

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

Хіміко-біологічний факультет
Кафедра хімії та методики її навчання

Кваліфікаційна робота

**ІНТЕГРУВАННЯ ПРИНЦИПІВ «ЗЕЛЕНОЇ» ХІМІЇ В ОСВІТНІЙ
ПРОЦЕС ЯК КЛЮЧОВИЙ КОМПОНЕНТ СТАЛОГО РОЗВИТКУ
СУСПІЛЬСТВА**

Спеціальність 014.06 Середня освіта (Хімія)
**Освітня програма «Середня освіта (Хімія, біологія та здоров'я
людини)»**

Здобувача другого (магістерського) рівня
вищої освіти

Алампієвої Ярини Тарасівни

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:

кандидат хімічних наук, доцент

Симчак Руслан Васильович

РЕЦЕНЗЕНТ:

кандидат хім. наук, доцент кафедри хімії
середовища та хімічної освіти

Карпатського національного університету
імені Василя Стефаника

Мідак Лілія Ярославівна

Робота захищена з оцінкою:

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Тернопіль 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНТЕГРАЦІЇ ПРИНЦИПІВ «ЗЕЛЕНОЇ» ХІМІЇ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС	6
1.1. Концепція сталого розвитку: сутність, цілі та стратегічні напрями реалізації	6
1.2. Формування екологічного світогляду у здобувачів освіти у контексті сталого розвитку.....	10
1.3. Поняття та основні принципи «зеленої» хімії.....	14
1.4. Світовий досвід впровадження ідей «зеленої» хімії в освіту	18
1.5. Освітній потенціал «зеленої» хімії для підготовки майбутніх фахівців природничого профілю.....	20
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ІНТЕГРУВАННЯ ПРИНЦИПІВ «ЗЕЛЕНОЇ» ХІМІЇ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС	23
2.1. Аналіз чинних навчальних програм і підручників з хімії на предмет наявності елементів «зеленої» хімії.....	23
2.2. Можливості екологізації змісту навчального предмета хімія.....	28
2.3. Форми і методи навчання, що сприяють реалізації принципів сталого розвитку.....	31
2.4. Методичні прийоми інтегрування принципів «зеленої» хімії в освітній процес	36
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕГРАЦІЇ ПРИНЦИПІВ «ЗЕЛЕНОЇ» ХІМІЇ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС	40
3.1. Модель інтеграції принципів «зеленої» хімії в освітній процес	40
3.2. Експериментальна перевірка ефективності впровадженої моделі	43
3.3. Аналіз результатів педагогічного експерименту	45
ВИСНОВКИ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53
ДОДАТОК 1.....	60
ДОДАТОК 2.....	65

ВСТУП

Актуальність роботи

Сучасний етап розвитку людства характеризується зростанням уваги до глобальних екологічних проблем, які постали внаслідок інтенсивного розвитку промисловості, нераціонального використання природних ресурсів та забруднення навколишнього середовища. Одним із ключових завдань світової спільноти є формування нового типу мислення — екологічно відповідального, зорієнтованого на принципи сталого розвитку. У цьому контексті освіта набуває особливої ролі, адже саме вона є основним чинником підготовки покоління, здатного приймати зважені рішення на користь збереження довкілля [3, 11, 22, 27].

Одним із сучасних напрямів екологізації освіти є впровадження принципів «зеленої» хімії — наукової парадигми, що передбачає розробку та використання хімічних процесів і речовин, безпечних для людини й природи. Засади «зеленої» хімії не лише сприяють формуванню екологічної компетентності, а й змінюють саму філософію навчання хімії, орієнтуючи її на практичне застосування знань у сфері сталого розвитку [12, 38–41].

Актуальність теми зумовлена потребою модернізації змісту природничої освіти відповідно до екологічних викликів сучасності. Попри наявність окремих елементів екологічного змісту у шкільних та університетських курсах, питання системного інтегрування принципів «зеленої» хімії в освітній процес залишається недостатньо розробленим. Відсутність чітких методичних рекомендацій, наочних дидактичних матеріалів та узгодженої структури змісту зменшує ефективність екологічної освіти й уповільнює процес формування в учнів та студентів екологічно свідомої поведінки [12, 17, 20, 41].

Отже, актуальність проблеми в педагогічній науці та шкільній практиці обумовили вибір теми магістерської роботи: **«Інтегрування принципів «зеленої» хімії в освітній процес як ключовий компонент сталого розвитку суспільства».**

Мета і завдання дослідження.

Мета роботи полягає у науково-методичному обґрунтуванні та розробленні шляхів ефективного впровадження принципів «зеленої» хімії в освітній процес для формування екологічної свідомості здобувачів освіти.

Для досягнення поставленої мети передбачалося вирішення наступних завдань:

1. Проаналізувати сутність концепції сталого розвитку, її цілі та напрями реалізації в освітній сфері.
2. Розкрити зміст і основні принципи «зеленої» хімії як наукової основи екологізації хімічної освіти.
3. Здійснити аналіз навчальних програм і підручників з хімії на предмет наявності елементів «зеленої» хімії.
4. Визначити форми, методи та прийоми навчання, що сприяють реалізації принципів сталого розвитку.
5. Розробити методичні рекомендації щодо інтегрування принципів «зеленої» хімії в освітній процес.

Об'єкт дослідження — освітній процес у загальноосвітній школі.

Предмет дослідження — методичні засади інтегрування принципів «зеленої» хімії в освітній процес у контексті сталого розвитку суспільства.

Методи дослідження. Для реалізації мети використано комплекс теоретичних і емпіричних методів:

- **теоретичні** — аналіз психолого-педагогічної, методичної літератури з проблеми дослідження; систематизація та узагальнення наукових підходів до інтеграції екологічного змісту в освіту; порівняльний аналіз навчальних програм і підручників;
- **емпіричні** — спостереження за освітнім процесом, анкетування, аналіз педагогічного досвіду, моделювання методичних ситуацій;
- **методи узагальнення результатів** — інтерпретація даних, формулювання висновків, розроблення рекомендацій для практичного впровадження.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованих методичних прийомів, форм і засобів навчання в освітній практиці шкіл, ліцеїв, коледжів і закладів вищої освіти. Матеріали дослідження можуть бути застосовані для розроблення навчально-методичних посібників, програм факультативів або курсів за вибором екологічного спрямування.

Апробація та впровадження роботи:

Алампієва Я., Буртник В., Симчак Р. В. Підготовка майбутніх учителів природничих наук у контексті сталого розвитку: роль принципів «зеленої» хімії. *Шлях в науку: перші кроки*: матеріали III Всеукраїнської конференції. 9 квітня 2025 р., м. Тернопіль. Тернопіль: ФОП Осадца Ю. В., 2025. С. 14–16.

Симчак Р., Алампієва Я., Буртник В. Формування ціннісних орієнтирів учнів у контексті концепції сталого розвитку: роль принципів «зеленої хімії». *Ціннісні орієнтири в сучасному світі: теоретичний аналіз та практичний досвід*: збірник тез VII Міжнародної науково-практичної конференції, 15–16 травня 2025 року, м. Тернопіль. ТНПУ ім. В. Гнатюка. Тернопіль: ФОП Осадца Ю. В. 2025. С. 178–180.

Алампієва Я., Симчак Р. Методичні засади інтегрування принципів «зеленої» хімії в освітній процес. *Магістерський науковий вісник*. Тернопіль, 2025. Вип. 45. С. 217–219.

Обсяг і структура магістерської роботи

Магістерська робота викладена на 68 сторінок друкованого тексту і складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 65 джерел, з яких латиницею – 28 і містить 2 додатки, 4 таблиці та 6 рисунків.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНТЕГРАЦІЇ ПРИНЦИПІВ «ЗЕЛЕНОЇ» ХІМІЇ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС

1.1. Концепція сталого розвитку: сутність, цілі та стратегічні напрями реалізації

Сучасний етап розвитку людства вирізняється швидкими та масштабними змінами у всіх сферах життя і діяльності людини. Ці процеси взаємопов'язані, розвиваються динамічно та взаємно посилюють один одного, а їхні наслідки нерідко виявляються непередбачуваними. Чимало таких змін становлять реальну загрозу для подальшого поступу суспільства. Одним із ключових напрямів сучасного світового розвитку є сталий розвиток [3, 8, 11, 12].

На сьогодні концепція сталого розвитку визнана всіма державами — членами ООН як один із головних пріоритетів людства, реалізація якого має здійснюватися як на національному, так і на глобальному рівнях. Термін «сталий розвиток» дедалі частіше з'являється у професійному середовищі, використовується офіційних політичних та економічних документах. Протягом останніх десятиліть провідні міжнародні організації розглядають досягнення сталого розвитку як одне з найважливіших завдань сучасності.

Концепція сталого розвитку базується на трьох взаємопов'язаних складових — економічній, соціальній та екологічній. Кожна з них має власну значущість, а їхня взаємозалежність забезпечує стабільність усієї системи. Ігнорування хоча б одного з цих аспектів може призвести до порушення її загальної рівноваги.

Економічний аспект сталого розвитку спирається на принципи неокласичної теорії, зокрема на положення Дж. Хікса, який вважав, що можливості суспільства створювати дохід обмежуються необхідністю збереження сукупного капіталу, потрібного для цього процесу. Це означає потребу у раціональному використанні обмежених ресурсів та впровадженні природозберігаючих технологій і методів виробництва [17].

Разом із тим, збереження сукупного капіталу не передбачає незмінності його структури, адже окремі види капіталу можуть взаємозамінюватися. Відповідно, у межах концепції сталого розвитку виокремлюють два типи стійкості: *слабку* — засновану на зростанні загальної суми виробленого і природного капіталу, та *сильну* — орієнтовану переважно на збереження і примноження природного капіталу.

Обидва підходи вважаються прийнятними, однак модель, побудована на принципі *слабкої стійкості*, є гнучкішою й відкриває більше можливостей для економічного розвитку. Водночас вона несе ризик виникнення суперечностей між цілями економічного зростання, соціального добробуту та екологічної безпеки.

Модель розвитку, що ґрунтується на принципі *сильної стійкості*, навпаки, відзначається мінімальними неекономічними ризиками. Її головна перевага полягає у пріоритеті суспільних інтересів та забезпеченні глобальної стабільності соціально-економічних процесів. Водночас можливості економічних суб'єктів у межах такої моделі є значно обмеженими, оскільки вони безпосередньо залежать від природного потенціалу, який використовується або зберігається у господарській діяльності.

Вибір тієї чи іншої моделі розвитку залишається предметом активних дискусій серед науковців, політиків, представників бізнесу та громадськості. Він визначається конкретними історичними умовами, завданнями держави, суспільними пріоритетами, національними традиціями та низкою інших чинників.

Соціальна складова сталого розвитку зосереджується на неекономічних потребах і правах людини. Вона охоплює весь спектр прав — як індивідуальних, так і колективних, включаючи питання корпоративного управління, а також проблеми підтримки стабільності соціальних і культурних систем, розвитку гуманітарних цінностей сучасного суспільства.

Відповідно до основної ідеї сталого розвитку, соціальна стійкість базується на принципі *міжпоколінської справедливості* — визнанні того, що майбутні

покоління повинні мати щонайменше такий самий доступ до соціальних ресурсів, як і сучасне покоління. Крім того, справедливість має бути забезпечена і всередині нинішнього покоління, що передбачає рівний розподіл соціальних благ як одну з головних умов соціальної стабільності.

Досягнення сталого розвитку неможливе без формування ефективної системи ухвалення рішень, що враховує історичний досвід суспільного поступу та спирається на принципи плюралізму й загальнолюдських цінностей. У межах концепції сталого розвитку людина розглядається як головний суб'єкт і рушійна сила змін, а отже, повинна брати безпосередню участь у процесах, які визначають умови її життя — у виробленні, реалізації та контролі за виконанням рішень.

Деякі елементи соціального капіталу мають незворотний характер змін. Це, зокрема, стосується культурного різноманіття — мов, національних традицій, звичаїв, які під впливом глобалізації поступово деградують або втрачають свою самобутність. Такі складові соціального капіталу є унікальними й не можуть бути замінені іншими видами ресурсів.

Попри те, що цінності соціально-сталого розвитку часто суперечать принципам економічного зростання, соціальний аспект є невід'ємною складовою багатьох економічних рішень. Це зокрема проявляється у практиці соціально відповідального інвестування (*Socially Responsible Investment — SRI*), яке враховує не лише фінансові, а й етичні та суспільні критерії. Серед найпоширеніших показників соціальної стійкості, що використовуються інвесторами, — рівень трудових і суспільних відносин, дотримання прав людини, безпечність продукції, прозорість бізнесу та якість корпоративного управління.

Екологічна складова від початку була основною ідеєю концепції сталого розвитку, що цілком закономірно, адже природний капітал є й залишатиметься базою цивілізаційного прогресу. Її завдання полягає у збереженні цілісності природних фізичних і біологічних систем у процесі їх взаємодії з економічними та соціальними структурами.

Поняття природних систем у цьому контексті трактується широко — воно охоплює не лише природні екосистеми, а й антропогенне середовище, створене людиною. При цьому основна увага приділяється не підтриманню систем у статичному «ідеальному» стані, а їхній здатності до саморозвитку, адаптації та відновлення у відповідь на зовнішні дестабілізуючі впливи.

Варто зазначити, що, на відміну від економічних і соціальних систем, екологічні системи мають жорсткіші обмеження щодо навантаження та, як правило, нижчу стійкість. Надмірне використання природних ресурсів, забруднення довкілля й зменшення біорізноманіття призводять до втрати здатності природних систем до самовідновлення, тобто до їх деградації або небажаної трансформації.

Крім того, деякі елементи природного капіталу є незамінними, а їх споживання має незворотний характер. Природний капітал не завжди може бути компенсований економічним, особливо коли йдеться про втрату унікальних об'єктів біорізноманіття, відновлення яких неможливе. Ще однією причиною обмеженої взаємозамінності природного капіталу є багатофункціональність природних ресурсів.

