Сервіси для тестування (Kahoot!, На Урок, Всеосвіта)
- Інструменти візуалізації молекул (MolView, Avogadro)
- AR-додатки (доповнена реальність)
- YouTube-канали з хімічними дослідженнями
- Не використовую цифрові інструменти

6. Що найчастіше стає перешкодою для використання цифрових інструментів?

- Відсутність техніки (комп'ютерів/інтернету)
- Платний доступ до якісних програм
- Англomовний інтерфейс програм (мовний бар'єр)
- Брак часу на підготовку до уроку
- Складність у налаштуванні/освоєнні програм

Блок 4. Оцінка ефективності

7. На Вашу думку, як впливає використання віртуальних симуляцій (напр., PhET) на успішність учнів?

- Суттєво покращує розуміння складних тем
- Незначно покращує
- Не впливає (це просто розвага)
- Відволікає учнів від навчання

8. Чи вважаєте Ви, що віртуальний експеримент може повністю замінити реальний хімічний дослід?

- Так, це безпечніше і дешевше
- Тільки у випадку небезпечних або дорогих реакцій
- Ні, реальний дослід нічим не замінити

У дослідженні взяли участь 26 вчителів хімії із закладів середньої освіти різного типу м. Тернополя та Тернопільської області. Вибірка репрезентує як міські школи (обласний центр та районні центри), так і заклади освіти в сільській місцевості, що дозволило отримати об'єктивну картину щодо цифрового розриву та методичних потреб педагогів.

3.2. Аналіз технічної та методичної доступності цифрових засобів

Перший етап аналізу результатів стосувався технічного забезпечення (Hardware), яке є фундаментом для будь-якої цифрової інтеграції.

Згідно з отриманими даними, ситуація з комп'ютерним забезпеченням у кабінетах хімії залишається неоднорідною. Як свідчать результати опитування, лише незначна частина респондентів має доступ до повноцінного комп'ютерного класу (1 ПК на учня) безпосередньо на уроках хімії.

Стратегія BYOD. Варто зазначити, що 60% опитаних вчителів вказали, що використовують власні смартфони учнів (концепція BYOD – Bring Your Own Device) як основний засіб доступу до цифрового контенту. Це підтверджує тезу, висунуту у другому розділі роботи, про критичну важливість адаптації навчальних матеріалів під мобільні платформи.

Інтернет-з'єднання. Якість доступу до мережі Інтернет також варіюється. Близько третини респондентів із сільської місцевості відзначили «середню» або «низьку» якість з'єднання, що унеможлиблює використання "важких" онлайн-симуляцій у реальному часі та актуалізує потребу в офлайн-версіях програмного забезпечення.

Аналіз використання програмного забезпечення (Software) дозволив виявити найпопулярніші інструменти серед вчителів Тернопільщини:

Найбільш вживаними є сервіси для тестування (Kahoot!, На Урок), що пояснюється зручністю автоматизованої перевірки знань.

На другому місці – віртуальні лабораторії, зокрема PhET, завдяки їх безкоштовності та наявності української локалізації.

Інструменти 3D-візуалізації (MolView) використовуються рідше, переважно вчителями, які працюють у профільних класах.

Дослідження виявило основні перешкоди, що стримують цифровізацію хімічної освіти: 45% респондентів назвали головною проблемою мовний бар'єр (англомовний інтерфейс більшості якісних програм, таких як ChemCollective або окремі модулі Avogadro). Це підкреслює гостру необхідність створення україномовних інструкцій та методичних розробок.

Значна частина вчителів (понад 30%) вказала на брак часу на підготовку до уроку з використанням ІКТ, що свідчить про необхідність розробки готових сценаріїв уроків із вже інтегрованими цифровими засобами.

