

Лекція 6

ЗЕЛЕНА ХІМІЯ

Бурхливий розвиток хімічної науки та промисловості ставить людство перед низкою проблем: виснаження невідновлюваних ресурсів, проблеми безпеки та захворювання населення, пов'язані із хімічним виробництвом та токсичністю деяких його продуктів. Техногенні катастрофи ХХ ст. у Бхопалі, Севезо та Чорнобилі, щорічні витрати на запобігання забруднення довкілля у розмірі 10 млрд. доларів надали потужний імпульс для розробки інноваційного підходу до рішення екологічних проблем за допомогою хімії. Як цілком слушно зазначав український філософ С.Б. Кримський, «природнича екологія перетворюється на культурну онтологію людства» [12]. У зв'язку з цим відбувається актуалізація осмислення новітніх стандартів наукового знання, ініційованих екологічними проблемами. Саме ці обставини спонукають до гуманітаризації та екологізації наукового пізнання.

Екологічне знання стає впливовим фактором розвитку наукового знання. Зокрема як пише французький еколог Л. Мат'є, «екологія з її широким діапазоном діяльності не є розділом біологічної науки, а репрезентує новий етап у розвитку всіх наук. Відтепер прогрес у наукових дослідженнях може бути забезпечений лише об'єднанням зусиль спеціалістів різних галузей знання. Використовуючи досягнення різних наук для розв'язання єдиної задачі, вони осягнуть загальні закони світу»[14]. Поза сумнівом, цією єдиною задачею стає виживання людства, коеволюція людини та природи, всі практичні задачі доцільно підпорядковувати її вирішенню.

Зараз в історії хімії відкривається нова сторінка, пов'язана із розвитком нового інтегративного наукового напрямку – «зеленої», або «екологічно раціональної хімії». Феномен «зеленої хімії» є міждисциплінарним за своєю сутністю: відбувається інтеграція синтетичної органічної хімії із аналітичною хімією, фізичною хімією, токсикологією, мікробіологією, біотехнологією та технічними науками.

Це – суспільний рух та науковий напрямок, що впроваджує широкий спектр урядових наукових та експериментальних заходів серед різних організацій у всьому світі, результати досліджень яких мають спільні цілі. Однак, необхідно відзначити, що при всій наявній сукупності дослідницьких і публіцистичних матеріалів про «зелену хімію» сам феномен потребує філософсько-методологічного дослідження та послідовного впровадження у систему освіти. Специфіку «зеленої хімії» досліджували П. Анастас [16], І. Білецька [3], Л. Кустов [4], О. Великородов [5], М. Полякофф [17] та інші.

При всій наявній сукупності філософських досліджень і публіцистичних матеріалів сам феномен «зеленої хімії» в повній мірі не вивчений. Філософських

та методологічних досліджень у вітчизняній літературі, на жаль, поки недостатньо.

Зокрема у фокусі сучасних дискусій знаходяться принципи «зеленої хімії»[16].

Їх можна виразити за допомогою абрєвіатури «PRODUCTIVELY»[17].

PRODUCTIVELY

P– prevent wastes (попередити витрати)

R– renewable materials (поновлювані матеріали та сировина)

O– omit derivatization steps (виключити побічні реакції)

D– degradable chemical products (хімічні продукти, що розкладаються у природі)

U– use safe synthetic methods (використовувати безпечні синтетичні методи)

C– catalytic reagents (використання каталізаторів)

T– temperature, pressure ambient (використання нормальних температури та тиску)

I– in process monitoring (моніторинг процесу)

V– very few auxiliary substances (мінімальна кількість допоміжних речовин та розчинників)

E– E-factor, maximize feed in product (максимальний вихід продукту)

L– low toxicity of chemical products (низька токсичність хімічних продуктів)

Y– yes, it is safe (так, процес безпечний)

У хімію введені нові межі досліджень та нові терміни: «атомна ефективність», «вроджена безпека», «аналіз життєвого циклу продукту», «йонна рідина», «відновлювані енергоресурси», «екологічна ефективність», «інтенсифікація процесу та інтеграція» тощо.