Наприклад, ліси не лише забезпечують сировину для промисловості (ресурс, який можна частково замінити), але й виконують важливі екологічні функції — збереження біорізноманіття, регулювання водного балансу, очищення повітря від пилу, поглинання вуглекислого газу тощо.

Таким чином, концепція сталого розвитку спирається на три ключові принципи (рис. 1):

1. Гармонізація економіки та екології — досягнення такого рівня розвитку, за якого господарська діяльність людини не завдає шкоди навколишньому середовищу.

2. Збалансування економічної та соціальної сфер — ефективне використання економічних ресурсів в інтересах населення та підвищення якості життя.

3. Урахування інтересів майбутніх поколінь — забезпечення справедливого доступу до природних ресурсів для тих, хто житиме після нас.



Рис. 1. Принципи і цінності в концепції сталого розвитку [6]

1.2. Формування екологічного світогляду у здобувачів освіти у контексті сталого розвитку

Сучасні глобальні виклики — зміна клімату, деградація природних екосистем, виснаження ресурсів, зростання техногенного навантаження — актуалізують потребу у формуванні нового типу мислення, орієнтованого на гармонійне співіснування людини і природи. У цьому контексті особливого значення набуває екологічний світогляд, який є складовою духовної культури особистості та основою реалізації концепції сталого розвитку суспільства. Формування екологічного світогляду у здобувачів освіти розглядається як стратегічне завдання сучасної освітньої політики України, спрямованої на

забезпечення екологічної безпеки та підготовку громадян, здатних приймати відповідальні рішення у сфері взаємодії з довкіллям [16].

Екологічний світогляд — це інтегрована система поглядів, знань, переконань і ціннісних орієнтацій, яка визначає ставлення людини до природи, суспільства та самої себе як частини біосфери. Він ґрунтується на розумінні взаємозалежності всіх компонентів природного середовища, усвідомленні меж можливого антропогенного впливу та необхідності збереження природних ресурсів для нинішніх і майбутніх поколінь. Виховання екологічного світогляду сприяє розвитку в учнів почуття відповідальності, бережливого ставлення до навколишнього середовища, готовності діяти на основі екологічно доцільних рішень [20].

Процес формування екологічного світогляду нерозривно пов'язаний із реалізацією принципів освіти для сталого розвитку. Така освіта передбачає інтеграцію екологічних, економічних і соціальних аспектів у зміст навчання, сприяючи становленню особистості, яка здатна критично мислити, прогнозувати наслідки власної діяльності та діяти у відповідності з екологічними цінностями. У системі формальної освіти важливо забезпечити міжпредметну інтеграцію екологічних знань — від природничих наук до гуманітарних дисциплін, аби сформувати цілісне бачення екологічних процесів та їхнього зв'язку із суспільним розвитком [26].

Важливим компонентом цього процесу є виховна складова, спрямована на формування екологічної культури, етичних норм поведінки у довкіллі, розвитку емоційно-ціннісного ставлення до природи. Такі риси формуються не лише через навчальні програми, а й через участь здобувачів освіти у природоохоронних акціях, екологічних проєктах, волонтерських ініціативах, дослідницькій діяльності. Практична діяльність сприяє усвідомленню взаємозв'язку між власною поведінкою та станом довкілля, перетворюючи екологічні знання на реальні переконання й життєві установки [8, 31].

Сучасна педагогіка наголошує на необхідності активних і компетентісно орієнтованих методів навчання, що забезпечують участь здобувачів освіти у

реальних ситуаціях прийняття рішень, екологічному моніторингу, соціальних ініціативах. Ефективними є інтерактивні технології — екологічні тренінги, рольові ігри, проєктне та проблемно-орієнтоване навчання, що сприяють формуванню аналітичного мислення та екологічної відповідальності [11].

Не менш важливим аспектом є підготовка педагогічних кадрів, здатних реалізовувати ідеї сталого розвитку в освітньому процесі. Учитель або викладач має виступати провідником екологічних цінностей, моделювати приклади екологічно свідомої поведінки, створювати сприятливе навчальне середовище, що стимулює зацікавлення здобувачів освіти екологічними проблемами [26].

Формування екологічного світогляду має здійснюватися як у системі формальної освіти (дошкільної, шкільної, вищої), так і у неформальній освіті — через діяльність молодіжних та громадських організацій, екоцентрів, гуртків, масові природоохоронні заходи. Саме поєднання формальної й неформальної освіти забезпечує комплексний підхід до екологічного виховання, сприяє переходу від знань до дій [27].

Таким чином, формування екологічного світогляду здобувачів освіти є невід’ємним чинником реалізації концепції сталого розвитку. Воно спрямоване не лише на засвоєння знань про природу, а й на виховання свідомої, відповідальної, морально зрілої особистості, здатної мислити системно, діяти екологічно доцільно і брати участь у розбудові суспільства, орієнтованого на гармонію з навколишнім середовищем.

Екологічна освіта та виховання — це процеси, у ході яких формується особистість із новим, відповідальним і неспоживацьким ставленням до природи та її ресурсів. Поведінка такої людини ґрунтується на принципах екологічної свідомості та сталого розвитку [35].

Інтеграція української системи освіти у світовий освітній простір потребує узгодження питань екологічного виховання, екологічної освіти та освіти для сталого розвитку в законодавчих і нормативних документах. Екологічна освіта виступає основою й системоутворювальним елементом освіти для сталого розвитку.

Під освітою для сталого розвитку розуміють освітній процес, спрямований на формування знань, умінь і цінностей, необхідних для створення екологічно свідомого суспільства, становлення нового світогляду та життєвих орієнтирів. Такий розвиток має бути соціально прийнятним, економічно ефективним і екологічно збалансованим [25].

Освіта для сталого розвитку базується на принципах всеохопності й безперервності навчання, міждисциплінарності, співпраці між педагогом і здобувачем освіти, а також навчання через практику та творчість.

Як цілісне культурологічне явище, екологічна освіта охоплює процеси навчання, виховання та розвитку особистості. Вона спрямована на формування екологічної культури, що є важливою складовою національного й громадського виховання, а також на становлення екологічного світогляду — системи уявлень про стан навколишнього середовища й усвідомлення взаємозв'язку між людиною та природою.

Формування екологічного світогляду та культури особливо ефективно здійснюється в межах неформальної освіти — через діяльність дитячих і молодіжних громадських організацій, насамперед природоохоронного спрямування.

Як зазначається у Концепції екологічної освіти України, головною метою екологічної освіти є формування екологічного світогляду та екологічної культури як окремої особистості, так і суспільства в цілому, а також набуття екологічних знань і практичних навичок (рис. 2) [10].

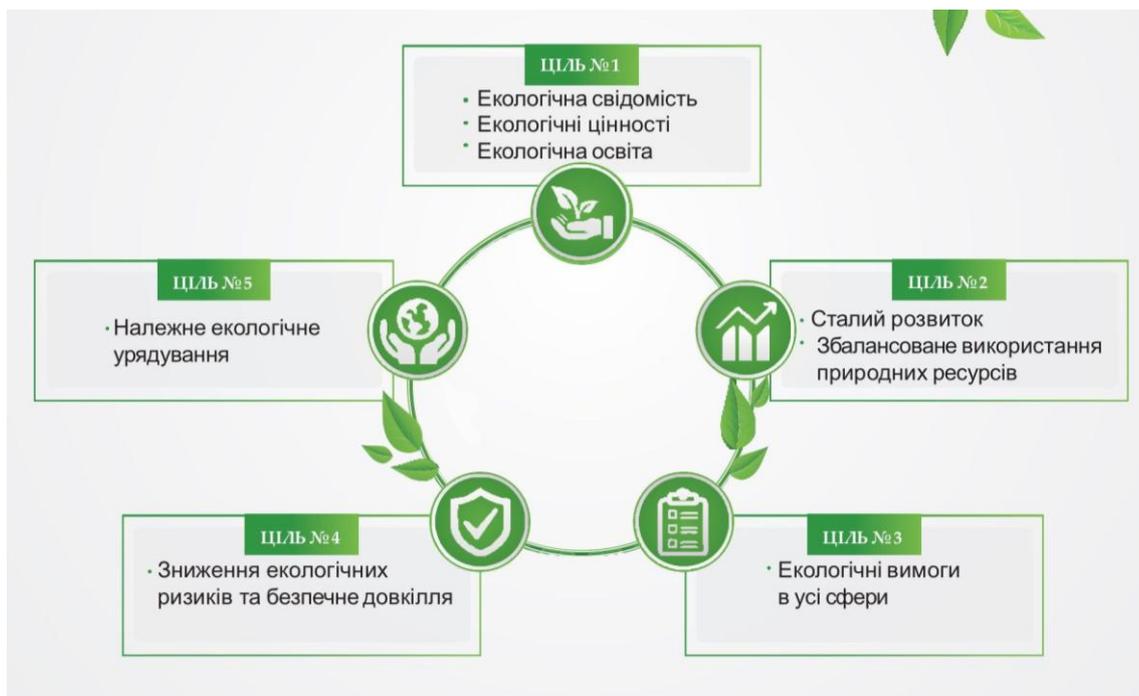


Рис. 2. Стратегічні цілі екологічної освіти України [10]

Екологічний світогляд можна розуміти як особливу форму свідомості та показник культури й самовизначення сучасної людини, що базується на екологічній компетентності, усвідомленні необхідності збереження природного середовища та раціонального використання природних ресурсів.

Він є формою духовно-практичного освоєння світу людиною та суспільством, у якій гармонійно поєднуються екологічні знання, культура та діяльність, спрямовані на збереження гармонії між природою і людиною [58].

1.3. Поняття та основні принципи «зеленої» хімії

За ініціативи та підтримки Міжнародного союзу теоретичної та прикладної хімії (*International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC*) розроблено загальний методологічний підхід, що визначив новий вектор розвитку сучасної хімічної науки — «зелена» хімія як хімія на службі сталого розвитку. Основою цього підходу є система принципів, які спрямовують діяльність хіміків різних галузей на розроблення методів синтезу речовин і технологій з урахуванням їх

екологічної безпечності, енергетичної ефективності та ресурсозбереження [40–45].

Як окремий науковий напрям, «зелена» хімія сформувалася у 1990-х роках ХХ століття. Її засадничі ідеї були викладені у праці «Green Chemistry: Theory and Practice», опублікованій видавництвом Oxford University Press у Нью-Йорку. Важливою є відмінність між «зеленою» та «екологічною» хімією, адже вони мають різні наукові акценти та практичні завдання.

Екологічна хімія традиційно досліджувала стан навколишнього середовища, шляхи міграції, стійкість і вплив хімічних забруднювачів, тобто була спрямована на виявлення та нейтралізацію наслідків антропогенного забруднення. Її головна мета полягала у зменшенні шкоди від уже наявних хімічних речовин у природі — шляхом локалізації, очищення чи обмеження джерел забруднення.

На відміну від цього, «зелена» хімія є превентивною за своєю суттю. Вона не лише усуває наслідки негативного впливу хімічних процесів, а запобігає їх виникненню. Це хімія для збереження довкілля, а не просто для його захисту. Якщо традиційний підхід передбачав мінімізацію ризиків, пов'язаних із виробництвом, то «зелена» хімія орієнтується на створення таких технологічних процесів, які взагалі не генерують шкідливих речовин і не порушують екологічну рівновагу.

Основні підходи «зеленої» хімії передбачають перехід від очищення забруднень до розроблення екологічно чистих процесів синтезу, які не утворюють токсичних відходів. Це досягається шляхом оптимізації технологічних схем, скорочення кількості стадій виробництва, зменшення енергоспоживання та використання відновлюваних сировинних ресурсів. Такий підхід забезпечує одночасне підвищення економічної ефективності і екологічної безпеки виробництва [54–61].

Ключовим принципом «зеленої» хімії є *відмова від використання небезпечних реагентів і розчинників та створення процесів синтезу, що є безпечними на всіх етапах — від вихідної сировини до кінцевого продукту.*

Ідеальні «зелені» технології повністю усувають утворення токсичних побічних продуктів, викидів та відходів, тим самим сприяючи гармонізації промислової діяльності з природним середовищем.

Концепція «зеленої» хімії ґрунтується на системі із дванадцяти базових принципів, запропонованих П. Анастасом і Дж. Ворнером (рис. 3). Ці принципи становлять наукове підґрунтя для створення нових хімічних процесів і технологій, які забезпечують зменшення шкідливого впливу на довкілля протягом усього життєвого циклу речовини — від синтезу до утилізації. Кожен принцип спрямований на досягнення економічної доцільності, екологічної безпеки та соціальної відповідальності у виробництві та використанні хімічних продуктів [64].



Рис. 3. Дванадцять принципів концепції «зеленої» хімії [14]

Принципи «зеленої» хімії:

1. **Запобігання утворенню відходів.** Найефективнішим способом зменшення шкоди для довкілля є недопущення появи відходів, а не їх подальше очищення чи утилізація. Хімічні процеси повинні бути спроектовані так, щоб відходи взагалі не утворювались.

2. **Максимальне використання вихідних речовин у продукті.** Процеси мають бути побудовані так, щоб більша частина атомів реагентів входила до складу кінцевої сполуки. Цей принцип називають *атомною економією*, і він дозволяє мінімізувати втрати сировини.

3. **Застосування менш небезпечних синтетичних методів.** Розроблення реакцій має передбачати використання реагентів і технологічних умов, що зменшують або усувають ризики токсичності для людини та природи.

4. **Створення безпечніших продуктів.** Речовини, що синтезуються, повинні бути ефективними за своїм функціональним призначенням, але водночас — нетоксичними, біологічно розкладними або безпечними при потраплянні в навколишнє середовище.

5. **Використання безпечних розчинників і допоміжних речовин.** Слід відмовлятися від токсичних органічних розчинників, замінюючи їх на воду або інші екологічно безпечні середовища (наприклад, іонні рідини тощо).

