

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

МЕТОД ОЦІНКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОДУКТУ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ КОМПЛЕКС ДІЙ ЩОДО ЕКОБЕЗПЕКИ ХІМІЧНОЇ ГАЛУЗІ

Є. О. Матіс¹, О. П. Крот¹¹Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків, Україна

УДК 504.06 : 66.0

DOI: 10.52363/2522-1892.2021.1.8

Отримано: 12 березня 2021

Прийнято: 21 квітня 2021

Cite as: Matis Y., Krot O. (2021). Product life cycle assessment method as an effective complex of actions regarding the eco-safety of the chemical industry. *Technogenic and ecological safety*, 9(1/2021), 52–57. doi: 10.52363/2522-1892.2021.1.8

Анотація

На основі методів оцінки життєвого циклу продукту пропонується проводити оцінку екологічності діяльності підприємства хімічного виробництва. Метод LCA представляє собою системний підхід з оцінки екологічних наслідків виробництва продукції протягом всього її життєвого циклу від видобутку і переробки сировини і матеріалів до утилізації окремих компонентів. Він використовується для систематичної оцінки впливу кожної стадії життєвого циклу продукції на навколишнє середовище. Інвентаризаційний аналіз життєвого циклу включає збір даних, необхідних для дослідження, а також інвентаризацію даних вхідних (енергія, вода, сировина, матеріали) і вихідних (викиди в навколишнє середовище (викиди в атмосферу, утилізація твердих відходів, скидів стічних вод) потоків. При інвентаризаційному аналізі виділяється продукційна система, яка являє собою сукупність одиничних процесів, пов'язаних між собою потоками напівфабрикатів, що виконують одну або декілька заданих функцій. Поодинокі процеси з'єднуються між собою потоками напівфабрикатів і / або потоками відходів, призначених для переробки, потоками продукції – з іншими продукційними системами і елементарними потоками – з навколишнім середовищем (викиди в атмосферу, скиди у воду). Оцінка життєвого циклу (LCA) – це метод, який використовується для кількісної оцінки впливу продукції і послуг на навколишнє середовище протягом її життєвого циклу (ISO 14040 (2006)). Існує кілька процедур, заснованих на цій методології, для підтримки розрахунку впливу на НС. Методологія включає комерційні програмні інструменти, які використовуються прямо або побічно [1]. Однією з цілей LCA є аналіз впливу виробничого процесу на стан об'єктів НС. Згідно ISO 14040 (2006), структура оцінки життєвого циклу продукту повинна включати: 1) визначення цілей і області дії, щоб обмежити дослідження і вибрати функціональну одиницю; 2) аналіз вхідних і вихідних запасів енергії і матеріалів, які важливі для досліджуваної системи; 3) оцінку впливу на життєвий цикл (LCIA) для класифікації впливів на навколишнє середовище; 4) фазу інтерпретації, щоб перевірити обґрунтованість висновків. LCA дозволяє управляти інформацією з аналізу і підтримки процесу прийняття рішень щодо проектів і виробництва.

Ключові слова: аналіз життєвого циклу продукту, оцінка екологічних наслідків виробництва, методологія оцінки екологічності підприємств.

Постановка проблеми

Хімічна промисловість – одне з головних джерел забруднення об'єктів НС, в процесі виробництва утворюються викиди, що впливають на якість повітря, води, ґрунту [2–4]. Токсичні речовини можуть накопичуватися біля джерела викидів, тому що температура навколишнього середовища і промислових викидів приблизно однакові. Вміст шкідливих речовин у повітряному басейні підвищується через розміщення технологічного устаткування на відкритих майданчиках і порушення його герметичності. Крім негативного впливу на якість атмосферного повітря, не менше небезпечними є стічні води, так як вони містять кислоти, луги, органічні речовини, які наносять шкоду навколишньому середовищу. Підприємства хімічної промисловості є джерелами токсичних стоків і викидів в біосферу. До них в першу чергу слід віднести органічні розчинники, аміни, альдегіди, хлор і його похідні, оксиди азоту, фториди, сірчасті сполуки (діоксид сірки, сірководень, сірковуглець), металоорганічні сполуки, сполуки фосфору, ртуть. Таким чином, екологічною складовою впливу хімічної галузі є вплив на атмосферне повітря (викиди), водні об'єкти (скиди стічних вод), ґрунт (складування відходів, вторинний вплив).

Скорочення і оптимізація споживання ресурсів та мінімізація відходів засновані на концепції де матеріалізації економіки, що спрямована на зниження деструктивного впливу на навколишнє середовище саме засобами удосконалення та раціоналізації матеріалопотоків. Поняття ефективності використання ресурсів за принципами дематеріалізації значною мірою зміщує фокус екологізації [5]. Замість того, щоб витратити гроші на технічні послуги з очищення відходів та викидів, цей підхід акцентується на економії грошей за рахунок раціоналізації використання природних ресурсів [6–8].