У «зеленій хімії» користуються принципово новими конструктами «ідеальний процес», «ідеальний продукт» та «ідеальний споживач». Під ідеальним процесом Зелена хімія: нова хімічна філософія розуміють простий, одностадійний процес, екологічно безпечний, ефективний на молекулярному рівні, з використанням відновлюваної сировини та забезпечуючий максимальний вихід продукції. Ідеальний продукт потребує мінімум енергії та упаковки, безпечний, на 100% розкладається мікроорганізмами, може перероблятися.

Зазвичай основна увага зосереджена на процесі виробництва та кінцевому продукті, а споживач відсутній у цій схемі. У «зеленій хімії» створений образ

«ідеального споживача» – він користується мінімальною кількістю товарів, розуміє необхідність збереження довкілля.

Метою «зеленої хімії» стає розвиток технологій, які є результатом більш ефективних хімічних реакцій. «Зелена хімія» робить акцент на запобіганні забруднень на самих початкових стадіях планування та здійснення хімічних процесів та охоплює всі типи та аспекти хімічних процесів, які мінімізують ризик негативного впливу на довкілля та здоров'я людини.

Існує розуміння «зеленої хімії» як мистецтва, «техне», що дозволяє отримати необхідну речовину найбільш безпечним шляхом. «Зелена хімія» припускає вдумливий відбір вихідних матеріалів і схем процесів, який взагалі виключає використання шкідливих речовин, відмову від використання токсичних та небезпечних хімічних речовин, орієнтація на промислові процеси, які не забруднюють довкілля та відповідальність науковця та виробника за продукти, що виробляються.

Один з фундаторів цього напрямку П. Анастас, висловив думку про те, що кращі хіміки світу займаються «зеленою хімією», тому що це просто частина занять гарною хімією, процеси стають не тільки екологічними, але й високо економічними.

Як науковий напрямок «зелена хімія» з'явилася у США у 90-х роках ХХ ст. У 1995 році у США був оприлюднений Президентський проект, який включав науково-дослідницькі гранти, щорічні премії та фінансову підтримку компаніям та вченим, зацікавленим проблемами екологічної хімії, відповідні програми освіти. Шляхи, якими вже зараз рухається зелена хімія, можна розділити на три великі напрямки: нові шляхи синтезу (часто це реакції із застосуванням каталізатору); заміна традиційних органічних розчинників, поновлювані вихідні реагенти (тобто отримані не з нафти). Згодом у Великій Британії, Австралії, Германії та Італії також були створені організації з питань зеленої хімії. Багатьма впливовими міжнародними організаціями, зокрема «Міжнародним союзом чистої та прикладної хімії» (IUPAC), «Європейською радою з хімічної промисловості» (CEFIC), «Організацією з економічних відносин та розвитку» (OECD) було визнано зелену та екологічно раціональну хімію важливим напрямом діяльності. У європейських країнах впроваджуються найбільш прогресивні закони, стосовно «зелених» технологій. В останні роки у провідних університетах світу і наукових хімічних центрах розвивається новий підхід до розробки технологій хімічних процесів, заснований на принципах зеленої хімії. Розробляються нові схеми реакцій і процесів, покликані кардинально зменшити навантаження хімічних виробництв на навколишнє середовище, звести до мінімуму знищення і переробку небезпечних речовин та шкідливих побічних продуктів. Саме на них працюють хіміки, які визнані лідерами цього руху. Фундаментальні дослідження довели, що понадкритичні рідини можуть

забезпечити такий рівень контролю і перетворення в хімічних реакціях і при обробці матеріалів, якого важко досягти традиційними методами.