6. **Енергетична ефективність.** Виробничі процеси необхідно проводити за помірних температур і тисків, щоб зменшити споживання енергії. Енергозбереження є важливим чинником не лише економічної, але й екологічної стабільності.

7. **Використання відновлюваної сировини.** Сировинна база повинна спиратися на ресурси, які можна відновити у природі — біомасу, рослинні олії, вуглекислий газ, замість обмежених невідновних копалин.

8. **Зменшення кількості проміжних стадій і похідних.** Використання тимчасових захисних груп або багатостадійних процесів варто мінімізувати, оскільки це збільшує витрати реагентів, енергії та створює додаткові відходи.

9. **Каталітичні процеси замість стехіометричних.** Каталізатори забезпечують більшу селективність, економію реагентів і енергії, зменшують кількість побічних продуктів. Це один із найважливіших принципів екологічного хімічного синтезу.

10. **Створення речовин, здатних до природного розкладу.** Хімічні продукти мають бути такими, щоб після завершення терміну використання вони розкладалися на нетоксичні природні сполуки, не завдаючи шкоди екосистемам.

11. **Моніторинг і контроль у реальному часі.** Необхідно впроваджувати методи аналітичного контролю, які дозволяють оперативно відстежувати перебіг реакцій і запобігати утворенню небезпечних речовин або аварійних ситуацій.

12. **Безпечні хімічні процеси для запобігання аваріям.** Проєктування технологій має передбачати мінімізацію ризику вибухів, пожеж, токсичних викидів та інших небезпечних інцидентів.

Усі ці принципи взаємопов'язані й утворюють цілісну систему, що спрямована на трансформацію традиційної хімії в науку майбутнього — безпечну, ефективну й гармонійну щодо природи. Вони не лише знижують екологічне навантаження на довкілля, але й відкривають нові можливості для інноваційного розвитку промисловості, зокрема фармацевтичної, біотехнологічної, харчової та енергетичної галузей [2, 62, 63, 65].

1.4. Світовий досвід впровадження ідей «зеленої» хімії в освіту

Упродовж останнього десятиліття впровадження «зеленої» хімії в освітній процес, її принципи набули особливого значення в контексті формування нової екологічної парадигми та реалізації Концепції сталого розвитку. «Зелена» хімія трактується не лише як сучасний науковий напрям, спрямований на мінімізацію негативного впливу хімічних процесів на довкілля, але й як ефективний педагогічний інструмент, що формує у здобувачів вищої освіти екологічне мислення, відповідальність і розуміння взаємозв'язку між наукою, технологіями та природою.

Згідно з міжнародним аналітичним дослідженням, проведеним у галузі прогресивної освіти та розвитку (2024 р.), протягом 2014–2024 рр. спостерігається стале зростання кількості наукових праць, присвячених

«зеленій» хімії в освіті. Особливо інтенсивний розвиток цього напрямку відбувався у період 2020–2023 рр., що пов'язано із глобальними екологічними викликами, впровадженням принципів сталого розвитку в навчальні програми та переорієнтацією освітніх систем на екологічну безпеку й технологічну інноваційність [52, 53].

Найбільш активними центрами досліджень стали університети США, Великої Британії, Китаю, Канади та Індії, де створено спеціалізовані освітньо-наукові осередки з вивчення «зеленої» хімії (*Green Chemistry Centres*). У цих закладах принципи «зеленої» хімії впроваджуються не лише у зміст навчальних дисциплін, але й у лабораторну практику, студентські дослідження та міждисциплінарні інтегровані освітні проєкти [46–51].

На основі бібліометричного аналізу виокремлено кілька ключових тематичних напрямів розвитку освітнього процесу із «зеленої» хімії:

1. Педагогічні інновації у викладанні хімії.

Сучасна методика навчання орієнтується на активні форми роботи — *problem-based learning*, *project-based learning*, навчання через дослідження та аналіз реальних екологічних кейсів. Це сприяє розвитку критичного мислення, системного підходу та усвідомленню практичної цінності хімічних знань для вирішення екологічних проблем.

2. Зелена лабораторна практика.

Освітні заклади поступово переходять до безпечних і маловідходних експериментів. Поширюються *microscale experiments* — дослідження з мінімальним використанням реагентів, що зменшують кількість токсичних відходів, споживання енергії та ризику для здоров'я студентів.

3. Інтеграція сталого розвитку у навчальні програми.

Провідні університети світу розробляють курси, де принципи «зеленої» хімії є складовою загальнонаукової підготовки. Це сприяє формуванню у здобувачів розуміння взаємозалежності між економічною ефективністю, екологічною безпекою та соціальною відповідальністю.

4. Формування екологічної свідомості та етичних цінностей.

«Зелена» хімія в освіті розглядається не лише як навчальний предмет, а як засіб виховання. Її метою є формування у майбутніх фахівців внутрішньої мотивації до екологічно безпечної діяльності, розуміння ролі людини як відповідальної частини біосфери.

5. Цифровізація та віртуальні засоби навчання.

Значного поширення набули онлайн-симуляції, віртуальні лабораторії та масові відкриті онлайн-курси (МООС), які дають змогу моделювати екологічно безпечні процеси без використання небезпечних речовин. Це підвищує доступність освіти та сприяє формуванню цифрової компетентності здобувачів.

Попри позитивні тенденції, дослідники зазначають, що поширенню «зеленої» хімії в освіті перешкоджають низка факторів: недостатня підготовка викладачів, відсутність єдиних методичних рекомендацій, обмежене фінансування інноваційних освітніх програм та слабка міждисциплінарна взаємодія [49].

Для подолання цих викликів пропонується створення міжнародних партнерських мереж між університетами, розробка єдиної системи оцінювання екологічної компетентності студентів, а також інтеграція принципів «зеленої» хімії у всі рівні освіти — від середньої до післядипломної.

Загалом, сучасна освіта із «зеленої» хімії розглядається як провідний інструмент реалізації концепції сталого розвитку. Її місія полягає у формуванні покоління фахівців, здатних мислити екологічно, діяти відповідально та впроваджувати технологічні рішення, що сприяють гармонійному співіснуванню суспільства і природи.

1.5. Освітній потенціал «зеленої» хімії для підготовки майбутніх фахівців природничого профілю

Попри зростаючу поінформованість суспільства щодо екологічних проблем і активізацію процесів, спрямованих на досягнення цілей сталого розвитку, промисловість усе ще значною мірою спирається на традиційні хімічні

технології та реакції, що спричиняють забруднення довкілля, виснаження природних ресурсів і створюють екологічні ризики. Застосування принципів «зеленої» хімії розглядається як ефективний шлях мінімізації негативного впливу хімічного виробництва на навколишнє середовище. Водночас упровадження практик «зеленої» хімії супроводжується низкою труднощів, серед яких — недостатній рівень обізнаності та розуміння серед представників галузі, технологічні та економічні бар'єри. Крім того, перехід від традиційних процесів до екологічно безпечних альтернатив потребує значних інвестицій, наукових досліджень і міжгалузевої співпраці. У цьому контексті особливої актуальності набуває підготовка фахівців природничого профілю на засадах концепції «зеленої» хімії [30, 34, 41, 42].

Хімічні речовини становлять невід'ємну складову освітніх програм підготовки бакалаврів і магістрів природничого спрямування, однак їх використання може становити потенційну небезпеку як для здобувачів освіти та науково-педагогічних працівників, так і для навколишнього середовища. Концепція «зеленої» хімії орієнтована на запобігання утворенню забруднень уже на етапі проєктування хімічних процесів і синтезів, тобто на попередження негативного впливу ще до його виникнення.

Освітній потенціал «зеленої» хімії полягає у поєднанні фундаментальної наукової підготовки з формуванням практичних компетентностей, необхідних для розв'язання сучасних екологічних проблем. Вивчення дисциплін, що базуються на принципах «зеленої» хімії, сприяє розвитку у здобувачів освіти таких умінь, як:

- проєктування хімічних процесів із мінімальним впливом на довкілля;
- використання альтернативних, нетоксичних реагентів і розчинників;
- оцінювання життєвого циклу речовин і продуктів;
- проведення хімічного експерименту з урахуванням принципів безпеки та ресурсозбереження.

В освітньому процесі «зелена» хімія може бути реалізована через інтеграцію екологічного змісту в традиційні навчальні курси, а також через упровадження окремих дисциплін. Ефективним інструментом реалізації її потенціалу є проєктно-дослідницька діяльність, яка стимулює здобувачів освіти до творчого пошуку екологічно безпечних рішень, розробки нових методів синтезу, очищення чи утилізації відходів [39].

Крім професійних знань, навчання на основі принципів «зеленої» хімії сприяє формуванню ціннісних орієнтацій майбутніх фахівців: відповідального ставлення до природи, усвідомлення взаємозв'язку між науковою діяльністю та екологічними наслідками, прагнення до сталого розвитку. Здобувачі освіти вчать мислити системно, аналізувати проблеми не лише з точки зору наукової ефективності, а й з позицій соціальної користі та екологічної безпеки [40].

Важливою складовою освітнього потенціалу «зеленої» хімії є її міждисциплінарність. Вона поєднує знання з хімії, біології, екології, фізики, економіки та педагогіки, сприяючи формуванню цілісного бачення проблем довкілля. Такий підхід забезпечує підготовку конкурентоспроможних фахівців, здатних працювати в умовах постійних науково-технологічних змін, впроваджувати інновації у виробництво та освіту, а також сприяти формуванню екологічно орієнтованого суспільства [43–45].

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ІНТЕГРУВАННЯ ПРИНЦИПІВ «ЗЕЛЕНОЇ» ХІМІЇ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС

2.1. Аналіз чинних навчальних програм і підручників з хімії на предмет наявності елементів «зеленої» хімії

У контексті реформування сучасної хімічної освіти України важливою є інтеграція положень «зеленої» хімії у зміст шкільних навчальних програм. З метою виявлення рівня представленості відповідних елементів було проаналізовано чинні навчальні програми, затверджені Міністерством освіти і науки України, зокрема:

- **Модельну навчальну програму з хімії для 7–9 класів** (затверджену наказом МОН України №1575 від 27.12.2023 р.) [22];
- **Навчальну програму з хімії для 10–11 класів** (затверджену наказом МОН України №1407 від 23.10.2017 р.) [22];
- методичні рекомендації МОН і ДНУ «ІМЗО» щодо реалізації **наскрізних змістових ліній «Екологічна безпека та сталий розвиток»** у процесі викладання природничих дисциплін [21].

У результаті аналізу встановлено, що в сучасних програмах з хімії наявні окремі компоненти, які частково відображають ідеї «зеленої» хімії, однак їх подано переважно у контексті загальноєкологічних та безпекових орієнтирів.

У програмах 7–9 класів передбачено формування в учнів екологічної культури, усвідомлення значення хімічних знань для сталого розвитку, а також набуття навичок безпечного проведення експерименту. Тематика охоплює питання впливу хімічних речовин на довкілля, проблеми забруднення атмосфери та води, безпечного поводження з хімічними матеріалами. Зокрема, у модельній навчальній програмі «Хімія. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти («Рекомендовано Міністерством освіти і науки України» (наказ Міністерства освіти і науки України від 27.12.2023 № 1575), автор Григорович О. В.) у темі 3 «Досліджуємо органічні речовини» (9 клас) представлено такі орієнтовані види

навчальної діяльності: вплив технологічних процесів з одержання органічних сполук на стан довкілля. Декарбонізація промисловості. Принципи зеленої хімії [22].

У програмі для 10–11 класів (профільний рівень) (укладачі: Бобкова О. С., Бухтіяров В. К., Валюк В. Ф., Величко Л. П., Дубовик О. А., Павленко В. О., Пугач С. В.) серед очікуваних результатів навчання наголошено на необхідності оцінювати роль хімії у забезпеченні сталого розвитку суспільства. Зокрема, під час вивчення тем «Хімічна промисловість», «Неорганічні речовини у виробництві та побуті» розглядаються приклади екологічних проблем технологічних процесів і способи їх мінімізації [22].

У програмі для 10–11 класів (рівень стандарту) (укладачі: Дубовик О. А., Бобкова О. С., Вороненко Т. І., Глазунов М. М., Іваха Т. С., Рогожнікова О. В.) завершення курсу хімії логічно поєднується з вивченням основ «зеленої» хімії, яка виступає новою парадигмою розвитку сучасної хімічної індустрії, наукових досліджень і формування екологічного світогляду молодого покоління хіміків. Наприклад, у темі 5 «Хімія і прогрес людства» (11 клас) [22].

У модельній навчальній програмі «Інтегрований курс природничої освітньої галузі. Природничі науки 10–11 класи. Основний рівень» для закладів загальної середньої освіти представлена тема «Зелений синтез хімічних сполук» [22].

Також у програмах та методичних рекомендаціях МОН і ІМЗО визначено наскрізну змістову лінію «Екологічна безпека і сталий розвиток», що передбачає формування компетентностей, пов'язаних з усвідомленням екологічних наслідків діяльності людини, раціональним використанням природних ресурсів, розвитком критичного мислення при аналізі хімічних технологій [21].

Нами проведено аналіз чинних підручників з хімії для 11 класу, рекомендованих Міністерством освіти і науки України з метою виявлення наявності в їх змісті елементів «зеленої» хімії. Дослідження здійснювалося за критеріями відповідності навчального матеріалу основним принципам «зеленої» хімії, відображення екологічного контексту у темах і практичних завданнях, а

також інтеграції ідей сталого розвитку в хімічну освіту. Особливу увагу приділено способам формування екологічної свідомості учнів, представленню сучасних наукових підходів до безпечного використання хімічних речовин та технологій, а також відображенню зв'язку хімії з глобальними екологічними викликами.

Результати аналізу подано у вигляді коротких характеристик кожного підручника, що дозволяє виявити спільні тенденції, відмінності та потенційні напрями вдосконалення змісту шкільного курсу хімії з огляду на завдання екологізації освіти (табл. 1).