Доцільність розробки методики багатокритеріальної оцінки екологічності підприємств хімічної галузі пов'язана з запровадженням додаткових аспектів дослідження у методичне та інформаційне забезпечення існуючих методик з контролю якості моніторингових систем. Необхідність удосконалення робочих методик, застосованих на практиці з визначення екологічності підприємств хімічної промисловості, обумовлена розширенням вузькоспеціалізованих завдань відповідно до обґрунтованості аналізу з функціональності та ефективності досліджених систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

За результатами огляду наукової літератури з дослідження оцінки екологічності промислових об'єктів хімічної галузі встановлено необхідність підвищення рівня об'єктивності еколого-економічної оцінки життєвого циклу продукту за основними аспектами сталого розвитку – екологічним, економічним, соціальним.

Згідно з офіційним визначенням Міжнародної організації по стандартизації (ISO), оцінка життєвого циклу (LCA) – це процес збору та оцінки даних «введення» і «випуску» продукту, а також потенційного впливу на навколишнє середовище продуктів і процесів протягом усього його життєвого циклу: від «колиски до могили» або «колиски до колиски» [9].

Від колиски до могили (Cradle-to-grave) – це повний життєвий цикл – від вилучення сировини (колиска) до знищення продукту (могила). Розглядаються не тільки етапи виробництва продукції, а й безпосередньо видобуток природних ресурсів, виготовлення напівфабрикатів, супутнє виробництво, транспортування, використання, розміщення відходів, переробка, повернення в навколишнє середовище.

Від колиски до воріт (Cradle-to-gate) – використовується частина життєвого циклу – від вилучення сировини (колиска) до поставки продукції іншим виробникам (ворота), які будуть займатися її безпосереднім розповсюдженням. Етапи використання і переробки в даному типі не розглядаються [10].

Від колиски до колиски (Cradle-to-cradle) – розглядається повний життєвий цикл продукції, а також процес вторинної переробки.

Повний аналіз оцінки життєвого циклу продукції LCA (рис. 1) включає в себе чотири етапи [7]:

- визначення мети і сфери застосування аналізу (Goal Definition and Scoping);

- інвентаризаційний аналіз (Life Cycle Inventory);
- оцінка впливів на навколишнє середовище (Life Cycle Impact Assessment);
- оцінка результатів (Interpretation).

Мінімізація споживання енергії, матеріалів, водних ресурсів, відходів, викидів в атмосферу визначає завдання вибору кращої технології одиничного процесу. Оскільки продукційна система є сукупністю одиничних процесів, то визначається найбільш ефективний варіант виробництва продукту з точки зору мінімального впливу на навколишнє середовище. Викиди і скиди забруднюючих речовин впливають на різні компоненти навколишнього середовища, породжуючи відповідні екологічні проблеми (категорії впливів). Рівень категорій впливів визначається виходячи з обсягів викидів і відходів, що виробляються в продукційній системі [11]. LCA дозволяє компаніям визначити «вузькі місця» у виробничому процесі, що тягне за собою можливості по скороченню витрат, підвищенню виробничої ефективності, а також стимулює розвиток інноваційних підходів при виробництві продукції.

У LCA оцінка впливу – це стадія, де дані з етапу інвентаризації розширюються з урахуванням фактичних екологічних наслідків [1]. Оцінка впливу життєвого циклу (LCIA) ґрунтується або на проблемно-орієнтованих методах (середні точки), або на методах, орієнтованих на пошкодження (кінцеві точки). LCIA включає характеристику, нормалізацію та зважування екологічних факторів, виявлених на етапі інвентаризації. При характеристиці шкідливості викидів або видобутку ресурсів виражається як відношення до еталонної речовини в межах певної категорії впливу, наприклад, потенціал глобального потепління або потенціал закислення. Отже, характеристична кількість, як правило, виражається в еквівалентах еталонної речовини, наприклад CO₂-еквіваленти у випадку парникових газів [4–6, 12, 13].

