

ПРОВЕДЕННЯ LCA-АНАЛІЗУ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ХІМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація. У роботі розглянуто особливості проведення LCA-аналізу життєвого циклу хімічних матеріалів. Обґрунтовано доцільність використання методології для оцінки екологічного впливу продукції та визначення напрямів його мінімізації в умовах сталого розвитку.

Ключові слова: LCA-аналіз, життєвий цикл, хімічні матеріали, екологічна безпека, сталий розвиток, циркулярна економіка.

Сучасні трансформаційні процеси в економіці, зумовлені переходом до концепції сталого розвитку, актуалізують необхідність впровадження комплексних підходів до оцінки екологічного впливу продукції хімічної промисловості. Враховуючи високий рівень ресурсомісткості та потенційну екологічну небезпеку хімічних виробництв, особливого значення набуває застосування інструментів, що дозволяють оцінювати вплив на довкілля протягом усього життєвого циклу продукції. Одним із найбільш ефективних підходів у цьому контексті є методологія оцінювання життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA), яка забезпечує системний аналіз екологічних аспектів на всіх стадіях існування матеріалів - від видобутку сировини до кінцевої утилізації або повторного використання [1].

Методологічна база LCA-аналізу ґрунтується на міжнародних стандартах серії ISO 14040-14044, які визначають структуру та зміст дослідження [2]. Відповідно до зазначених стандартів, процес оцінювання життєвого циклу включає чотири взаємопов'язані етапи: визначення мети та обсягу дослідження, інвентаризаційний аналіз (Life Cycle Inventory, LCI), оцінку впливу на довкілля (Life Cycle Impact Assessment, LCIA) та інтерпретацію результатів. Кожен із зазначених етапів має ключове значення для забезпечення достовірності та наукової обґрунтованості отриманих результатів.

Особливість застосування LCA-аналізу до хімічних матеріалів полягає у складності виробничих ланцюгів, значній кількості проміжних продуктів і реакцій, а також наявності широкого спектра викидів і відходів, що можуть мати токсичний або кумулятивний ефект [3]. У зв'язку з цим виникає необхідність деталізованого опису технологічних процесів, врахування енергетичних потоків та оцінювання впливу допоміжних матеріалів, що використовуються у виробництві.

Важливим методичним аспектом проведення LCA є визначення функціональної одиниці, яка слугує базою для порівняння альтернативних варіантів продукції або технологій. Не менш суттєвим є встановлення меж системи дослідження, що визначає обсяг охоплення процесів життєвого циклу [4]. Некоректне визначення цих параметрів може призвести до спотворення результатів і зниження їх практичної цінності.

Інвентаризаційний аналіз передбачає збір і систематизацію даних про матеріальні та енергетичні потоки, що супроводжують життєвий цикл продукції. На цьому етапі особливу увагу приділяють якості та повноті даних, оскільки їх

недостатність або невідповідність може суттєво вплинути на результати оцінювання. Для підвищення достовірності досліджень широко використовуються спеціалізовані бази даних, зокрема Ecoinvent та GaBi, які містять інформацію про типові технологічні процеси та їх екологічні характеристики.

Етап оцінки впливу на довкілля (LCIA) спрямований на визначення потенційних екологічних наслідків, пов'язаних із виявленими потоками речовин і енергії. Найбільш поширеними категоріями впливу є глобальне потепління, кислотність, евтрофікація, токсичність для людини та екосистем, а також виснаження природних ресурсів [5]. Результати цього етапу дозволяють здійснювати кількісну оцінку екологічного навантаження та порівнювати альтернативні варіанти технологій.

Інтерпретація результатів LCA-аналізу передбачає ідентифікацію так званих «гарячих точок» життєвого циклу, тобто стадій, що формують найбільший внесок у загальний екологічний вплив. Це створює основу для розроблення заходів щодо оптимізації виробничих процесів, зменшення споживання ресурсів, впровадження екологічно безпечних матеріалів і технологій, а також переходу до моделей циркулярної економіки.

Резюмуючи, можна сказати, що LCA-аналіз є потужним інструментом екологічного менеджменту у хімічній галузі, що забезпечує науково обгрунтоване прийняття управлінських рішень, спрямованих на підвищення екологічної безпеки. Перспективи подальших досліджень пов'язані з інтеграцією методології LCA з сучасними цифровими технологіями, зокрема великими даними, штучним інтелектом та системами підтримки прийняття рішень, що дозволить підвищити точність прогнозування екологічних впливів і ефективність управління сталим розвитком хімічних виробництв.

Список використаної літератури / References

1. ISO 14040:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. Geneva: ISO, 2006.
2. ISO 14044:2006. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. Geneva: ISO, 2006.
3. Guinée J. B. Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards. Dordrecht: Springer, 2002.
4. European Commission. ILCD Handbook: General Guide for Life Cycle Assessment – Detailed Guidance. Luxembourg, 2010.
5. Curran M. A. Life Cycle Assessment Student Handbook. Hoboken: Wiley, 2015.