Таблиця 1

**Порівняльний аналіз підручників 11 класу (рівень стандарту) з хімії
на предмет наявності елементів «зеленої» хімії**

Автор, рік, клас	Тема параграфу	Основний зміст
Григорович О. В., 2019 р. (11 клас, рівень стандарту) [7]	§39 Зелена хімія (тема 5 «Хімія і прогрес людства»)	Висвітлено поняття про «зелену» хімію, її принципи, Е-фактор та атомну ефективність, представлено приклади дотримання принципів «зеленої» хімії. Проте, подання інформації є переважно інформаційно-ознайомчим, без ґрунтовної методичної інтеграції принципів «зеленої» хімії у весь навчальний цикл і без явних інструкцій щодо «зелених» лабораторних практик та оцінювання екологічної ефективності технологічних рішень.
Савчин М. М., 2019 р. (11 клас,	§46 «Зелена» хімія: сучасні завдання перед	Представлено визначення поняття «зелена» хімія; значення хімічних знань; вплив діяльності людини на

<p>рівень стандарту) [29]</p>	<p>хімічною наукою та хімічною технологією (тема 5 «Хімія і прогрес людства»)</p>	<p>навколишнє середовище. Підручник має позитивні елементи представлення «зеленої» хімії, завдання на формулювання поняття, судження про напрями розвитку, завдання рефлексивного змісту; присутня рубрикація, яка дозволяє включати «екологічні» аспекти. Однак, має певні обмеження: недостатня кількість практичних прикладів реалізації принципів «зеленої» хімії, недостатня увага до лабораторної методики з акцентом на мінімізацію шкоди; обмежене використання критеріїв екологічності при оцінюванні практичної роботи чи проєктів.</p>
<p>Лашевська Г., Лашевська А. 2019 р. (11 клас, рівень стандарту) [18]</p>	<p>§38. Роль хімії в розв'язуванні екологічної проблеми. «Зелена» хімія: сучасні завдання перед хімічною наукою та хімічною технологією (тема 5 «Хімія і прогрес людства»)</p>	<p>Параграф присвячений екологічним проблемам хімії, конкретно спрямований на завдання «зеленої» хімії, що означає визнання значення концепції у складі курсу хімії. Авторам вдалося вводити «зелену» хімію у контекст екологічних викликів (забруднення, стале використання ресурсів). Це сприяє формуванню мотиваційного компонента: не просто «щось екзотичне», а як частина ролі науки у вирішенні глобальних проблем. У параграфі не проглядається</p>

		чітке розбиття на принципи (наприклад, атомна ефективність, мінімізація відходів, безпечні реагенти, енергозбереження) із прикладами.
Попель П., Крикля Л., 2019 р. (11 клас, рівень стандарту) [24]	§36. Про «зелену» хімію (тема 5 «Хімія і прогрес людства»)	Параграф поданий у стилі ознайомчого опису: визначення, загальна роль, можливі напрями розвитку. Підручник дає теоретичні пояснення, але не посилює їх глибокими прикладами експериментальних реалізацій (за доступними описами). Проте в описах не подано чітких вказівок на лабораторні або мікроексперименти, які б демонстрували «зелені» підходи.
Ярошенко О. Г., 2019 р. (11 клас, рівень стандарту) [37]	§39. Значення хімії у роз'язанні енергетичної й екологічної проблем. «Зелена» хімія (тема 5 «Хімія і прогрес людства»)	Підручник містить загальні екологічні орієнтири: увага до ролі хімії у довкіллі, приклади застосування хімічних знань у побуті, суспільному житті, згадки про вплив хімічних чинників на навколишнє середовище. Це створює потенціал для розвитку екологічної свідомості в учнів. Також формує поняття про «зелену» хімію та її принципи.

Проведений аналіз дозволяє оцінити, наскільки чинні підручники з хімії для 11 класу інтегрують принципи «зеленої» хімії та екологічну складову навчального матеріалу. Встановили, що більшість підручників забезпечують теоретичне ознайомлення з концепцією «зеленої» хімії, наводять визначення, загальні напрями розвитку та відображають екологічний контекст. Водночас

практична реалізація цих принципів у лабораторних роботах, завданнях або проєктній діяльності здебільшого обмежена або відсутня.

Такий аналіз є важливим, оскільки дозволяє виявити прогалини у підготовці учнів до практичного застосування «зелених» підходів, оцінити потенціал підручників для формування екологічної компетентності та обґрунтувати рекомендації щодо вдосконалення змісту шкільного курсу хімії з урахуванням принципів сталого розвитку.

2.2. Можливості екологізації змісту навчального предмета хімія

Зважаючи на аналіз літературних джерел, встановили, що під час вивчення навчального предмета хімії недостатньо уваги приділяється впливу хімічних сполук на різних рівнях організації живого (починаючи з клітинного і закінчуючи біосферним). Також до недоліків чинних програм можна віднести недостатню увагу до хіміко-технологічних компонентів процесів очищення виробничих викидів; недостатнє озброєння школярів практичними навичками самостійного аналізу ступеня хімічного забруднення продуктів харчування, води, повітря, ґрунтів та порівняння з допустимими нормами.

Введення в освітній процес екологізованого курсу хімії потенційно інтегрує необхідний обсяг екологічних знань, а також природничі знання, певною мірою вирішить проблему формування цілісного сприйняття навколишнього світу.

Варто зауважити, що важливим елементом компетентнісного підходу є необхідність акцентування на інтеграції хімічних знань зі знаннями суміжних природничих дисциплін, що дозволить посилити інтерес до цієї науки і сформувати хімічні знання.

Для вчителя важливою освітньою метою навчання хімії є формування в учнів на основі фундаментальних знань цілісного уявлення про хімічні аспекти екології та екологічні проблеми сучасності. Зміст хімічної освіти має спрямовуватися на усвідомлення взаємозв'язків між хімічними процесами та

станом навколишнього середовища, а також на розвиток відповідального ставлення до природи.

Наприклад, під час вивчення складу, будови та властивостей речовин хімічні знання дають змогу з'ясувати, як поведуться певні сполуки в атмосфері, ґрунті та водному середовищі, які впливи вони чинять на екосистеми, живі організми, зокрема й людину. Таке навчання сприяє формуванню внутрішніх моральних орієнтирів та усвідомлених дій, характерних для гуманістичної моделі освіти, у межах якої учень здійснює вибір, спираючись на соціально значущі та екологічно виважені цінності. Кожному рівню розвитку суб'єктності учня відповідає певна педагогічна система, що включає взаємопов'язані цілі, зміст, форми, методи та результати навчання. Вона передбачає поступове розширення активної участі учня у навчальному процесі через різноманіття освітніх діяльностей, інтерактивних форм роботи та навчального спілкування.

Розкриваючи механізми біогеохімічних процесів у природному кругообігу речовин, хімічні знання сприяють усвідомленню ролі науки у гармонізації взаємодії людини й природи. Вивчення цих процесів допомагає майбутнім фахівцям зрозуміти шляхи екологізації промислового виробництва, його «вбудовування» у природні цикли таким чином, щоб мінімізувати негативний вплив на екосистеми та забезпечити сталий розвиток.

Застосовуючи хіміко-аналітичні методи контролю стану довкілля або якості продукції в різних галузях промисловості, хімічні знання надають інструменти для об'єктивного оцінювання екологічної безпеки. Результати таких досліджень є основою для ухвалення рішень щодо запобігання надходженню шкідливих речовин у навколишнє середовище, розроблення заходів із його очищення та захисту.

Ця система включає знання про речовини живої природи, про взаємодії, пов'язані з появою в рослинному і тваринному світі, про хімічні взаємодії організмів між собою і з навколишнім середовищем, про взаємодію антропогенних факторів як на саму людину, так і на все живе.

Сучасна освіта покликана не лише забезпечити здобувачів знаннями, а й сформувати у них ціннісне ставлення до природи, розуміння екологічних наслідків людської діяльності та готовність діяти в інтересах сталого розвитку. У цьому контексті особливого значення набуває екологізація змісту навчального предмета хімія, яка передбачає цілеспрямоване включення екологічних знань, ідей і практик в освітній процес.

Екологізація хімічної освіти — це не просто додавання окремих екологічних тем або фактів до традиційного курсу, а глибинна переорієнтація змісту, методів і цілей навчання. Вона полягає у створенні цілісної системи навчання, що поєднує хімічні знання з екологічними цінностями, формує у здобувачів освіти розуміння взаємозв'язків між хімічними процесами та станом навколишнього середовища, відповідальне ставлення до використання природних ресурсів і продуктів хімічної діяльності людини.

Одним із основних напрямів екологізації змісту є інтеграція екологічного компоненту в традиційні розділи хімії. Екологічний зміст може реалізовуватись і через лабораторні та практичні роботи, під час яких учні набувають досвіду дослідження природних об'єктів, аналізу екологічних показників, розроблення заходів з охорони довкілля. Такі заняття сприяють розвитку дослідницьких умінь, критичного мислення, здатності приймати обґрунтовані рішення з урахуванням екологічних наслідків.

Не менш важливим є виховний аспект екологізації. Хімія як навчальний предмет має величезний потенціал у формуванні екологічної свідомості, ціннісних орієнтацій і життєвої позиції учнів. Через приклади екологічно безпечних технологій, раціонального використання ресурсів, утилізації відходів і «зеленої» хімії можна виховувати почуття відповідальності за стан довкілля та готовність брати участь у його збереженні.

Вагому роль у процесі екологізації змісту відіграє викладач хімії, який має бути не лише носієм наукових знань, а й провідником екологічних ідей, здатним організувати освітній процес так, щоб він стимулював пізнавальну активність, дослідницький інтерес і морально-етичне осмислення проблем.

Крім того, екологізація змісту предмета хімія передбачає використання інтерактивних та проєктних методів навчання, що дозволяють залучати учнів до розв'язання реальних екологічних проблем у локальному середовищі: аналізу якості питної води, дослідження стану повітря в мікрорайоні, оцінки екологічної безпеки побутової хімії тощо. Такий підхід забезпечує практичну спрямованість навчання, формує у школярів відчуття особистої причетності до екологічних процесів і розвиває компетентності, необхідні для майбутньої професійної діяльності [1].

2.3. Форми і методи навчання, що сприяють реалізації принципів сталого розвитку

Концепція сталого розвитку вимагає від освітньої системи не лише оновлення змісту навчальних дисциплін, але й упровадження нових педагогічних технологій, методів і форм навчання, які забезпечують гармонійне поєднання знань, цінностей і практичної діяльності. Основна мета полягає у вихованні особистості, здатної критично мислити, діяти етично, приймати відповідальні рішення, спрямовані на збереження довкілля та добробут суспільства [15].

Реалізація принципів сталого розвитку в освітньому процесі можлива лише за умови використання таких форм і методів навчання, які забезпечують активну участь здобувачів освіти у пізнавальній діяльності, спонукають їх до самостійного пошуку знань, аналізу проблем і прийняття рішень, що відповідають вимогам екологічної, соціальної та економічної відповідальності. Перевага надається інтерактивним, практикоорієнтованим і дослідницьким формам навчання, які сприяють особистісно-ціннісному засвоєнню матеріалу (рис. 4).



Рис. 4. Взаємозв'язок форм і методів навчання у реалізації принципів сталого розвитку

Форми організації навчання — це способи упорядкування навчальної діяльності здобувачів освіти, що здійснюються відповідно до заздалегідь визначеного розпорядку та структури освітнього процесу. Вони визначають зовнішній прояв організації навчальної взаємодії викладача й учнів, її часові, просторові та змістові межі. У сучасній педагогічній практиці розрізняють такі форми організації навчання, як: урок, лекція, семінар, лабораторне заняття, практикум, тренінг, екскурсія, консультація, факультатив, індивідуальне навчання, самостійна робота, виконання рефератів, курсових і дипломних проєктів, а також підсумкові форми контролю знань — заліки, іспити тощо. Кожна з цих форм має свої дидактичні можливості, спрямовані на забезпечення ефективності навчання, розвитку пізнавальної активності та самостійності здобувачів освіти [13].

Лекція-дискусія поєднує традиційну форму подання навчального матеріалу з елементами активної взаємодії між викладачем і здобувачем освіти, що створює умови для розвитку критичного мислення, уміння аргументувати власну позицію, оцінювати альтернативні підходи до розв'язання проблем сталого розвитку.

Практичні та лабораторні заняття спрямовані на формування у здобувачів освіти здатності застосовувати теоретичні знання в реальних умовах. Такі форми роботи особливо ефективні при вивченні природничих і технічних дисциплін, оскільки дозволяють наочно продемонструвати взаємозв'язок наукових процесів із екологічними наслідками людської діяльності. Під час виконання лабораторних експериментів, пов'язаних із принципами «зеленої» хімії, здобувачі освіти засвоюють моделі безпечного використання ресурсів, раціонального споживання та мінімізації відходів.

Важливою формою організації освітнього процесу є семінари, тренінги та воркшопи, що передбачають активну взаємодію учасників і сприяють формуванню комунікативних та соціальних компетентностей. Зокрема, використання методів групової роботи дозволяє навчити здобувачів освіти приймати колективні рішення, враховувати різні точки зору, аналізувати наслідки власної діяльності для суспільства і природи.

Значний потенціал для реалізації цілей сталого розвитку мають екскурсії, польові практики, волонтерські та екологічні акції, під час яких здобувачі освіти мають змогу безпосередньо спостерігати взаємодію природних і антропогенних процесів, усвідомлюючи власну роль у збереженні довкілля. Такі форми сприяють формуванню екологічної свідомості, емпатії до природи, розумінню необхідності гармонійної взаємодії людини і навколишнього середовища.