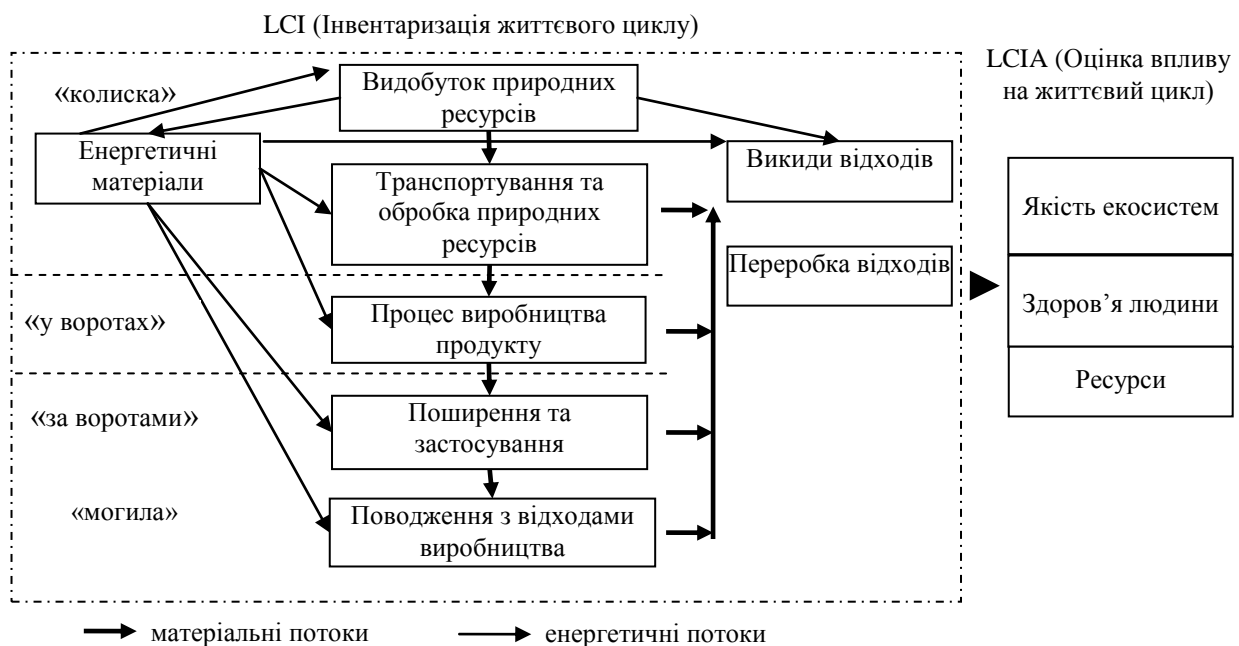


Рисунок 1 – Схема оцінки життєвого циклу

Нормалізація надає інформацію щодо внеску одиниці забруднення або використання ресурсів у загальне поточне навантаження на об'єкти НПС [14]. Зважування виражає взаємозв'язок між поточними викидами забруднюючих речовин/споживанням ресурсів та відповідними критичними викидами/споживанням ресурсів, які були визначені як цільові показники викидів/споживання.

Постановка завдання та його вирішення.

Актуальною науково-практичною задачею екологічної оцінки виробництва хімічної галузі є розробка інформаційно-алгоритмічного забезпечення оцінювання екологічності і безпечності промислових об'єктів на основі удосконалення теоретичних, методичних положень комплексного екологічного аналізу щодо стану діяльності підприємств на основі однорідних за масштабністю і розмірністю показників екологічної відповідності в системі «промисловий об'єкт–НПС–людина».

Вагомим завданням стає визначення загальної характеристики екологічності і безпечності природно-техногенних об'єктів. Дослідження на рівні цільових функцій дозволить виявити негативні фактори дестабілізації і порушення стійкості об'єкта при існуючих вимогах щодо стаціонарності і послідовного розвитку окремих систем і об'єкта в цілому.

Основна мета дослідження спрямована на вирішення науково-практичної задачі з визначення комплексу методів оцінки рівня екологічності промислових підприємств хімічної галузі на основі розробки інформаційно-методичного забезпечення обробки даних і подання результатів для прийняття рішень, отримання екологічних знань.

Підвищення екологічності та безпеки технологій і оцінка їх впливу на природне середовище базуються на наступних позиціях:

- вивчення процесів, що протікають на основних етапах життєвого циклу, перш за все на етапі виробництва та утилізації;

- виявлення джерел і причин утворення шкідливих речовин, що відводяться в природне середовище;

- оцінка рівня виділення забруднюючих речовин на різних етапах життєвого циклу, в першу чергу на стадії виробництва на різних етапах технологічного процесу;

- вибір критеріїв оцінки впливу на природне середовище;

- встановлення градацій ступеня впливу.

Життєвий цикл охоплює: видобування ресурсів; вироблення продукту; використання; повторне використання; транспортування; рециркулювання; скидання відходів. Методика оцінки життєвого циклу є інноваційною концепцією для оцінки впливу на навколишнє середовище, пов'язаного з різними видами продукції (послуг) згідно з

положеннями екологічного менеджменту в промисловості [15].

Керування продукційною системою з метою мінімізації екологічних і соціально-економічних навантажень, пов'язаних з продуктом протягом його всього життєвого циклу та ланцюга створення вартості використовує методи та інструменти управління життєвим циклом (рис. 2). LCA фокусується на екологічні ризики, створюючи можливість їх виявлення, а також встановлюючи ієрархію і, таким чином, шукаючи технологічні рішення, призначені для підтримки оптимального рівня якості навколишнього середовища.