Оскільки надкритичний CO₂(scCO₂) інертний, то в ньому можливо проводити синтез органічних речовин, у тому числі комплексів металів, полімеризацію, з його допомогою можна екстрагувати необхідні речовини, наприклад, важких металів з розчинів солей. Більш того, можлива екстракція і з твердих речовин. Надкритичний CO₂ має майже таку ж здатність, розчиняти, як гексан. Він в надкритичних умовах є найбільш широко використовуваним розчинником завдяки низькій критичній температурі він– ідеальна речовина для екстракції термічно нестійких речовин. Крім того, CO₂ нетоксичний, негорючий, доступний і недорогий. Його використовують для екстракції поліфенолів, хлорофілів, каротиноїдів [17]. Наприклад, в харчовій промисловості. кофеїн із зерен зеленої кави вилучають саме за допомогою scCO₂, у величезних масштабах. Вуглекислий газ екстрагує тільки кофеїн, залишаючи всі ароматні компоненти і не залишаючи після себе ніякого шкідливого сліду, на відміну від своїх органічних аналогів. Подібну технологію також використовують для екстракції хмелю при виробництві пива, нікотину з тютюну, а також різних речовин в парфумерній промисловості.

Фірма «Дюпон» обрала технологію із застосуванням цього розчинника для виробництва полімерів. У найближчому майбутньому буде впроваджено технологію виробництва фторполімерів, що припускає використання scCO₂, який краще розчиняє фторовані вуглеводні. Вони дозволяють запобігти випаданню в осад цільового полімеру, наприклад, поліакрілату, за рахунок того, що зростаюча молекула полімеру утримується у розчині оточуючими її перфторованими групами приблизно так, як молекули поверхнево-активних речовин утримують в розчині частинки жиру і бруду при пранні. Нова технологія дозволить краще контролювати фізичні властивості фторполімеру і його хімічний склад. До речі, в пральнях-хімчистках Японії вже активно використовують scCO₂.

Саме у Ноттінгемському університеті вперше в світі почали читати курс «зеленої хімії» для студентів-хіміків і хіміків-технологів останнього року навчання. Старшокурсників вчать розглядати хіміко-технологічний процес системно, а не фрагментарно. Каталітичні реакції складають важливу частину процесів «зеленої хімії» [3]. У Нідерландах Роджер Шелдон з Технічного університету (Дельфт) впроваджує нові каталітичні технології у реакціях тонкого органічного синтезу, зокрема для фармацевтичної хімії. Використання каталітичних реакцій дозволить зменшити хімічний тиск на довкілля. Відносно новий напрямок використання каталізаторів– синтез полімерів, що розкладаються, замість використовуваних в даний час стійких марок. Застосування каталітичних процесів у майбутньому дозволить створювати матеріали (у тому числі полімери), які не потребують додавання

пластифікаторів, інгібіторів горіння, тобто речовин, що створюють перешкоди повторному використанню матеріалів.

Ще Д. І. Менделєєв слушно зауважував: «Нафта — не паливо, топити можливо і асігнаціями». В умовах скорочення запасів нафти з біомаси можна отримувати продукти масового хімічного виробництва, а не тільки дорогі реактиви для фармакології. Саме на масових хімічних продуктах повинна зосередитися «зелена хімія».

Відомо, що тільки близько 95 % сирової нафти йде на паливо а решта— на виробництво хімічних продуктів. Треба переключити нафтову сировину з палива на хімічні продукти. Те ж саме справедливо і для біопалива, і хімічних продуктів з біомаси.