Суттєвим чинником у реалізації ідей сталого розвитку є проєктна діяльність, яка базується на принципах дослідницько-практичного підходу. Залучення здобувачів освіти до розроблення навчальних чи соціально-екологічних проєктів (наприклад, з енергозбереження, управління відходами, благоустрою території) стимулює їхню ініціативність, відповідальність та

здатність до самостійного прийняття рішень. Проектна діяльність має міждисциплінарний характер, оскільки вимагає інтеграції знань із природничих, економічних, соціальних та гуманітарних дисциплін.

Методи навчання — це способи цілеспрямованої взаємодії викладача та здобувачів, спрямовані на досягнення навчально-виховних цілей, засвоєння змісту освіти, формування умінь і навичок. Вибір методу залежить від змісту навчального матеріалу, рівня підготовленості учнів, особливостей навчальної ситуації та наявних засобів навчання. У дидактиці прийнято виокремлювати кілька основних груп методів, серед яких: догматичний, пояснювально-ілюстративний, проблемний, частково-пошуковий, пошуковий і дослідницький.

Догматичний метод базується на механічному запам'ятовуванні матеріалу без пояснення чи аргументації. Учням повідомляють готові знання, які засвоюються через повторення. Використання цього методу є доцільним лише у випадках, коли необхідне запам'ятовування базових понять, законів, формул чи правил (наприклад, при вивченні таблиць множення, фізичних або хімічних констант). Однак у цілому цей метод вважається малоефективним, оскільки не стимулює пізнавальну активність, самостійність і творчість учнів.

Пояснювально-ілюстративний метод передбачає не лише повідомлення фактів, а й їх логічне пояснення, аргументування, коментування. Основна мета полягає у досягненні розуміння сутності навчального матеріалу, а не лише його відтворення. Використання наочних засобів, прикладів, демонстрацій, вправ та завдань сприяє активному засвоєнню знань і розвитку репродуктивного мислення. До цього методу належать різні види самостійних робіт, вправ, розрахунків, складання таблиць, графіків, перекладів за зразком.

Проблемне навчання — це така організація освітнього процесу, яка передбачає створення спеціальних пошукових ситуацій, що спонукають учнів до самостійного пошуку шляхів розв'язання. Цей метод сприяє розвитку активності, самостійності, креативності та дослідницьких умінь. Основою проблемного підходу є пізнавальне протиріччя, яке виникає в процесі взаємодії учня з навчальним матеріалом і стимулює його до аналітичного мислення.

У межах проблемного навчання виокремлюють кілька видів методів:

- **проблемний виклад** — коли викладач самостійно формулює проблему, демонструє шлях її розв'язання, показуючи приклад логіки наукового пошуку. Метод доцільний тоді, коли учні ще не готові самостійно виконувати пошукову діяльність;
- **частково-пошуковий метод** — викладач створює проблемну ситуацію та формулює проблему, а учні беруть участь у її розв'язанні, висувуючи припущення, аргументи та варіанти рішень;
- **пошуковий метод** — учитель визначає проблему, а її розв'язання здійснюють самі учні, використовуючи власні знання, логічні міркування та дослідницькі навички;
- **дослідницький метод** — найвищий рівень самостійності, за якого учні самі виявляють проблему, формулюють гіпотезу та здійснюють пошук шляхів її вирішення.

Серед методів навчання, орієнтованих на сталий розвиток, ключове місце посідають проблемне навчання, дослідницький метод, інтерактивні технології, метод кейсів, рольові ігри, «мозковий штурм» та метод проєктів. Проблемне навчання активізує пізнавальну діяльність здобувачів освіти, формує вміння самостійно здобувати знання і застосовувати їх у нових ситуаціях. Дослідницький метод забезпечує розвиток наукового мислення, уміння аналізувати інформацію, узагальнювати результати та формулювати висновки. Інтерактивні методи сприяють розвитку навичок комунікації, толерантності, уміння працювати в команді, що є важливою складовою культури сталого розвитку.

Особливу роль відіграє інтегрований та міждисциплінарний підхід, який передбачає розгляд проблем сталого розвитку в єдності природничих, соціальних і гуманітарних аспектів. Такий підхід формує цілісне бачення взаємозв'язків у системі «людина–природа–суспільство» та сприяє усвідомленню взаємної відповідальності кожного за збереження гармонії у довкіллі [32].

2.4. Методичні прийоми інтегрування принципів «зеленої» хімії в освітній процес

Інтегрування принципів «зеленої» хімії в освітній процес виступає важливим напрямом модернізації природничої освіти, що забезпечує перехід від традиційного знаннєвого підходу до компетентнісно-ціннісного. Така інтеграція сприяє формуванню у здобувачів освіти не лише ґрунтовних знань із хімії, але й розуміння етичних, соціальних і технологічних аспектів наукової діяльності.

Методи навчання реалізуються через систему прийомів і засобів навчальної діяльності.

Прийоми навчання — це конкретні дії, що є частиною методу навчання і спрямовані на досягнення проміжної дидактичної мети. Вони є елементами взаємодії вчителя та учнів, які допомагають реалізувати навчальні завдання, активізувати пізнавальну діяльність та поглибити знання. На відміну від методів, які охоплюють увесь шлях навчання, прийоми є окремими кроками чи діями в його реалізації.

Засоби навчання — це матеріальні та інформаційні об'єкти, які використовуються для організації та реалізації освітнього процесу. Вони є інструментами для передачі знань, формування умінь і навичок, а також для контролю якості засвоєння матеріалу. Прикладами засобів навчання є підручники, дидактичні матеріали, технічні засоби, лабораторне обладнання та електронні ресурси.

Методичні прийоми впровадження ідей «зеленої» хімії передбачають цілеспрямовану педагогічну діяльність, спрямовану на активізацію пізнавальної активності здобувачів освіти, розвиток критичного мислення, формування системного екологічного світогляду. Доцільне використання інноваційних методів навчання, інтерактивних технологій, міжпредметної інтеграції, проектної та дослідницької діяльності дозволяє розкрити практичну значущість принципів «зеленої» хімії та їхній вплив на збереження довкілля.

Важливу роль у цьому процесі відіграє добір навчального матеріалу, який демонструє реальні приклади екологічно орієнтованих хімічних процесів, використання альтернативних ресурсів, безпечних реагентів і технологій мінімізації відходів. Методичні прийоми повинні також забезпечувати формування у здобувачів освіти уміння аналізувати наслідки хімічних процесів із позицій сталого розвитку, здійснювати екологічно обґрунтований вибір технологічних рішень.

Одним із дієвих методичних прийомів є використання проблемно-пошукових ситуацій. Наприклад, під час вивчення теми *«Хімічні реакції та їх види»* викладач може запропонувати завдання: *«Які способи утилізації пластикових відходів відповідають принципам «зеленої» хімії?»* Такий підхід стимулює аналітичне мислення, розвиває навички самостійного пошуку рішень та формує усвідомлення взаємозв'язку між хімічними технологіями та екологією.

Важливим методичним прийомом є проєктна діяльність. Учні можуть розробляти мініпроєкти, такі як:

- *«Виготовлення екологічно безпечного мийного засобу»* (з використанням натуральних поверхнево-активних речовин);
- *«Дослідження впливу хімічних добрив на стан ґрунтів у нашому регіоні»;*
- *«Екоальтернатива пластику: біополімери з крохмалю»;*
- *«Використання сонячної енергії у хімічних процесах».*

Результати таких проєктів можуть презентуватися у вигляді постерів, наукових доповідей або інтерактивних демонстрацій, що сприяє розвитку навичок комунікації та наукової аргументації.

Доцільним є також використання експериментальних завдань із мінімальним екологічним впливом. Наприклад, під час виконання лабораторних робіт можна замінювати токсичні реагенти на безпечні аналоги або зменшувати їх кількість (мікрохімічний формат). Прикладом може бути виконання лабораторної роботи *«Визначення рН розчинів за допомогою природних*

індикаторів (екстрактів червоної капусти, буряка, чорниці)». Такий прийом дозволяє не лише зменшити кількість відходів, а й продемонструвати практичну цінність природних матеріалів [33].

Іншим сучасним методом є інтерактивне навчання з використанням цифрових технологій. Викладач може залучати здобувачів освіти до віртуальних лабораторій (наприклад, *PhET Interactive Simulations* або *ChemCollective*), де можна безпечно моделювати хімічні процеси та оцінювати їх екологічні наслідки. Візуалізація даних, інфографіка та цифрові карти процесів допомагають краще усвідомити дію принципів «зеленої» хімії, наприклад: «зменшення використання небезпечних речовин», «економія енергії», «використання відновлюваних ресурсів».

З метою міжпредметної інтеграції доцільно застосовувати інтегровані уроки або дисциплінарні модулі:

- «Хімія і біологія в контексті сталого розвитку» — дослідження впливу хімічних речовин на живі організми;
- «Хімія і географія» — аналіз глобальних екологічних проблем, спричинених техногенними процесами;
- «Хімія і економіка» — оцінка вартості екологічно чистих технологій і соціально-економічної вигоди їх упровадження.

Для візуалізації принципів «зеленої» хімії можна використовувати інфографіку, схеми, таблиці та діаграми, які демонструють, наприклад, взаємозв'язок між основними 12 принципами «зеленої» хімії та конкретними прикладами їх реалізації у промисловості (табл. 2).

Взаємозв'язок між принципами «зеленої» хімії, прикладами їх реалізації та методичними прийомами інтеграції в освітній процес

Принцип «зеленої» хімії	Приклад реалізації	Освітній прийом
Запобігання утворенню відходів	Використання мікрохімічних лабораторій	Лабораторна робота з мінімальною кількістю реагентів
Безпечні реагенти та продукти	Натуральні барвники, біополімери	Проектна діяльність
Використання відновлюваної сировини	Біоетанол, біопластики	Інтегрований урок «Енергія майбутнього»
Енергоефективність	Використання сонячних каталізаторів	Проблемне завдання або дослідницький проєкт

Таким чином, методичні прийоми інтегрування принципів «зеленої» хімії сприяють формуванню не лише екологічної грамотності, але й ключових компетентностей XXI століття — критичного мислення, творчості, співпраці, відповідального ставлення до природи та сталого розвитку суспільства. Це відповідає сучасним тенденціям європейської освітньої політики та завданням модернізації хімічної освіти в Україні [25, 36].

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕГРАЦІЇ ПРИНЦИПІВ «ЗЕЛЕНОЇ» ХІМІЇ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС

3.1. Модель інтеграції принципів «зеленої» хімії в освітній процес

На основі опрацьованої наукової і навчально-методичної літератури, зважаючи на встановлену нами необхідність розширення екологізації навчального змісту вивчення хімії, нами розроблено, апробовано та впроваджено модель інтеграції принципів «зеленої» хімії у зміст, методи й форми навчання. Така модель забезпечує системне практико-орієнтоване включення екологічного компонента в освітній процес і сприяє перетворенню теоретичних знань на практично значущі компетентності [19].

Інтеграція принципів «зеленої» хімії в освітній процес передбачає цілеспрямоване поєднання змісту навчального матеріалу з екологічними, етичними та соціально значущими аспектами хімічної діяльності. Метою моделі є формування у здобувачів освіти екологічної культури, критичного мислення, усвідомлення ролі хімії у забезпеченні сталого розвитку суспільства (табл. 3).

Розроблена модель ґрунтується на таких дидактичних принципах [30]:

- інтеграції знань (поєднання хімічних і екологічних понять);
- науковості та практичної спрямованості (зв'язок навчального матеріалу з реальними технологічними процесами);
- дослідницько-діяльнісного підходу (активна участь учнів у пізнавальних і практичних завданнях);
- ціннісно-орієнтованого навчання (формування відповідального ставлення до природи).

Структурні компоненти моделі

Компонент	Змістова характеристика
Цільовий	Формування системи знань про принципи «зеленої» хімії, розвиток екологічної свідомості, відповідального ставлення до технологічної діяльності людини.
Змістовий	Тема: <i>«Зелена» хімія: сучасні завдання перед хімічною наукою та хімічною технологією</i> . Розглядаються: 12 принципів «зеленої» хімії, приклади екологічно безпечних технологій (біорозкладні полімери, каталіз, атомна економія, утилізація відходів).
Процесуальний	<i>Форми:</i> урок-дослідження, комбінований урок, лабораторна робота, мініпроект. <i>Методи:</i> інтерактивні (мозковий штурм, кейс-аналіз, «сенкан»), дослідницькі (постановка експерименту, спостереження, порівняння), практичні (моделювання, аналіз реальних виробництв).
Результативний	Учні розуміють взаємозв'язок хімічної діяльності та екологічного стану планети, уміють оцінювати технології з позиції сталого розвитку, пропонують власні рішення для зменшення негативного впливу хімічних процесів.

Етапи реалізації моделі:

1. Мотиваційно-цільовий етап: актуалізація знань про роль хімії у житті людини; обговорення проблеми: *«Чи може хімія бути безпечною?»*; формулювання мети заняття.

2. Інформаційно-аналітичний етап: ознайомлення з основними принципами «зеленої» хімії (через презентацію або відео); робота в групах: *«Який принцип реалізується у вашому прикладі?»* (аналіз прикладів екологічних технологій).

3. Дослідницько-практичний етап (постановка експерименту).

4. Рефлексивно-оцінювальний етап: обговорення результатів експерименту; створення мініпостерів «Хімія для сталого розвитку»; самооцінювання рівня екологічної компетентності.

Передбачено такі очікувані результати впровадження моделі:

- Здобувачі освіти розуміють 12 принципів «зеленої» хімії та їх практичне значення.
- Виявляють уміння оцінювати хімічні процеси з точки зору впливу на довкілля.
- Формують навички дослідницької роботи, екологічного мислення й командної взаємодії.
- Виховується усвідомлена позиція «науковця-громадянина», орієнтованого на сталий розвиток.

Для реалізації представленої моделі нами розроблено план-конспект комбінованого уроку, який представлено у додатку 1.

Узагальнену модель інтеграції принципів «зеленої» хімії в освітній процес представлено на рисунку 5.