Концепція управління вартістю життєвого циклу продукції визначає методологію впровадження заходів при виробництві продукції, спрямованих на зниження майбутніх витрат споживачів при експлуатації цієї продукції, тим самим орієнтованих на підвищення привабливості своєї продукції в очах споживачів [16]. Це питання стає особливо актуальним, коли підприємство орієнтоване на виробництво небезпечної хімічної продукції. Поняття «вартість життєвого циклу» означає приведені до розрахункового року витрати, які включають частку вартості продукту, вартість його транспортування і монтажу, витрати на експлуатацію, технічне обслуговування, ремонти (підтримання в працездатному стані) в період використання за призначенням, витрати на утилізацію в кінці терміну служби. Загальна вартість життєвого циклу поділяється на дві основні частини: витрати, пов'язані з придбанням, і витрати, пов'язані з володінням і утилізацією. Таким чином, найважливіший принцип концепції LCC можна визначити як «прогноз і управління витратами на виробництво і експлуатацію продукції на стадії її проектування». Встановлено, що транснаціональні компанії з різних секторів хімічної промисловості використовують концепцію життєвого циклу товару для визначення екологічної стійкості та екологічності продукту (табл. 1).

Аналіз витрат життєвого циклу (LCCA) надає інформацію, яка є важливою для прийняття рішень щодо проектування, розробки, використання та утилізації продукції. LCCA включає шість основних процесів: 1) визначення проблем, 2) визначення елементів витрат, 3) моделювання системи, 4) збір даних, 5) розробка профілю витрат та 6) оцінка [17]. Етап оцінки включає аналіз чутливості, аналіз невизначеності та визначення механізмів витрат. Постачальники продуктів можуть врахувати ознаки шляхом оцінки альтернатив та проведення компромісних досліджень та оцінки різних стратегій експлуатації, обслуговування та утилізації для оптимізації вартості життєвого циклу. Калькуляція витрат життєвого циклу може ефективно застосовуватися для оцінки витрат, пов'язаних з конкретною діяльністю, наприклад, наслідків різних концепцій / підходів до технічного обслуговування, для охоплення конкретної частини товару або для покриття лише вибраних фаз життєвого циклу продукту.