Зелена хімія: нова хімічна філософія

Водночас у світовій науці відбувається конвергентний розвиток нано-, біо-, інфо-, когнітивних (НБІК) наук та технологій. Впроваджуються широкомасштабні міждисциплінарні програми, спрямовані на рішення важливих соціальних задач [1]. Нанонаука та нанотехнологія визначаються як дві дисципліни, націлені на дослідження і використання наносвіту, які стануть базовими для економічного зростання в ХХІ столітті. Від інтеграції новітніх технологій очікується прорив у продуціюванні наукового знання. Впровадження новітніх технологій визначатиме лідерство країн у глобальній суспільній системі. На думку більшості експертів, нанотехнологія для економіки ХХІ століття, заснованої не тільки на використанні природних ресурсів або їх переробці, а й на знаннях, буде системотворним фактором. Мова йде про формування «НБІК— суспільства», «суспільства знання» , «інформаційної цивілізації» [19]. Вітчизняний філософ В.С. Лук'янець, досліджуючи філософські проблеми нанотехнологій, дійшов висновку, що майбутнє людства постає як сурогатна онтологія, тобто як буття, що створюється людиною, озброєною все більш могутніми наукомісткими технологіями .

В умовах швидкого поширення нових технологій, що радикально змінюють не тільки життєдіяльність, але і природу людини, фундаментальні людські цінності: право людини на життя, автономію і свободу вибору необхідно враховувати у концептуальній складовій природничих наук, обґрунтовуючи їх етичними принципами благоговіння перед життям і моральної відповідальності. Орієнтирами в цьому виборі служать не тільки наукові знання, а й моральні принципи, що накладають заборони на небезпечні для людини способи експериментування з біосферою та її перетворенням. Виживання біосфери є своєрідною перевіркою системи людських цінностей.

Конвергентний розвиток нано-, біо-, інфо-, а також когнітивних наук і технологій здатний призвести до революційних змін у характері суспільства та природи людини. Цільові установки новітніх технологій корелюють із загальною

стратегією постнекласичного наукового пізнання. Створення нових субстанцій, у тому числі гібридних, що складаються з органічних і неорганічних матеріалів, надскладних пристроїв, управління біологічними процесами на молекулярному рівні, розкриття таємниць роботи мозку, поява «сильного» штучного інтелекту сприятимуть формуванню нового соціально-технологічного укладу, що характеризується не тільки високим рівнем розвитку науки і техніки, але і новими формами соціальності, ціннісними орієнтирами, новим розумінням сутності і природи людини [11]. Філософія нанотехнологій значною мірою спирається на цінності сцієнтизму та ідею панування людини над природою, постає апологією антропогенного втручання в природу.

Проблеми, що знаходяться в компетенції «зеленої хімії», можливо розділити на два основних напрямки. Перший пов'язаний із переробкою, утилізацією та знищенням екологічно небезпечних побічних і відпрацьованих продуктів хімічної промисловості. Другий, більш перспективний, пов'язаний з розробкою нових промислових процесів, які дозволяють обійтися без шкідливих для навколишнього середовища продуктів (у тому числі побічних) або звести їх використання і утворення до мінімуму. Хімічні речовини та процеси у відповідності із принципами зеленої хімії розглядаються не тільки з точки зору виробництва речовин та матеріалів із заданими властивостями, але й з урахуванням наслідків для довкілля.

«Зелену хімію» вже називають «новим мисленням» хімії, філософією сучасних хімічних досліджень. Світоглядний орієнтир зеленої хімії — коеволюція людини та природи, збереження біосфери. У 2014 році дослідницю Анастасію Губіну з Києва було відзначено грантом ЮНЕСКО та ІЮПАК за дослідження «Мембрани на основі полівуглеводу для паливних комірок» під час Міжнародного симпозіуму «Зелена хімія для життя». Ще В.І. Вернадський на початку ХХ століття передбачав, що дослідники в майбутньому будуть частіше спеціалізуватися не за науками, а за проблемами. У ХХ ст. провідною тенденцією вважалось утворення наук «на перетині» галузей знань.

У сучасній науці подібні топологічні виміри втрачають актуальність, створюються проекти, які поєднані єдиною метою, та обмежені в часі. У зв'язку з постановкою сучасних глобальних, екологічних, соціально-етичних проблем складається новий тип наукового знання. На наш погляд, «зелену хімію» можливо розглядати як новітню хімічну філософію. Необхідно впроваджувати її принципи та ідеї в підготовку нового покоління дослідників «Зелена хімія» стосується всього життєвого циклу хімічної продукції, в тому числі, на стадії проектування, виробництва, використання та кінцевої утилізації. «Зелена хімія» також відома як «стійка хімія».