Рис. 5. Зміст моделі інтеграції принципів «зеленої» хімії в освітній процес

3.2. Експериментальна перевірка ефективності впровадженої моделі

Для оцінки ефективності впровадженої моделі навчання було проведено експеримент з використанням контрольної та експериментальної груп. Основною метою експерименту було визначення впливу моделі на рівень засвоєння знань, розвиток практичних умінь та формування ключових компетентностей учнів [9, 23, 28].

Контрольна група (КГ) складалася з учасників, які навчалися за традиційною методикою, без впровадження запропонованої моделі. Це дозволяло створити базову лінію для порівняння результатів та оцінки ефективності нової методики.

Експериментальна група (ЕГ) включала учасників, які проходили навчання за розробленою моделлю, що передбачала інтеграцію сучасних педагогічних технологій, активізацію пізнавальної діяльності та використання практико-орієнтованих завдань.

Процедура проведення експерименту включала кілька етапів:

1. Підготовчий етап – формування груп, ознайомлення учасників з умовами експерименту та початкове тестування для визначення рівня знань і навичок.
2. Основний етап – впровадження моделі в експериментальній групі та проведення традиційного навчання в контрольній групі протягом визначеного періоду.
3. Аналітичний етап – проведення підсумкового тестування, оцінювання практичних завдань та аналіз рівня сформованості ключових компетентностей в обох групах.

Результати експерименту порівнювалися за такими критеріями: рівень засвоєння теоретичних знань, уміння застосовувати знання на практиці, активність у навчальній діяльності та розвиток критичного мислення.

Такий підхід дозволяє об'єктивно оцінити ефективність впровадженої моделі та визначити її переваги порівняно з традиційним навчанням.

Було сформовано такі гіпотези:

- H_0 : учні експериментальної групи покажуть вищий приріст у знаннях про «зелену» хімію порівняно з контрольною групою.
- H_1 : учні експериментальної групи не продемонструють вищий приріст у знаннях про «зелену» хімію (до/після) порівняно з контрольною групою.

Апробацію здійснювали у Золочівському закладі загальної середньої освіти І-ІІІ ступенів №2 імені Маркіяна Шашкевича Золочівської міської ради Золочівського району Львівської області.

Дослідження проводили у паралельних класах — 11-А та 11-Б з приблизно однаковим соціо-демографічним профілем. Розмір вибірки становив 25 учнів.

Залежні змінні (вимірювані результати):

1. Знання — тест (кількісний бал) з теорії «зеленої» хімії (20–30 питань: факт/термін/коротка задача).
2. Практичні вміння — рубрика оцінки лабораторної роботи (безпека, точність вимірювань, методика, інтерпретація результатів).
3. Екологічні цінності/ставлення — стандартизована шкала ставлення до довкілля.
4. Проектний продукт — якісна оцінка мініпроєкту (реалістичність, екологічний ефект, презентація).
5. Участь — журнал активності (кількість відповідей, участь у дискусіях).

Незалежні змінні:

- Тип навчання (КГ чи ЕГ).

Контрольні змінні:

- Початковий рівень знань, вік, академічний середній бал (щоб при необхідності врахувати в аналізі).

Тестові завдання для перевірки знань містили питання різних типів (додаток 2):

- Multiple-choice (з вибором відповіді) – дозволяє швидко оцінити рівень засвоєння теоретичного матеріалу.

- Короткі відповіді – стимулюють учасників формулювати власну думку, демонструючи глибше розуміння теми.

Тестові завдання оцінювалися за шкалою: правильна відповідь – 1 бал, неправильна – 0 балів.

Анкетування для оцінки ставлень та мотивації дозволяло визначити зміну ставлення учасників до екологічно безпечних технологій та «зеленої» хімії після впровадження моделі.

- Приклад позиції: *«Я вважаю, що хімічні технології можуть бути сумісні з охороною довкілля.»*

- Приклад позиції: *«Я готовий/готова застосовувати в побуті матеріали, що підлягають біодеградації.»*

Анкетування дозволяло відстежити динаміку ставлень і мотивації до практичного застосування знань.

Для оцінки ефективності моделі у формуванні практичних умінь використовувалася рубрика, що включала ключові критерії:

- Безпека – дотримання правил безпеки під час роботи (0–2 бали)
- Точність вимірювань – правильність проведених експериментів (0–2 бали)
- Оформлення звіту – повнота та акуратність звітної документації (0–2 бали)
- Інтерпретація результатів – здатність аналізувати експериментальні дані та робити висновки (0–2 бали)
- Екологічне обґрунтування висновків – врахування принципів «зеленої» хімії у висновках (0–2 бали)

Сумарний бал за лабораторну роботу дозволяв порівняти рівень практичних умінь учасників контрольної та експериментальної груп.

3.3. Аналіз результатів педагогічного експерименту

Для інтерпретації отриманих результатів використовували методику малої вибірки. Це статистичний підхід для аналізу даних, коли обсяг вибірки невеликий зазвичай до 30 одиниць (у нашому дослідженні по 25 учасників). Така методика має свої особливості, оскільки мала кількість даних може призвести до вищої статистичної похибки, але дозволяє робити висновки про генеральну сукупність [9, 23, 28].

Для підтвердження ефективності впровадженої моделі формування екологічної компетентності учнів з хімії було проведено статистичну обробку отриманих результатів. Основним методом перевірки достовірності відмінностей між показниками контрольної (КГ) та експериментальної (ЕГ) груп виступає t-критерій Стьюдента для незалежних вибірок. Статистичну обробку отриманих результатів проводили у програмі MS Excel [9, 23, 28].

Цей критерій дозволяє з'ясувати, чи є спостережувана різниця між середніми значеннями двох вибірок статистично значущою, тобто чи може вона бути пояснена не випадковими факторами, а впливом експериментального чинника — у нашому випадку, впровадженням навчальної моделі на засадах «зеленої» хімії.

t-критерій (Student's t-test) належить до параметричних методів, які застосовуються для порівняння середніх значень двох незалежних вибірок при нормальному розподілі даних. Його суть полягає в тому, щоб оцінити співвідношення між різницею середніх значень і величиною випадкової мінливості в обох групах [9, 23, 28].

Для перевірки стабільності отриманих результатів здійснено розрахунок t-критерію Стьюдента при вибірці 25 учасників у кожній групі.

Усі значення t залишилися істотно більшими за критичне значення $t_{кр} = 2,01$ ($p < 0,001$, ймовірність випадкового (статистично незначущого) походження отриманої різниці менша ніж 0,1 %).

Таким чином, отримані відмінності між контрольними та експериментальними групами залишаються статистично достовірними.

Це підтверджує надійність експериментальних даних і стабільність ефекту від впровадження моделі навчання на засадах «зеленої» хімії.

У таблиці 4 подано порівняльні дані результатів контрольної та експериментальної груп за основними критеріями. На рисунку 6 зображено динаміку показників.

Таблиця 4

Порівняльні результати контрольної та експериментальної груп

Критерій	Контрольна група (КГ), %	Експериментальна група (ЕГ), %	Різниця	t_{екс}
Рівень засвоєння теоретичних знань	65 %	82 %	+17	6,01
Уміння застосовувати знання на практиці	56 %	78 %	+22	7,78
Активність у навчальній діяльності	62 %	85 %	+23	8,13
Розвиток критичного мислення	50 %	74 %	+24	8,49

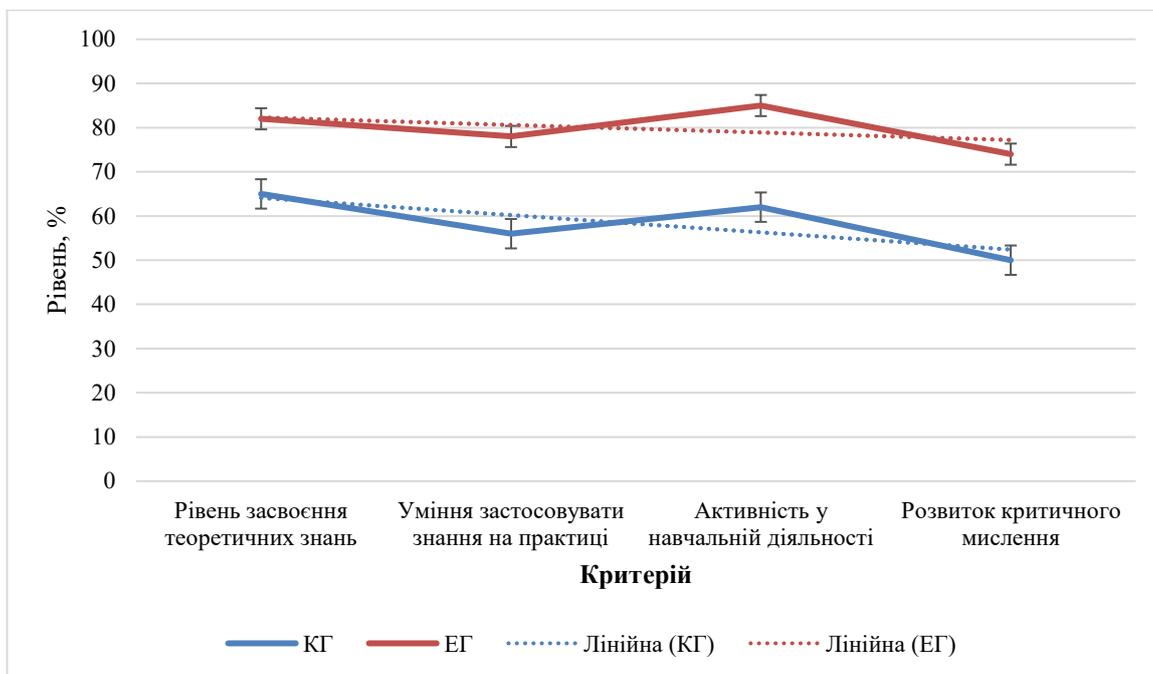


Рис. 6. Динаміка показників у контрольній (КГ) та експериментальній (ЕГ) групах

Одним із базових показників ефективності освітнього процесу є якість засвоєння теоретичного матеріалу. В експериментальній групі середній результат становив 82 %, тоді як у контрольній — 65 %. Підвищення рівня засвоєння теорії в експериментальній групі пояснюється кількома чинниками. По-перше, навчальний матеріал подавався не ізольовано, а у зв'язку з реальними прикладами застосування у виробництві, побуті та природоохоронній діяльності. По-друге, використовувалися активні методи навчання — проєктні завдання, групові дискусії, проведення дослідів. Такі підходи сприяли осмисленню теоретичних понять і їх систематизації.

Варто зазначити, що учасники експериментальної групи частіше демонстрували здатність пояснити суть принципів «зеленої» хімії власними словами, наводили приклади їх реалізації, тоді як представники контрольної групи переважно відтворювали матеріал репродуктивно. Це підтверджує, що запропонована модель сприяє глибшому розумінню навчального змісту.

Другим важливим показником була здатність здобувачів освіти переносити отримані знання у практичні ситуації. За результатами оцінювання,

у контрольній групі середній рівень склав **56 %**, тоді як у експериментальній — **78 %**.

Різниця у 22 відсоткових пункти свідчить про значне підвищення практичної підготовленості учнів, які навчалися за новою моделлю. Це досягнуто завдяки акценту на експериментальній діяльності та інтеграції екологічного підходу у виконання лабораторних робіт.

Зокрема, під час експерименту учасники ЕГ виконували завдання, пов'язані з аналізом впливу хімічних процесів на довкілля, проводили розрахунки енергоспоживання реакцій, шукали способи утилізації відходів. Такий тип завдань сприяв формуванню навичок екологічно відповідальної поведінки, а також розвитку системного мислення.

Учасники контрольної групи, які працювали за традиційною схемою лабораторних занять, демонстрували нижчу мотивацію до пошуку альтернативних рішень і частіше допускали помилки при практичному застосуванні знань. Це підтверджує доцільність переходу від пасивного засвоєння матеріалу до діяльнісно-орієнтованого навчання.

Активність здобувачів освіти розглядалася як важливий індикатор мотиваційної сфери навчання. Показники активності включали участь у дискусіях, ініціативність у виконанні проєктів, готовність до співпраці та самостійного пошуку інформації.

В експериментальній групі рівень активності становив **85 %**, тоді як у контрольній — **62 %**. Підвищення на 23 відсоткові пункти демонструє, що впроваджена модель створює умови для більшої залученості здобувачів в освітній процес.

Фактори, що сприяли цьому, включають:

- використання групових форм роботи, де кожен учасник мав певну роль;
- включення елементів змагання у виконанні завдань;
- залучення учнів до обговорення реальних екологічних проблем, що викликало емоційний відгук і підвищувало зацікавлення.

Активна навчальна позиція позитивно вплинула і на інші критерії — учасники, які брали активну участь у дискусіях, демонстрували кращі результати в тестах і вищий рівень критичного мислення.

Одним із стратегічних результатів експерименту стало формування критичного мислення, що є однією з ключових компетентностей сталого розвитку. За цим критерієм показники експериментальної групи становили **74 %**, а контрольної — **50 %**.

У процесі навчання здобувачі експериментальної групи виконували завдання, спрямовані на аналіз альтернативних хімічних процесів, оцінювання їхнього впливу на довкілля та формулювання аргументованих висновків. Наприклад, обговорювалися проблеми використання пластику, шляхи заміни токсичних реагентів, питання енергозбереження у виробництві.

Такі завдання сприяли розвитку вміння оцінювати ситуацію з різних позицій, формулювати власну точку зору, робити усвідомлений вибір. У контрольній групі подібні навички формувалися значно слабше, оскільки навчальний процес залишався переважно репродуктивним.