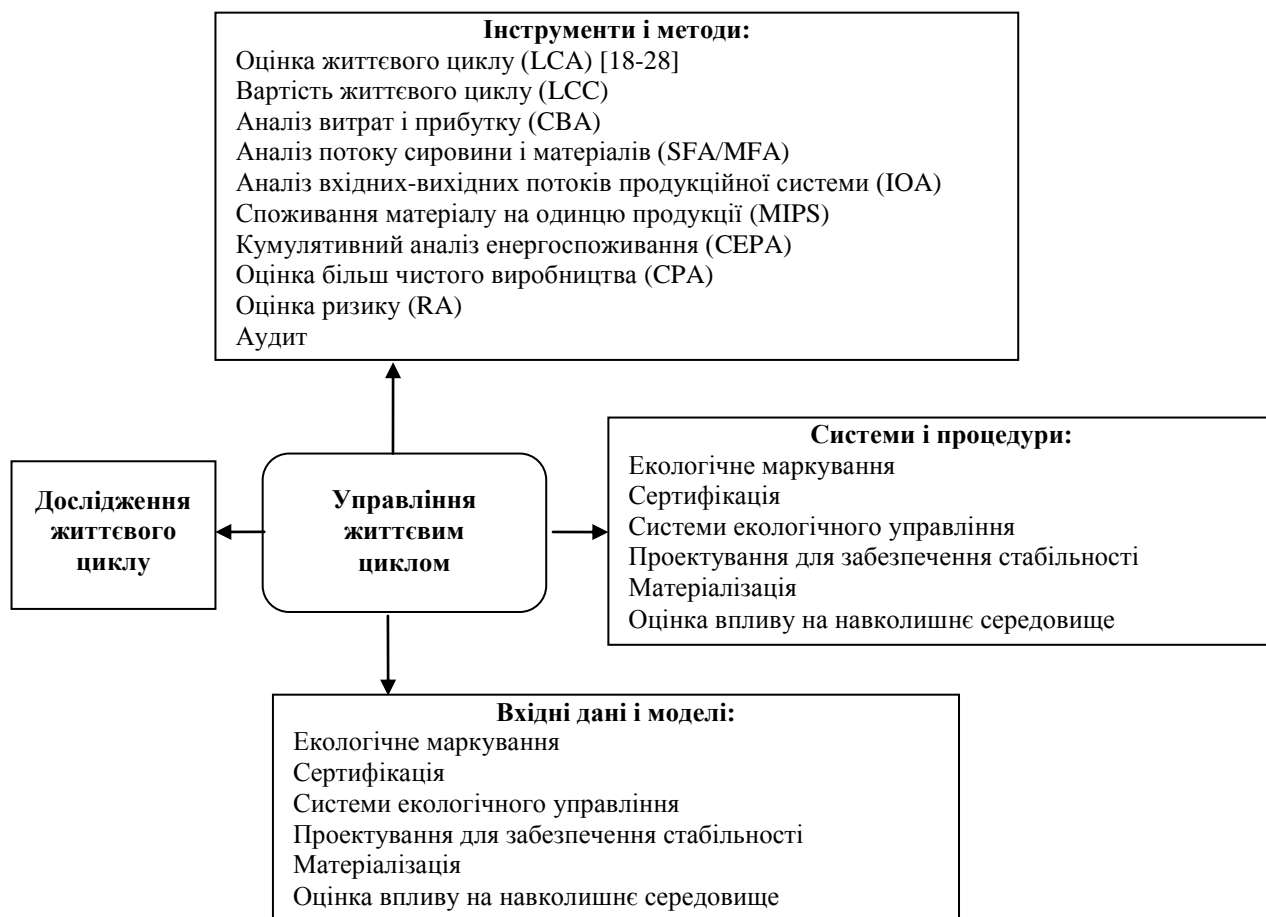


Рисунок 2 – Керування життєвим циклом

Таблиця 1 – Використання методів LCA на рівні компанії

Вид продукції	Країна	Методи оцінки життєвого циклу
Хімікати	Німеччина	Integrated LCA and LCC, social LCA
Миючі засоби	США	LCA, оцінка екологічного ризику, аналіз соціально-економічного впливу
Фармацевтична продукція	Англія	LCA, впорядкована LCA
Продукти харчування та гігієни	США	LCA, впорядкована LCA, контрольні списки
Вода в пляшках	США	LCA, MFA
Пакети	Фінляндія	LCA, вуглецевий слід

Висновки.

В роботі теоретично обґрунтовано використання методу оцінки життєвого циклу продукту і доцільність розробки інформаційно-методичного забезпечення для визначення оцінки екологічності і безпечності різномірних процесів і стадій життєвого циклу продукту. Визначено комплекс методів оцінки рівня екологічності промислового виробництва хімічної галузі на основі розробки інформаційно-методичного забезпечення обробки даних і подання результатів для прийняття рішень, щодо впливу на НС. Оцінку діяльності підприємства