3.3. Дослідження ефективності цифрових засобів

Третій блок анкетування був присвячений суб'єктивній оцінці ефективності впроваджених технологій. Аналіз відповідей на питання «Як впливає використання віртуальних симуляцій на успішність учнів?» показав

позитивну динаміку: 80% вчителів визнають, що візуалізація суттєво покращує розуміння складних, абстрактних тем (зокрема, будови атома та типів хімічного зв'язку).

Лише одиниці респондентів зазначили, що цифрові інструменти відволікають учнів, що здебільшого пов'язано з відсутністю чіткої методики організації роботи з гаджетами.

Особливу увагу було приділено дискусійному питанню співвідношення реального та віртуального експерименту. Думки вчителів розподілилися наступним чином:

Абсолютна більшість педагогів погодилася, що віртуальний експеримент не може повністю замінити реальну роботу з речовинами, оскільки не формує мануальних навичок.

Водночас, респонденти одностайно підтримують використання симуляцій у випадках роботи з токсичними речовинами, вибухонебезпечними реакціями або за умов дистанційного навчання.

3.4. Методичні рекомендації щодо використання цифрових інструментів на уроках хімії

На основі аналізу виявлених проблем (п. 3.2) та результатів оцінки ефективності (п. 3.3), нами розроблено методичні рекомендації для вчителів хімії, спрямовані на оптимізацію використання цифрових засобів.

1. *Принцип «Доцільності».* Не рекомендується використовувати цифрові інструменти виключно заради візуального ефекту. Віртуальна лабораторія є доцільною там, де реальний дослід неможливий (наприклад, теми «Радіоактивність», «Квантова хімія») або небезпечний (робота з галогенами, лужними металами). Якщо існує можливість безпечно провести реальну реакцію (наприклад, взаємодія соди з оцтом), пріоритет слід надавати натурному експерименту.

2. *Подолання технічних бар'єрів (Стратегія BYOD)* Враховуючи дефіцит комп'ютерної техніки, вчителям рекомендовано активно імплементувати

стратегію BYOD (Bring Your Own Device). Веб-ресурси, такі як MolView та PhET, оптимізовані для роботи в мобільних браузерах.

Для економії навчального часу (10–15 хвилин, які зазвичай витрачаються на введення URL-адрес), вчителю варто заздалегідь створювати QR-коди з посиланнями на конкретні моделі молекул чи симуляції та розміщувати їх на роздаткових картках або мультимедійній дошці.

3. *Диференціація використання на різних етапах уроку.* Цифрові інструменти слід інтегрувати у структуру уроку дозовано:

Актуалізація знань. Використання сервісів Kahoot! або Quizizz для бліц-опитування на початку уроку (3–5 хв) для швидкої перевірки домашнього завдання.

Вивчення нового матеріалу. Демонстрація динамічних 3D-моделей кристалічних ґраток або механізмів реакцій через проектор для формування візуальних образів.

Закріплення. Винесення виконання віртуальних лабораторних робіт (наприклад, у середовищі ChemCollective) на домашнє опрацювання як альтернативи традиційним письмовим задачам.

4. *Подолання мовного бар'єру.* Для роботи з англійськими ресурсами (ChemCollective, Avogadro) рекомендується використовувати функцію автоматичного перекладу веб-сторінок у браузері Google Chrome. Також ефективним методом є створення коротких термінологічних словничків-інструкцій для учнів (наприклад: Solution = Розчин, Acid = Кислота, Precipitate = Осад), що реалізує міжпредметні зв'язки з англійською мовою.

5. *Академічна доброчесність та Штучний Інтелект.* В умовах поширення ШІ, важливо навчати учнів використовувати чат-боти (наприклад, ChatGPT) як асистентів, а не як джерело готових відповідей.

Приклад продуктивного завдання: «Попроси штучний інтелект пояснити тему "Гідроліз" для учня 5-го класу, проаналізуй відповідь та знайди в ній спрощення або неточності». Такий підхід розвиває критичне мислення та цифрову грамотність.

ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу літератури встановлено, що цифрові інструменти в хімічній освіті виступають необхідним когнітивним засобом, а не лише елементом наочності. Вони забезпечують візуалізацію мікросвіту (згідно з концепцією трикутника Джонстона), поєднуючи макроскопічний, мікроскопічний та символічний рівні, що сприяє зниженню когнітивного навантаження учнів та реалізує принцип подвійного кодування інформації.
2. Порівняльний аналіз засвідчив чіткий поділ цифрових інструментів на кластери. Для масового впровадження в українських школах найбільш оптимальними є веб-орієнтовані ресурси кластеру «Масова освіта» (PhET, MolView), які отримали найвищий індекс доступності (9–10 балів) завдяки безкоштовності та кросплатформності. Натомість високотехнологічні VR/AR-засоби (Labster, Arloon) мають обмежене застосування через економічні бар'єри, попри їхню високу дидактичну ефективність.
3. Експериментальне дослідження виявило недостатнє забезпечення шкільних кабінетів стаціонарними комп'ютерами. Проте встановлено, що 60% педагогів успішно компенсують цей дефіцит, впроваджуючи стратегію BYOD, використовуючи власні смартфони учнів як основний засіб навчання.
4. Визначено, що головними перешкодами для інтеграції цифрових технологій є не стільки технічні обмеження, скільки методичні та лінгвістичні фактори. Зокрема, 45% респондентів вказали на мовний бар'єр (англомовний інтерфейс більшості якісних програм), а понад 30% – на брак часу для підготовки контенту, що актуалізує потребу в створенні україномовних методичних адаптацій.
5. Суб'єктивна оцінка вчителів підтвердила високу ефективність візуалізації: 80% респондентів зазначили, що використання симуляцій суттєво покращує розуміння учнями абстрактних тем. При цьому педагоги одноставно погоджуються, що віртуальний експеримент не може повністю

замінити реальний, але є незамінним для моделювання небезпечних процесів або роботи з токсичними речовинами.

6. Аналіз новітніх тенденцій (SWOT-аналіз) показав, що генеративний штучний інтелект (ChatGPT, Gemini) відкриває можливості для персоналізації навчання (роль AI-тьютора) та швидкої генерації завдань для вчителя. Водночас його використання вимагає нових підходів до академічної доброчесності та розвитку критичного мислення учнів для верифікації можливих помилок системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кремень В. Г., Биков В. Ю., Ляшенко О. І., Литвинова С. Г., Луговий В. І., Мальований Ю. І., Топузов О. М. Науково-методичне забезпечення цифровізації освіти України: стан, проблеми, перспективи. *Вісник Національної академії педагогічних наук України*. 2022. №4(2). С. 1-49.
2. Сняла Ю. Застосування цифрових інструментів у навчанні хімії. *Освіта. Інноватика. Практика*. 2023 №1(4). С. 55-64.
3. Концепція реалізації державної політики у сфері реформування загальної середньої освіти «Нова українська школа» на період до 2029 року : розпорядження КМУ від 14.12.2016 р. № 988-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/988-2016-p>.
4. Овчарук О. Цифрова компетентність учителя: міжнародні тенденції та рамки. *New pedagogical thought*. 2019. №100(4). С. 52-55.
5. Коваленко В. В., Мар'єнко М. В., Сухіх А. С. Використання цифрових технологій у процесі змішаного навчання в закладах загальної середньої освіти: метод. рекоменд. Київ: ІТЗН НАПН України, 2021. 87 с.
6. Державний стандарт базової середньої освіти: постанова КМУ від 30.09.2020 р. № 898. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/898-2020-п>.
7. Самойленко П. В. Методика навчання хімії: навчально-методичний комплект: навчально-методичний посібник. Чернігів: Десна Поліграф, 2020. 320 с.
8. Величко Л. П. Хімічна освіта в контексті реформи «Нова українська школа». *Біологія і хімія в рідній школі*. 2019. № 1. С. 2–7.
9. Moore E. B., Perkins K. K. PhET Interactive Simulations: Transformative Tools for Teaching Chemistry. *Journal of Chemical Education*. 2014. Vol. 91, No. 8. P. 1191–1197.