Отже, результати експериментальної групи значно перевищують показники контрольної за всіма критеріями. Найбільший приріст спостерігається у рівнях розвитку критичного мислення та практичних умінь, що свідчить про ефективність використання моделі з точки зору формування ключових компетентностей.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу науково-методичної літератури з'ясовано, що екологізація змісту навчального предмета хімії є важливим напрямом модернізації природничої освіти. Вона сприяє формуванню в учнів екологічного мислення, відповідального ставлення до природи, умінь оцінювати наслідки науково-технічного прогресу та приймати рішення на основі принципів сталого розвитку. Реалізація цього підходу є необхідною умовою підготовки компетентних, екологічно грамотних громадян, здатних мислити глобально та діяти локально в інтересах майбутнього покоління.

Сформовано педагогічну модель навчання хімії на засадах «зеленої» хімії, що передбачає інтеграцію 12 принципів «зеленої» хімії в освітній процес, застосування дослідницько-діяльнісного підходу, використання практико орієнтованих завдань і лабораторних робіт із екологічним змістом, формування відповідального ставлення учнів до довкілля через навчальні проєкти, дискусії, аналітичні завдання та рефлексію.

Розроблено комплекс діагностичних інструментів для перевірки ефективності моделі, до якого увійшли: тести знань (multiple-choice, короткі відповіді); анкета ставлень до екологічних цінностей); рубрика оцінювання лабораторних робіт за критеріями безпеки, точності.

Аналіз результатів експерименту дозволяє зробити висновок, що навчання хімії з урахуванням принципів «зеленої» хімії: стимулює пізнавальну активність і самостійність учнів; сприяє кращому розумінню екологічного контексту хімічних процесів; розвиває здатність критично оцінювати наслідки людської діяльності для довкілля; формує особистісну відповідальність за екологічно свідоме поведіння у побуті й професійній діяльності.

Таким чином, запропонована модель навчання хімії на засадах «зеленої» хімії: є педагогічно, екологічно та методично обґрунтованою; забезпечує підвищення рівня сформованості екологічної компетентності учнів; сприяє інтеграції принципів сталого розвитку у зміст сучасної хімічної освіти.

Перспективи подальших досліджень убачаються у розширенні експериментальної бази, впровадженні моделі у практику навчання природничих дисциплін, а також у розробленні методичних рекомендацій для вчителів щодо інтеграції принципів «зеленої» хімії в освітній процес.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 10 ідей, як зробити уроки хімії легкими й пізнавальними. *Нова українська школа* | Веб-ресурс НУШ. URL: <https://nus.org.ua/2024/02/28/10-idej-yak-zrobyty-uroky-himiyi-legkymy-j-piznavalnymy/> (дата звернення: вересень 2025).
2. 12 принципів зеленої хімії. Group Product Portal. URL: <https://www.products.pcc.eu/uk/blog/чого-нас-навчають-12-принципів-зеленоїх/> (дата звернення: травень 2024).
3. Бех І. Д. Теоретико-прикладний сенс компетентнісного підходу у педагогіці. *Виховання і культура*. №12 (17, 18). 2009. С. 5–7.
4. Бондар В.І. Дидактика. К. : Либідь, 2005. С. 249–250.
5. Волкова Н. П. Педагогіка : навч. посібник. Вид. 2-ге, перероб., доп. Київ : «Академвидав». 2007. 616 с.
6. Гісем О. О., Мартинюк О. О. Громадянська освіта (інтегрований курс, рівень стандарту) : підруч. для 10 кл. закл. загал. серед. освіти. Харків : Вид-во «Ранок», 2018. 192 с.
7. Григорович О. В. Хімія (рівень стандарту) : підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти. Харків : Вид-во «Ранок», 2019. 224 с.
8. Гуревич Р. С., Кадемія М. Ю. Інформаційно-комунікаційні технології в навчальному процесі : посібник. Вінниця : ДОВ «Вінниця», 2002. 116 с.
9. Дубасенюк О.А. Методологія та методи науково-педагогічного дослідження: навч.-методичний посібник. Житомир: Полісся, 2016. 256 с.
10. Екологічна політика України: цілі, напрями та інструменти реалізації. *ЕкоПолітика*. URL: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/ekologichna-politika-ukraini-cili-napryami-ta-instrumenti-realizacii/> (дата звернення: грудень 2024).
11. Життєва компетентність особистості: Науково-методичний посібник / за ред. Л. Сохань, І. Єрмакова, Г. Несен. К. : Богдана, 2003. 520 с.

12. Зайцева Л. О. Складові концепції сталого розвитку. *Ефективна економіка*. 2019. № 11. URL: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.11.55> (дата звернення: листопад 2024).
13. Зайченко І. В. Педагогіка. Навчальний посібник для студентів вищих педагогічних навчальних закладів, 2-е вид. К., «Освіта України», «КНТ», 2008. 528 с.
14. Зелена хімія – Wikiwand. *Wikiwand - Wikipedia, and beyond*. URL: https://www.wikiwand.com/uk/articles/Зелена_хімія (дата звернення: листопад 2024).
15. Історія педагогіки: курс лекцій. *Безкоштовна бібліотека підручників*. URL: <https://www.info-library.com.ua/books-book-69.html> (дата звернення: листопад 2024).
16. Кисельов М. М. Феномен екології: світоглядно-філософський аспект. *Освіта і управління*. 1997. № 3. С. 156–166.
17. Крисаченко В. С., Хилько М. І. Екологія. Культура. Політика: Концептуальні засади сучасного розвитку. К. : Знання України, 2002. 598 с.
18. Лашевська Г. А., Лашевська А. А. Хімія : (рівень стандарту) : підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти. Київ : Генеза, 2019. 192 с.
19. Максименко В. П. Сучасний урок: теорія і практика (дидактичний аспект) Математика в сучасній школі. 2013. - №11. С. 11–16.
20. Марцева Л. А. Проблеми екологічної освіти та виховання екологічної культури студентів вищих навчальних закладів I-II рівнів акредитації. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання у підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми: зб. наук, пр.: У 2 ч. / редкол. : І. А. Зязюн та ін. К. : Вінниця, 2002. Ч. 2. С 124–128.*
21. Методичні рекомендації. *Інститут модернізації змісту освіти*. URL: <https://imzo.gov.ua/metodychni-rekomendatsii/> (дата звернення: 19.06.2025).
22. Міністерство освіти і науки України. URL: <https://mon.gov.ua/> (дата звернення: 19.06.2025).

23. Огірко О. І., Галайко Н. В. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник. Львів: ЛьвДУВС, 2017. 292 с.
24. Попель П. П., Крикля Л. С. Хімія (рівень стандарту) : підруч. для 11 кл. закладів загальної середньої освіти. Київ : ВЦ «Академія», 2019. 248 с.
25. Про деякі питання державних стандартів повної загальної середньої освіти : Постанова Каб. Міністрів України від 30.09.2020 № 898 : станом на 2 верес. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/898-2020-п#Text>.
26. Пустовіт Н. Екологічна компетентність як мета освіти в інтересах збалансованого розвитку. *Формування законодавчої та інституційної бази збалансованого розвитку*. К. : Аспект-Поліграф, 2010. 32 с.
27. Родніна І. В. Компетентнісно орієнтований підхід до навчання. Харків.: Основа, 2006. 94 с.
28. Руденко В. М. Математична статистика. Навч. посіб. К.: Центр учбової літератури, 2012. 304 с.
29. Савчин М. М. Хімія (рівень стандарту) : підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти. К. : Грамота, 2019. 240 с.
30. Симчак Р. В., Барановський В. С. Імплементация принципів «зеленої хімії» в освітній процес підготовки бакалаврів і магістрів природничих спеціальностей. *Підготовка майбутніх учителів фізики, хімії, біології та природничих наук у контексті вимог Нової української школи*: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції. 23–24 травня 2024 р., м. Тернопіль. 44–47 с.
31. Сяська І. О. Сутнісні характеристики процесу формування екологічної свідомості особистості. *Теоретико-методичні проблеми виховання дітей та учнівської молоді* : зб. наук. пр. Кам'янець-Подільський : Видавець ПП Зволейко Д. Г., 2012. Вип. 16, кн. 3. С. 202–211.
32. Теорія уроків. *Безкоштовна бібліотека підручників*. URL: <https://www.info-library.com.ua/books-text-4317.html> (дата звернення: листопад 2024).

33. Типи уроків за Оніщуком. *Світ літератури - Головна сторінка*. URL: https://svitliteraturu.com/board/skarbnichka/tipi_urokiv_za_onishhukom/5-1-0-131 (дата звернення: листопад 2024).
34. Тихомірова Ф. А. Зелена хімія: нова хімічна філософія. Вісник ОНУ. Хімія. 2014. Т. 20, № 2. С. 93–100.
35. Філіпчук Г. Г. Еко-етична парадигма в освіті дорослих. *Педагогічний процес: теорія і практика: зб. наук, праць*. К. : П / П «ЕКМО», 2005. С. 281–286.
36. Шевченко І., Дармофал Е. Концепція сталого розвитку закладу вищої освіти: трансформаційний аспект. *Ukrainian Educational Journal*. 2025. № 2. С. 55–64. URL: <https://doi.org/10.32405/2411-1317-2025-2-55-64>.
37. Ярошенко О. Г. Хімія (рівень стандарту) : підруч. для 11 кл. закладів загальної середньої освіти. К. : УОВЦ «Оріон», 2019. 208 с.
38. Asif M. Green Synthesis, Green Chemistry, and Environmental Sustainability. *Green Chemistry & Technology Letters*. 2021. Vol. 7, no. 1. P. 18–27. URL: <https://doi.org/10.18510/gctl.2021.713>.
39. Bukanov G. M. The concept of sustainable development as a basis for the formation of state environmental policy at the state and regional levels. *Scientific notes of taurida V.I. vernadsky university, series Public administration*. 2020. No. 3. P. 71–76. URL: <https://doi.org/10.32838/tnu-2663-6468/2020.3/13>.
40. Cebrián G., Junyent M., Mulà I. Competencies in Education for Sustainable Development: Emerging Teaching and Research Developments. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, no. 2. P. 579. URL: <https://doi.org/10.3390/su12020579>.
41. Chemistry Teachers' Perspectives on the Implementation of Interdisciplinary Science Projects in Vocational Schools: Challenges and Strategic Solutions / D. Lestari et al. *JTK (Jurnal Tadris Kimiya)*. 2025. Vol. 10, no. 1. P. 76–91. URL: <https://doi.org/10.15575/jtk.v10i1.37830>.
42. Chen C., Shahbaz P., Haq S. U. Transforming students' green behavior through environmental education: the impact of institutional practices and

- policies. *Frontiers in Psychology*. 2025. Vol. 15. URL: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1499781>.
43. Chen M., Jeronen E., Wang A. What Lies Behind Teaching and Learning Green Chemistry to Promote Sustainability Education? A Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17, no. 21. P. 7876. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph17217876>.
44. Conceptualising HE educators' capabilities to teach the crisis: towards critical and transformative environmental pedagogies / J. Owens et al. *Frontiers in Education*. 2023. Vol. 8. URL: <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1193498>.
45. Diniaty A. Development of Chemistry Learning Videos in the Industries. *International Journal of Chemistry Education Research*. 2021. Vol. 3, no. 5. P. 22–25. URL: <https://doi.org/10.20885/ijcer.vol5.iss1.art3>.
46. Education for Sustainable Development. URL: <https://www.unesco.org/en/sustainable-development/education> (дата звернення: лютий 2025).
47. Educational Media Development using Guided Discovery Learning Approach in Chemical Element Subject / I. R. D. Renavitasari et al. *Journal of Information Technology and Computer Science*. 2023. Vol. 8, no. 2. P. 72–85. URL: <https://doi.org/10.25126/jitecs.202382448>.
48. Glavič P. Identifying Key Issues of Education for Sustainable Development. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, no. 16. P. 6500. URL: <https://doi.org/10.3390/su12166500>.
49. Green Chemistry and Responsible Research and Innovation: Moving Beyond the 12 Principles / M. Amoneit et al. *Journal of Cleaner Production*. 2024. P. 144011. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144011>.
50. Green Chemistry: A Framework for a Sustainable Future / K. N. Ganesh et al. *Environmental Science & Technology*. 2021. Vol. 55, no. 13. P. 8459–8463. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03762>.

51. Greener synthesis of chemical compounds and materials / O. V. Kharissova et al. *Royal Society Open Science*. 2019. Vol. 6, no. 11. P. 191378. URL: <https://doi.org/10.1098/rsos.191378>.
52. Hasanova G.I., Safarli A. J. Education for Sustainable Development: a review. *Green Economics*. 2024. Vol.2, no.1. P.102–111.
53. Huarong W., Surif J. Global Trends and Influences in Green Chemistry Education: A Comprehensive Review of Contributions (2014–2024). *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*. 2024. Vol. 13, no. 4. P. 2281–2291. URL: <https://doi.org/10.6007/ijarped/v13-i4/23819>.
54. Jabareen Y. A New Conceptual Framework for Sustainable Development. *Environment, Development and Sustainability*. 2006. Vol. 10, no. 2. P. 179–192. URL: <https://doi.org/10.1007/s10668-006-9058-z>.
55. Marzuki K., Ansar A. Curriculum Development Based on Environment for Sustainable Education. *West Science Interdisciplinary Studies*. 2024. Vol. 2, no. 05. P. 993–998. URL: <https://doi.org/10.58812/wsis.v2i05.900>.
56. Palit S. Application of nanotechnology in the energy industry, green sustainability and the visionary future. *Academia Letters*. 2021. URL: <https://doi.org/10.20935/al2326>.
57. Ratnani S., Mahilkar Sonkar S., Kumari R. Strategies for sustainable organic synthesis. *Journal of the Iranian Chemical Society*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/s13738-022-02687-5>.
58. Reimagining Chemistry Education for Pre-Service Teachers Through TikTok, News Media, and Digital Portfolios / J. Peña-Martínez et al. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, no. 14. P. 7711. URL: <https://doi.org/10.3390/app15147711>.
59. Reunamo J., Pipere A. Doing research on education for sustainable development. *International Journal of Sustainability in Higher Education*. 2011. Vol. 12, no. 2. P. 110–124. URL: <https://doi.org/10.1108/14676371111118183>.
60. Shekhar H., Kumar M. Green Chemical Synthesis And Properties Of Solid Dispersions Of Benzimidazole–B. Naphthol Binary Drug System. *Green*

Chemistry & Technology Letters. 2018. T. 4, № 2. C. 01–09.
URL: <https://doi.org/10.18510/gctl.2018.421>.