за екологічною і соціальною складовими пропонується проводити на основі методів оцінки життєвого циклу продукту у комплексі з іншими аналітичними інструментами та методами. Об'єднання методів аналізу життєвого циклу (LCA, LCC та LCCA) дозволить проводити більш комплексну оцінку і аналіз впливів продукції на зовнішнє середовище, а також приймати більш грамотні управлінські рішення щодо оптимізації діяльності компанії, зниження її витрат і негативного впливу продукції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Rahdari A.H. Designing a general set of sustainability indicators at the corporate level. / A.H. Rahdari, A.A. Anvary Rostamy // *Journal of Cleaner Production*. – 2015. – Vol. 108. – Pp. 757–771. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.108>
2. Артюхов В.В. Объективная оценка экологичности хозяйственной деятельности: Методология и результаты. Предприятия, регионы России, страны мира / В.В. Артюхов, С.И. Забелин, А.С. Мартынов // *SPERO*. – 2012. – № 16 Весна – Лето. – С. 113-142.
3. Лысова Е.П. Анализ методов выработки электрической и тепловой энергии на предприятиях топливноэнергетического комплекса с учетом критериев экологичности и эффективности использования топливноэнергетических ресурсов / Е. П. Лысова, Л. А. Лисутина // Интернет-журнал «Науковедение». – 2013. – № 5. – С. 6.
4. Майорова Л.П. Оценка экологичности технологических процессов / Л.П. Майорова, О.А. Мищенко // *Вестник Томского гос. ун-та*. – 2009. – № 2 (13). – С. 111-116.
5. What Is Sustainable Production? – Lowell Center for Sustainable Production, 2015. – URL: <http://www.sustainableproduction.org/about/what.php>.
6. Лаптев Н.И. Анализ самоорганизации процессов систем менеджмента качества / Н.И.Лаптев, Ю.С. Клочков, Е.Л. Москвичева, А.Д. Волгина, И.А. Абдуллин, Г.Г. Богатеев // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2014. – Т. 17. – № 9. – С. 295-298.
7. Calvo-Serrano R. Predicting the cradle-to-gate environmental impact of chemicals from molecular descriptors and thermodynamic properties via mixed-integer programming / R. Calvo-Serrano, M. González-Miquel, S. Papadokonstantakis, G. Guillén-Gosálbez // *Computers & Chemical Engineering*. – 2017. – Vol. 108. – Pp. 179–193.
8. Романенко М.О. Способи оцінки екологічності систем життєзабезпечення об'єктів житлового та комунального господарства / М.О. Романенко, М.А. Ємець, І.І. Романенко, І.Ю. Леснікова // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр.* – 2017. – Вып. 98. – С. 137-143
9. Reap J. A survey of unresolved problems in life cycle assessment – Part I: goal and scope and inventory analysis. / J. Reap, F. Roman, S. Duncan, B. Bras // *The International Journal of Life Cycle Assessment*. – 2008. – Vol. 13(4). – Pp. 290-300.
10. Blass V. Same supply chain, different models: Integrating perspectives from life cycle assessment and supply chain management. / V. Blass, C.J. Corbett // *Journal of Industrial Ecology*. – 2017. – Vol. 22(1). – Pp. 18-30. – DOI: 10.1111/jiec.12550.
11. Meyer D.E. The use of life cycle tools to support decision making for sustainable nanotechnologies / D.E. Meyer, V.K. Upadhyayula // *Clean Technologies and Environmental Policy*. – 2014. – Vol. 16(4). – Pp. 757–772.
12. WCED (World Commission on Environment and Development). «United Nations General Assembly document A/42/427». // *Our Common Future*. – Oxford University Press, Oxford, UK, 1987.
13. Майорова Л.П. Анализ методических подходов к оценке экологичности технологических процессов / Л.П. Майорова // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – Москва: Горная книга, 2010. – Т. 2. – № 12. – С. 385-401.
14. Guin'ee J.B. Life cycle assessment: Past, present, and future / J.B. Guin'ee, R. Heijungs, G. Huppes, A. Zamangni, P. Masoni, R. Buonamici, T. Ekvall, T. Rydberg // *Environmental Science & Technology*. – 2011. – Vol. 45. – Pp. 90–96.
15. Бром А.Е. Метод оценки жизненного цикла продукции [Электронный ресурс] / А.Е. Бром, Е.В. Елисеева. – Publishing house Education and Science s.r.o. – URL: http://www.rusnauka.com/4_SND_2013/Economics/11_126062.doc.htm
16. Комариста Б. М. Алгоритм оцінки впливу життєвого циклу продукту / Б. М. Комариста, В. І. Бендюг // III Всеукр. наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми науково-промислового комплексу регіонів», Рубіжне, 2017. – С. 42-45.
17. Das T.K. Evaluating the life cycle environmental performance of chlorine disinfection and ultraviolet technologies. / T.K. Das // *Clean Technologies and Environmental Policy*. – 2002. – Vol. 4(1). – Pp. 32–43.
18. Delgove M.A.F. A prospective life cycle assessment (LCA) of monomer synthesis: comparison of biocatalytic and oxidative chemistry. / M.A.F. Delgove, A.-B. Laurent, J.M. Woodley, S.M.A De Wildeman, K.V. Bernaerts, Y. van der Meer // *ChemSusChem*. – 2019. – Vol. 12(7). – Pp. 1349–1360.
19. Gear M. A life cycle assessment data analysis toolkit for the design of novel processes—a case study for a thermal cracking process for mixed plastic waste. / M. Gear, J. Sadhukhan, R. Thorpe, R. Clift, J. Seville, M. Keast // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 180. – Pp. 735–747.
20. Мошев Е.Р. Концепция и практическая реализация проблемно-ориентированной системы для информационной поддержки жизненного цикла химико-технологического оборудования / Е.Р. Мошев, В.П. Мешалкин // *Математические методы в технике и технологиях – ММТТ*. – 2018. – Т. 4. – С. 124-128.
21. Calvo-Serrano R. Streamlined life cycle assessment under uncertainty integrating a network of the petrochemical industry and optimization techniques: Ecoinvent versus mathematical modeling. / R. Calvo-Serrano, G. Guillén-Gosálbez // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. – 2018. – Vol. 6(5). – Pp. 7109–7118.
22. Arcese G. State of the art in S-LCA: Integrating literature review and automatic text analysis. / G. Arcese, M. C. Lucchetti, I. Massa, C. Valente // *The International Journal of Life Cycle Assessment*. – 2018. – Vol. 23. – Pp. 394-405. – DOI: 10.1007/s11367-016-1082-0
23. Yang Y. On the use of different models for consequential life cycle assessment. / Y. Yang, R. Heijungs // *The International Journal of Life Cycle Assessment*. – 2018. – Vol. 23(4). – Pp. 751–758.
24. Brundage M.P. Analyzing environmental sustainability methods for use earlier in the product lifecycle. / M.P. Brundage, W.Z. Bernstein, S. Hoffenson, Q. Chang, H. Nishi, T. Kliks, K.C. Morris // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 187. – Pp. 877-892.
25. Palazzo J. A review of methods for characterizing the environmental consequences of actions in life cycle assessment. / J. Palazzo, R. Geyer, S. Suh // *Journal of Industrial Ecology*. – 2020. – Vol. 24(4). – Pp. 815-829. – DOI: 10.1111/jiec.12983.
26. Artz J. Sustainable conversion of carbon dioxide: an integrated review of catalysis and life cycle assessment. / J. Artz, T.E. Müller, K. Thenert, J. Kleinekorte, R. Meys, A. Sternberg, A. Bardow, W. Leitner // *Chemical Reviews*. – 2017. – Vol. 118(2). – Pp. 434–504.
27. Karka P. Environmental impact assessment of biomass process chains at early design stages using decision trees. / P. Karka, S. Papadokonstantakis, A. Kokossis // *The International Journal of Life Cycle Assessment*. – 2019. – Vol. 24(9). – Pp. 1675–1700.
28. Righi S. Integrating life cycle inventory and process design techniques for the early estimate of energy and material consumption data. / S. Righi, F. Baioli, A. Dal Pozzo, A. Tugnoli // *Energies*. – 2018. – Vol. 11(4). – Pp. 970.