10. Johnstone A. H. The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*. 1993. Vol. 70, No. 9. P. 701–705.
11. Talanquer V. Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry "triplet". *International Journal of Science Education*. 2011. Vol. 33, No. 2. P. 179–195.
12. Gilbert J. K., Treagust D. F. *Multiple Representations in Chemical Education*. Springer, 2009. 390 p.
13. Sweller J. Cognitive load theory. *Psychology of Learning and Motivation*. 2011. Vol. 55. P. 37–76.
14. Mayer R. E. *Multimedia learning*. 3rd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2020. 410 p.
15. Paivio A. *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford : Oxford University Press, 1990. 336 p.
16. Skinner B. F. *The Technology of Teaching*. New York : Appleton-Century-Crofts, 1968.
17. Sailer M., Homner L. The Gamification of Learning: A Meta-Analysis. *Educational Psychology Review*. 2020. Vol. 32. P. 77–112.
18. Анічкіна О.В. Гейміфікація – сучасний виклик хімічної освіти. *Педагогічні науки: теорія та практика*. Житомир, 2021. С. 75-80.
19. Harp S. F., Mayer R. E. The role of interest in learning from scientific text and illustrations: On the distinction between emotional interest and cognitive interest. *Journal of Educational Psychology*. 1997. Vol. 89. P. 92–102.
20. Бобрич М. В. Класифікація програмних засобів навчання хімії. *Збірник наукових праць Уманського ДПУ*. 2021. Вип. 2. С. 23–29.
21. Liouni A. ACD/ChemSketch as a Teaching Tool for Chemical Bonding and Geometry. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*. 2021. Vol. 16, No. 4. P. 145–158.

22. Hanwell M. D. et al. Avogadro: an advanced semantic chemical editor. *Journal of Cheminformatics*. 2012. Vol. 4, No. 17.
23. Нечипуренко П. П., Старова Т. В. Використання віртуальних хімічних лабораторій у профільному навчанні. *Сучасні інформаційні технології*. 2019. № 54. С. 56–63.
24. Yaron D. et al. The ChemCollective: Virtual labs for introductory chemistry courses. *Science*. 2010. Vol. 328. P. 584–585.
25. Wu H.-K. Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*. 2013. Vol. 62. P. 41–49.
26. Мідак Л., Кузишин О., Базюк Л. Використання технологій доповненої реальності під час навчання шкільного курсу хімії 11 класу. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія: Теорія та методика навчання природничих наук*. 2021. №1. С. 74-93.
27. Wang A. I., Tahir R. The effect of using Kahoot! for learning – A literature review. *Computers & Education*. 2020. Vol. 149. 103818.
28. Clark T. M. Accessibility of Digital Learning Tools in Chemistry. *Journal of Chemical Education*. 2022. Vol. 99, No. 1. P. 23–30.
29. Coyle D. Content and Language Integrated Learning. Cambridge : Cambridge University Press, 2010.
30. MolView. Open source web-application to download and view molecules. URL: <https://molview.org>.
31. Labster. Virtual Lab Simulations for High School. URL: <https://www.labster.com>.
32. Babych A. Використання технології BYOD у процесі навчання в основній школі. *Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology*. 2017. №5(2). С. 1-4.
33. UNESCO. Guidance for generative AI in education and research. Paris: UNESCO, 2023. 44 p.

34. Литвиненко О. П. Адаптивні навчальні системи у викладанні природничих дисциплін. *Інформаційні технології в освіті*. 2023. № 6. С. 50–57.
35. Андрущенко В. П. Цифрові технології в освіті: виклики та перспективи. Педагогічний дискурс. 2021. № 30. С. 12–18.
36. Жук Ю. О. STEM-освіта в Україні: сучасний стан і перспективи. *Освітні інновації*. 2022. № 3. С. 22–30.