61. The Effects of the Design and Development of a Chemistry Curriculum Reform on Teachers' Professional Growth: A Case Study / F. Coenders et al. *Journal of Science Teacher Education*. 2010. Vol. 21, no. 5. P. 535–557.
URL: <https://doi.org/10.1007/s10972-010-9194-z>.

62. Tykhomirova F. A. Green Chemistry: New Chemical Philosophy. *Odesa National University Herald. Chemistry*. 2015. Vol. 20, no. 2(54). P. 93.
URL: [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2015.2\(54\).50636](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2015.2(54).50636).

63. Tykhomirova F. A. Green Chemistry: New Chemical Philosophy. *Odesa National University Herald. Chemistry*. 2015. Vol. 20, no. 2(54). P. 93.
URL: [https://doi.org/10.18524/2304-0947.2015.2\(54\).50636](https://doi.org/10.18524/2304-0947.2015.2(54).50636).

64. Wang W. Greening Reform of Higher Education: The Value of the Times, Theoretical Basis and Promoting Strategies. *Journal of Education and Educational Research*. 2023. Vol. 3, no. 3. P. 90–97.
URL: <https://doi.org/10.54097/jeer.v3i3.9560>.

65. Warner J. The natural evolution of green chemistry. *Green Chemistry Letters and Reviews*. 2007. Vol. 1, no. 1. P. 1–2. URL: <https://doi.org/10.1080/17518250701642910>.

План-конспект заняття

Тема заняття: «Зелена» хімія: сучасні завдання перед хімічною наукою та хімічною технологією.

Очікувані результати: *оцінює* значення хімії у створенні нових матеріалів, розвитку нових напрямів технологій, розв'язанні продовольчої, сировинної, енергетичної, екологічної проблем; *усвідомлює* значення нової філософії у хімії і власної громадянської позиції для реалізації концепції сталого розвитку суспільства; причинно-наслідкові зв'язки у природі та її цінність і цілісність; право на власний вибір і прийняття рішення; відповідальність за збереження довкілля від шкідливих викидів; *популяризує* хімічні знання; *критично ставиться* до хімічної інформації з різних джерел; *висловлює судження* щодо значення хімічних знань як складника загальної культури людини; про вплив діяльності людини на довкілля та охорону його від забруднень;

виробляє власні ставлення до природи як найвищої цінності.

Мета: навчальна: розкрити сутність концепції «зеленої» хімії та її 12 принципів; ознайомити учнів із прикладами «зелених» технологій у сучасній хімічній промисловості; сформувані уявлення про роль хімії у сталому розвитку суспільства; **виховна:** виховувати екологічну культуру, відповідальне ставлення до природи; формувати усвідомлення особистої ролі у збереженні довкілля; **розвивальна:** розвивати критичне мислення, аналітичні навички, уміння працювати в групі; сприяти формуванню дослідницької компетентності через проведення міні-експериментів.

Тип уроку: комбінований.

Обладнання: мультимедійна презентація або відео «12 принципів зеленої хімії»; плакати або картки з принципами «зеленої» хімії; пробірки, піпетки, спиртівка, розчин оцтової кислоти, сода, вапняна вода; кукурудзяний крохмаль, гліцерин, оцет, ложка, плитка або електроплитка (для біопластику); аркуші для рефлексії, таблиця «Принципи зеленої хімії, реалізовані в експериментах».

Хід заняття

Структура заняття	Діяльність вчителя та учнів
Організація класу до проведення уроку	<p>Налаштування учнів на роботу, перевірка готовності до уроку (наявність зошита, книжки).</p> <p>Налаштування учнів на екологічну тематику.</p> <p>Висловлення очікувань від уроку (учні коротко формулюють, що хочуть дізнатися про «зелену» хімію).</p>
Підготовка учнів до засвоєння нових знань: Актуалізація опорних знань	<p>Фронтальне опитування:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Що таке хімічна реакція? 2. Які фактори впливають на швидкість реакції? 3. Які небезпеки можуть виникати при використанні хімічних речовин у побуті та промисловості? <p>Міні-дискусія: <i>Чому іноді «корисна» хімія може шкودити довкіллю?</i></p>
Мотивація навчально-пізнавальної діяльності	<p>Відеофрагмент або слайд: «Світ без відходів: як хімія допомагає планеті».</p> <p>Проблемне питання: «Чи може сучасна хімія бути екологічною?»</p> <p>Бесіда: учитель підводить до теми, підкреслюючи, що людство шукає способи зробити хімічні процеси безпечними для природи.</p> <p>Оголошення теми й мети уроку.</p>
Вивчення нового матеріалу	<p>Пояснення вчителя з елементами інтерактиву.</p> <p>Учитель знайомить учнів із поняттям «зелена хімія» — наприклад, що розробляє безпечні для людини та природи процеси.</p> <p>Коротка характеристика 12 принципів «зеленої» хімії.</p> <p>Наприклад:</p> <ul style="list-style-type: none"> • запобігання утворенню відходів;

	<ul style="list-style-type: none"> • використання безпечних реагентів; • енергоощадність процесів; • заміна токсичних речовин на біорозкладні; • використання відновлюваної сировини. <p>Обговорення прикладів:</p> <ul style="list-style-type: none"> • біопаливо замість бензину; • розробка біорозкладних полімерів; • каталізатори для зменшення енергозатрат.
<p>Закріплення знань</p>	<p>(Реалізація моделі інтеграції принципів «зеленої» хімії)</p> <p>Дослід 1. Екологічна нейтралізація</p> <p>Мета: порівняти традиційний і «зелений» підхід до реакцій нейтралізації.</p> <p>Матеріали: оцтова кислота, сода, пробірки, піпетки, вапняна вода.</p> <p>Хід роботи:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. У першій пробірці — звичайна реакція оцтової кислоти з содою. 2. У другій — реакція відбувається з меншою кількістю реагентів, щоб уникнути надлишку CO₂. 3. Спостереження: утворюється сіль, вода, газ. 4. Обговорення: які продукти безпечні, які — ні? Як зменшити вплив на довкілля? <p>Висновок: зелений підхід передбачає мінімізацію відходів і контроль над реакціями.</p> <p>Реалізовані принципи: №1 (запобігання утворенню відходів), №6 (ефективність енергоспоживання).</p> <p>Дослід 2. Отримання біопластику</p> <p>Мета: продемонструвати екологічну альтернативу звичайним полімерним матеріалам.</p>

	<p>Матеріали: кукурудзяний крохмаль, гліцерин, оцет, вода, ложка, плитка.</p> <p>Хід роботи:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Змішати 2 ст. ложки крохмалю, 1 ложку гліцерину, 1 ложку оцту, 2 ложки води. 2. Нагрівати суміш, помішуючи, до утворення густої маси. 3. Викласти на плівку, дати застигнути. 4. Порівняти властивості з пластиком. <p>Обговорення:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Чому цей матеріал є безпечним для природи? – Які ще способи існують для зменшення полімерних відходів? <p>Реалізовані принципи: №4 (використання відновлюваної сировини), №10 (біодеградація продуктів).</p>																				
Рефлексія та узагальнення	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обговорення: <ul style="list-style-type: none"> – Які принципи «зеленої» хімії реалізовані під час дослідів? – Як можна застосувати їх у побуті чи на виробництві? 2. Заповнення таблиці: <table border="1" data-bbox="547 1384 1503 1825"> <thead> <tr> <th data-bbox="547 1384 596 1520">№</th> <th data-bbox="596 1384 927 1520">Принцип «зеленої» хімії</th> <th data-bbox="927 1384 1177 1520">Приклад з уроку</th> <th data-bbox="1177 1384 1503 1520">Значення для довкілля</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="547 1520 596 1599"></td> <td data-bbox="596 1520 927 1599"></td> <td data-bbox="927 1520 1177 1599"></td> <td data-bbox="1177 1520 1503 1599"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="547 1599 596 1677"></td> <td data-bbox="596 1599 927 1677"></td> <td data-bbox="927 1599 1177 1677"></td> <td data-bbox="1177 1599 1503 1677"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="547 1677 596 1756"></td> <td data-bbox="596 1677 927 1756"></td> <td data-bbox="927 1677 1177 1756"></td> <td data-bbox="1177 1677 1503 1756"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="547 1756 596 1825"></td> <td data-bbox="596 1756 927 1825"></td> <td data-bbox="927 1756 1177 1825"></td> <td data-bbox="1177 1756 1503 1825"></td> </tr> </tbody> </table> 3. Міні-анкетування (самооцінка): <ul style="list-style-type: none"> • Що нового я дізнався сьогодні? • Які висновки зробив для себе? • Як би я застосував ці знання у повсякденному житті? 	№	Принцип «зеленої» хімії	Приклад з уроку	Значення для довкілля																
№	Принцип «зеленої» хімії	Приклад з уроку	Значення для довкілля																		

Підсумок уроку	Учитель підкреслює, що зелена хімія — це наука майбутнього , яка поєднує знання, технології та етику. Оцінює активність, результати експериментів і роботу в групах.
Домашнє завдання	Опрацювати параграф підручника. Підготувати мініповідомлення: « Зелена хімія у моєму житті: приклади екологічної поведінки ». За бажанням — створити постер або слайд «12 принципів зеленої хімії» з власними ілюстраціями.

Тестові завдання для перевірки знань**I. Вибір відповіді, 15 завдань)**

1. Який принцип «зеленої» хімії передбачає мінімізацію утворення відходів?
 - A) Використання відновлюваних ресурсів
 - B) Попередження відходів
 - C) Підвищення безпеки
 - D) Каталіз
2. Що є прикладом відновлюваної сировини для біопластику?
 - A) Нафта
 - B) Цукрова тростина
 - C) Полівінілхлорид
 - D) Ацетон
3. Використання каталізаторів дозволяє:
 - A) Збільшити температуру реакції
 - B) Зменшити енергоспоживання
 - C) Змінити колір продукту
 - D) Збільшити об'єм відходів
4. Принцип «енергетична ефективність» передбачає:
 - A) Використання будь-яких джерел енергії
 - B) Зменшення енергоспоживання
 - C) Збільшення тривалості процесу
 - D) Виключення лабораторних вимірювань
5. Приклад небезпечного розчинника, який слід замінювати:
 - A) Вода
 - B) Етанол
 - C) Хлороформ
 - D) Гліцерин
6. Основна мета «зеленої» хімії:

- A) Максимізація прибутку
 - B) Мінімізація впливу на довкілля
 - C) Використання нових реактивів
 - D) Збільшення обсягів виробництва
7. Що є прикладом біорозкладного матеріалу?
- A) Поліетилен
 - B) PLA (полілактид)
 - C) ПВХ
 - D) Полістирол
8. Який метод дозволяє зменшити обсяг відходів у хімічному процесі?
- A) Використання надлишку реагентів
 - B) Оптимізація реакційних умов
 - C) Виключення лабораторних спроб
 - D) Підвищення температури
9. Що з наведеного НЕ відноситься до принципів «зеленої» хімії?
- A) Використання безпечних реагентів
 - B) Мінімізація відходів
 - C) Підвищення токсичності продуктів
 - D) Енергетична ефективність
10. Який вид енергії є найбільш бажаним для «зеленої» хімії?
- A) Сонячна
 - B) Вугілля
 - C) Нафта
 - D) Природний газ
11. Який процес є прикладом відновлення відходів?
- A) Захоронення
 - B) Повторне використання
 - C) Спалювання без енергозбереження
 - D) Залишення у природі
12. Що є прикладом безпечного робочого середовища у лабораторії?

- A) Відкритий вогонь без контролю
- B) Використання витяжних шаф
- C) Зберігання реактивів на підвіконні
- D) Відсутність засобів індивідуального захисту

13. Виберіть принцип «зеленої» хімії, який передбачає використання відновлюваних джерел:

- A) Принцип енергоефективності
- B) Використання відновлюваних ресурсів
- C) Каталіз
- D) Мінімізація ризику

14. Що є прикладом альтернативного розчинника?

- A) Толуен
- B) Вода
- C) Бензол
- D) Хлороформ

15. Яка мета використання мікрохвильового нагрівання в синтезі?

- A) Збільшення токсичності
- B) Скорочення часу реакції та енергозбереження
- C) Підвищення обсягу відходів
- D) Виключення контролю температури

II. Короткі відповіді (10 завдань)

16. Назвіть один із 12 принципів «зеленої» хімії.

17. Наведіть приклад відновлюваної сировини, що використовується для біопластику.

18. Чому використання каталізаторів може зменшити енергоспоживання процесу?

19. Які переваги використання біорозкладних матеріалів у побуті та промисловості?

20. Назвіть два способи мінімізації утворення відходів у лабораторії.

21. Що таке «екологічне обґрунтування» результатів експерименту?

22. Наведіть приклад безпечного розчинника для органічної реакції.
23. Як можна оцінити енергетичну ефективність хімічного процесу?
24. Яким чином принцип «попередження відходів» реалізується на практиці?
25. Чому важливо використовувати відновлювані джерела для хімічних процесів?

III. Логічні/аналітичні завдання (5 завдань)

26. Порівняйте вплив поліетилену та PLA на довкілля після утилізації.
27. Складіть план експерименту з використанням каталізатора, який зменшує енергоспоживання.
28. Обґрунтуйте, чому багато сучасних синтезів у хімії проводять при кімнатній температурі замість нагрівання.
29. Визначте можливі помилки в лабораторії, які можуть збільшити утворення відходів.
30. Проаналізуйте, як застосування принципів «зеленої» хімії може змінити виробничий процес у хімічній промисловості.