Matis Y., Krot O.

PRODUCT LIFE CYCLE ASSESSMENT METHOD AS AN EFFECTIVE COMPLEX OF ACTIONS REGARDING THE ECO-SAFETY OF THE CHEMICAL INDUSTRY

Based on the methods of product life cycle assessment, it is proposed to assess the environmental friendliness of the chemical plant. The LCA method represents the very systematic approach to assessing the environmental impact of production, carried out as a whole over its life cycle from the extraction and processing of raw materials to the use of individual components. It is used to systematically assess the impact of each stage of the production life cycle on the environment. Life cycle inventory analysis includes the collection of data required for the study, as well as the inventory of input (energy, water, raw materials and materials) and output (emissions into the environment, emissions, solid waste disposal, eastern water flows). a system that is a set of single processes interconnected by the flows of semi-finished products used in one or more given functions, with other productive systems and elementary flows with the environment (emissions into the atmosphere, discharges into water). Life cycle assessment (LCA) is a method that should be used to quantify the products and services of the environment carried out during its life cycle (ISO 14040 (2006)). There

are several procedures approved by this methodology to support the calculation of the impact on emergencies. The methodology includes commercial software tools that are used directly or indirectly [1]. One of the goals of the LCA is to analyze the development of the production process at the station of emergency facilities. According to ISO 14040 (2006), the product life cycle assessment structure includes: 1) determining the level and scope to limit the study and select a functional unit; 2) analysis of input and output reserves of energy and materials that are important for the study of the research system; 3) life cycle impact assessment (LCIA) to classify environmental impacts; 4) phase interpretation, to test the overall popularity of the conclusion. The LCA can manage information to analyze and support the project and production decision-making process.

Key words: product life cycle analysis, assessment of environmental consequences of production, methodology for assessing the environmental friendliness of enterprises.