Визначення поняття «зелена хімія»

Під поняттям «зелена хімія» мають на увазі такий дизайн хімічних продуктів і процесів, в широкому сенсі, завдяки якому зменшують або припиняють використання або утворення небезпечних речовин.

«Зелена хімія»:

- Запобігає забрудненню на молекулярному рівні.
- Це філософія, яка застосовується у всіх областях хімії, а не тільки в одній хімічній дисципліні.
- Застосовуються інноваційні наукові рішення для реальних екологічних проблем.
- Призводить до зниження утворення небезпечних речовин, оскільки перешкоджає утворенню забруднень.
- Зменшує негативний вплив хімічних продуктів і процесів на здоров'я людини і навколишнє середовище.
- Зменшує, і навіть в деяких випадках, усуває небезпеку з вже існуючих продуктів і процесів.
- Дизайн хімічних продуктів і процесів, з метою зменшення притаманних їм загроз для людини і природи.

12 принципів «зеленої хімії»

Ці принципи показують всю широту концепції «зеленої хімії»:

1. Запобігання утворення відходів:

Такий дизайн хімічного синтезу, який забезпечує запобігання утворення відходів. Не залишати ніяких відходів для утилізації й поховання.

2. Максимальне укрупнення складових частин:

Проектування синтезу так, щоб кінцевий продукт містив максимальне співвідношення вихідних матеріалів. З мінімальною кількістю відходів або без них.

3. Розробка менш небезпечних хімічних синтезів:

З використанням і генеруванням речовин з мінімальною токсичністю або нетоксичними для людей або навколишнього середовища.

4. Дизайн безпечних хімічних речовин і продуктів:

Дизайн хімічних продуктів, які повною мірою ефективні, але мають малу токсичність або взагалі не токсичні.

5. Використовуйте безпечні розчинники та умови реакції:

Не використовуйте розчинники або інші допоміжні хімічні речовини. Якщо ви повинні використовувати ці хімічні речовини, використовуйте найбільш безпечні з них.

6. Підвищення енергоефективності:

Запустіть хімічні реакції при кімнатній температурі і тиску, коли це можливо.

7. Використовуйте відновлювальну сировину:

Використовуйте такі вихідні матеріали або сировину, які є поновлюваними, а не ті, що виснажуються. Джерелом відновлюваної сировини часто є сільськогосподарські продукти або відходи інших процесів; джерела невідновлюваної сировини - частіше це джерела викопного палива (нафта, природний газ, вугілля) чи гірничих розробок.

8. Уникайте хімічних похідних:

Уникайте використання блокуючих або захисних груп або яких-небудь тимчасових модифікацій, якщо це можливо. Похідні використовують додаткові реагенти і утворюють відходи.

9. Використовуйте каталізатори, але не стехіометричні реагенти:

Мінімізуйте відходи за допомогою каталітичних реакцій. Каталізатори ефективні в малих кількостях і можуть здійснювати одну реакцію безліч разів. Вони краще стехіометричних реагентів, які використовуються з надлишком, і здійснюють реакцію тільки один раз.

10. Дизайн хімікатів и продуктів погіршується після використання:

Дизайн хімічних продуктів повинен бути таким, щоб вони руйнувалися до нешкідливих речовин після використання, і не накопичувалися в навколишньому середовищі.

11. Аналіз в режимі реального часу, щоб запобігти забрудненню:

Включити в процес моніторинг у реальному часі і контроль під час синтезу, щоб мінімізувати або усунути утворення побічних продуктів.

12. Зведення до мінімуму можливості нещасних випадків:

Такий дизайн хімічних речовин і їх фізичних форм (твердих, рідких або газу), щоб мінімізувати потенціал для хімічних аварій, включаючи вибухи, пожежі і викиди в навколишнє середовище.