REFERENCES

- Rahdari A.H., Anvary Rostamy A.A. (2015) Designing a general set of sustainability indicators at the corporate level. *Journal of Cleaner Production*, 108:757–771. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.05.108
- Artjuhov V.V., Zabelin S.I., Martynov A.S. (2012). Ob'ektivnaja ocenka jekologichnosti hozjajstvennoj dejatel'nosti: Metodologija i rezul'taty. Predprijatija, regiony Rossii, strany mira [Objective assessment of environmental friendliness of economic activities: Methodology and results. Enterprises, regions of Russia, countries of the world]. *SPERO*, 16 Autumn-Spring:113-142.
- Lysova E.P., L.A. Lisutina. (2013). Analiz metodov vyrabotki jelektricheskoj i teplovoj jenergii na predpriyatijah toplivnojenergeticheskogo kompleksa s uchetom kriteriev jekologichnosti i jeffektivnosti ispol'zovanija toplivnojenergeticheskikh resursov [Analysis of methods for generating electric and thermal energy at enterprises of the fuel and energy complex, taking into account the criteria of environmental friendliness and efficiency of using fuel and energy resources]. *Internet-zhurnal "Naukovedenie" [Internet journal "Science "]*,5:6.
- Majorova L.P. Mishhenko O.A. (2009). Ocenka jekologichnosti tehnologicheskikh processov.[Evaluation of environmental friendliness of technological processes], *Vestnik Tomskogo gos. universiteta [Bulletin of the Tomsk State University]*, 2(13):111-116. [in Russian].
- Lowell Center for Sustainable Production. (2015). What Is Sustainable Production? URL: <http://www.sustainableproduction.org/about.php>.
- Laptev N.I. Klochkov Ju.S., Moskvicheva E.L., Volgina A.D., Abdullin I.A., Bogateev G.G. (2014). Analiz samoorganizacii processov sistem menedzhmenta kachestva [Analysis of self-organization processes of quality management systems]. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan Technological University]*, 17(9):295-298. [in Russian].
- Calvo-Serrano R., González-Miquel M., Papadokonstantakis S., Guillén-Gosálbez G. (2017). Predicting the cradle-to-gate environmental impact of chemicals from molecular descriptors and thermodynamic properties via mixed-integer programming. *Computers & Chemical Engineering*, 108:179–193.
- Romanenko M.O., Yemec' M.A., Romanenko I.I., Lesnikova I.Ju. (2017). Sposobi ocinki ekologicnosti sistem zhittiezabezpechennja objektiv zhitlovogo ta komunal'nogo gospodarstva [Methods for assessing the environmental friendliness of life support systems of housing and communal services]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie [Construction, materials science, mechanical engineering]*, 98:137-143
- Reap J., Roman F., Duncan S., Bras B. (2008). A survey of unresolved problems in life cycle assessment – Part I: goal and scope and inventory analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(4):290-300.
- Blass V., Corbett C.J. (2017). Same supply chain, different models: Integrating perspectives from life cycle assessment and supply chain management. *Journal of Industrial Ecology*, 22(1):18-30. DOI: 10.1111/jiec.12550.
- Meyer D.E., Upadhyayula V.K. (2014). The use of life cycle tools to support decision making for sustainable nanotechnologies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16(4):757–772.
- WCED (World Commission on Environment and Development). (1987). United Nations General Assembly document A/42/427». *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Mayorova L.P. (2010). Analiz metodicheskikh podhodov k ocenke jekologichnosti tehnologicheskikh processov [Analysis of methodological approaches to assessing the environmental friendliness of technological processes]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal) [Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)]*. 2(12):385-401. [in Russian].
- Guin'ee J.B., Heijungs R., Huppes G., Zamangni A., Masoni P., Buonamici R., Ekvall T., Rydberg T. (2011). Life cycle assessment: Past, present, and future. *Environmental Science & Technology*, 45:90–96.
- Brom A.E., Eliseeva E.V. Metod ocenki zhiznennogo cikla produkcii [Method for assessing the life cycle of products]. Publishing house Education and Science s.r.o. URL: http://www.rusnauka.com/4_SND_2013/Economics/11_126062.doc.htm
- Komarysta B.M., Bendjug V.I. (2017). Algoritm ocenki vplyvu zhytjevoogo cyklu produktu [Algorithm for assessing the impact of the product life cycle]. *III Vseukr. nauk.-prakt. konf. "Aktual'ni problemy nauko-promyslovoogo kompleksu regioniv" [III All-Ukrainian scientific-practical conference "Actual problems of scientific and industrial complex of regions"]*, Rubizhne, 42-45. [in Ukrainian].
- Das T.K. (2002). Evaluating the life cycle environmental performance of chlorine disinfection and ultraviolet technologies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 4(1):32–43.
- Delgove M.A.F., Laurent A.-B., Woodley J.M., De Wildeman S.M.A., Bernaerts K.V., van der Meer Y. (2019). A prospective life cycle assessment (LCA) of monomer synthesis: comparison of biocatalytic and oxidative chemistry. *ChemSusChem*, 12(7):1349–1360.
- Gear M., Sadhukhan J., Thorpe R., Clift R., Seville J., Keast M. (2018). A life cycle assessment data analysis toolkit for the design of novel processes—a case study for a thermal cracking process for mixed plastic waste. *Journal of Cleaner Production*, 180:735–747.
- Moshev E. R., Meshalkin V. P. (2018). Koncepcija i prakticheskaja realizacija problemno-orientirovannoj sistemy dlja informacionnoj podderzhki zhiznennogo cikla himiko-tehnologicheskogo oborudovanija [Concept and practical implementation of a problem-oriented system for information support of the life cycle of chemical-technological equipment]. *Matematicheskie metody v tehnike i tehnologijah – MMTT [Mathematical methods in engineering and technology – MMTT]*, 4:124-128. [in Russian].
- Calvo-Serrano R., Guillén-Gosálbez G. (2018). Streamlined life cycle assessment under uncertainty integrating a network of the petrochemical industry and optimization techniques: Ecoinvent versus mathematical modeling. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(5):7109–7118.
- Arcese, G., M. C. Lucchetti, I. Massa, and C. Valente. (2018). State of the art in S-LCA: Integrating literature review and automatic text analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23:394-405. DOI: 10.1007/s11367-016-1082-0
- Yang Y., Heijungs R. (2018). On the use of different models for consequential life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(4):751–758.
- Brundage M.P., Bernstein W.Z., Hoffenson S., Chang, Q., Nishi H., Kliks T., Morris K.C. (2018). Analyzing environmental sustainability methods for use earlier in the product lifecycle. *Journal of Cleaner Production*, 187:877-892.
- Palazzo J., Geyer R., Suh S. (2020). A review of methods for characterizing the environmental consequences of actions in life cycle assessment. *Journal of Industrial Ecology*, 24(4):815-829. DOI: 10.1111/jiec.12983.
- Artz J., Müller T.E., Thenert K., Kleinekorte J., Meys R., Sternberg A., Bardow A., Leitner W. (2017). Sustainable conversion of carbon dioxide: an integrated review of catalysis and life cycle assessment. *Chemical Reviews*, 118(2):434–504.
- Karka P., Papadokonstantakis S., Kokossis A. (2019). Environmental impact assessment of biomass process chains at early design stages using decision trees. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(9):1675–1700.
- Righi S., Baioli F., Dal Pozzo A., Tugnoli A. (2018). Integrating life cycle inventory and process design techniques for the early estimate of energy and material consumption data. *Energies*, 11(4):970.