

АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ ПІДПРИЄМСТВА: МЕТОДОЛОГІЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ (НА ПРИКЛАДІ ПИВОВАРНОЇ ПРОДУКЦІЇ)

Копішинська Катерина Олександрівна*, кандидат економічних наук, доцент,
Прокудіна Валерія Дмитрівна**, магістрант
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

*ORCID 0000-0002-1609-2902

**ORCID 0009-0007-1080-6357



© Копішинська К.О., 2025

© Прокудіна В.Д., 2025

Стаття отримана: 10.11.2025

Стаття прийнята: 03.12.2025

Стаття опублікована: 26.12.2025

Вступ. У сучасних умовах трансформації та посилення ролі сталого розвитку в економічних системах, управління відходами посідає чільне місце в системі корпоративного менеджменту. Воно виходить за межі суто природоохоронної функції та розглядається як інструмент підвищення ефективності використання ресурсів, мінімізації екологічних ризиків та посилення конкурентних позицій підприємств.

Відповідно моделі циркулярної економіки відходи інтерпретуються не лише як екологічна проблема, а, передусім, як потенційний ресурс. За наявності відповідних технологій і організаційних рішень вони можуть бути повернені у виробничий цикл у вигляді вторинної сировини, компонентів для повторного використання або джерела енергії. Таким чином, межа між «відходами» і «ресурсами» значною мірою визначається рівнем розвитку інфраструктури перероблення, економічною виправданістю операцій і регуляторними вимогами.

Одним з ключових завдань розвитку циркулярної економіки є розроблення механізмів перетворення відходів на ресурси і їх повернення у виробничі цикли. Згідно статистичних даних, лише 9% матеріалів у світовій економіці використовуються повторно [1]. В Європейському Союзі прийнято План дій щодо циркулярної економіки, який передбачає реалізацію низки заходів – від підвищення вимог екодизайну до розвитку ринків вторинної сировини. Зокрема, поставлено конкретні цілі: до 2030 року 60% муніципальних відходів мають перероблятися або повторно використовуватися (станом на 2020 рік цей показник у середньому по ЄС становив близько 39,9%) [2; 3].

В Україні щороку утворюється близько 450 млн тонн відходів, але на переробку з них потрапляє, за різними оцінками, лише 3% або менше – решта підлягає захороненню на полігонах [4]. Традиційна лінійна система призвела до накопичення колосального обсягу відходів і втрати ресурсів, які могли б бути повернені в економіку. За таких умов перехід до циркулярної моделі розглядається як необхідність: ефективне управління відходами є першим кроком до циркулярної економіки, коли більшість продуктів і матеріалів переробляються або повторно використовуються замість захоронення. Розвиток систем управління відходами на українських підприємствах сприятиме скороченню загальних обсягів утворення відходів, зростанню рівня їх переробки та зменшенню частки захоронення [5]. Проте, необхідно визначити можливі напрями оптимізації витрат ресурсів, впливи на довкілля та способи утилізації залишків або відпрацьованих матеріалів, що утворюються після використання продукції, тобто ретельно аналізувати усі етапи її життєвого циклу для забезпечення максимальної ефективності системи управління відходами підприємства.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Вітчизняні науковці розглядають оцінку життєвого циклу як потужний аналітичний інструмент для сталого менеджменту: він дає змогу кількісно оцінювати екологічні наслідки на всіх етапах життя продукту – від сировини до утилізації – і таким чином визначати точки для оптимізації й мінімізації відходів. У своїх роботах дослідники підкреслюють, що оцінка життєвого циклу може стати фундаментом стратегічного планування в циркулярній економіці, оскільки дозволяє порівнювати альтернативні сценарії поводження з відходами (наприклад, переробка та захоронення) з екологічної та економічної точки зору. Разом із цим вони звертають увагу на проблеми впровадження цього методу в українських реаліях: недостатність локальних даних, слабку інституційну підтримку та низький рівень обізнаності у бізнес-середовищі.

Так, Ю. М. Маковецька та І. І. Коблянська у своїх дослідженнях акцентують увагу на застосуванні оцінки життєвого циклу як інструменту для оцінювання екологічної ефективності технологічних процесів і формування оптимальних рішень щодо мінімізації відходів, підкреслюючи значення точного аналізу у межах підприємства [6; 7]. С. М. Фролов та О. О. Білопільська розглядають потенціал впровадження методу оцінки життєвого циклу в українській системі управління відходами, наголошуючи на його значенні для екологічно обґрунтованого вибору технологій поводження з відходами. Автори підкреслюють, що підхід дає змогу формувати об'єктивну картину екологічних впливів різних процесів і водночас виявляють бар'єри його застосування в Україні – зокрема, нестачу достовірних локальних даних і методичної підтримки [8]. Х. О. Дерейко аналізує екологічний вплив технологій сонячної енергетики, застосовуючи методологію LCA для визначення викидів, енергетичних витрат і загального екологічного навантаження на всіх етапах життєвого циклу обладнання. Дослідження демонструє, що використання оцінки життєвого циклу дозволяє об'єктивно порівнювати традиційні й відновлювані енергетичні системи та обґрунтовувати впровадження ресурсоефективних рішень [9]. У. Я. Андрусів, А. О. Черчата та О. Ю. Уфімцева розглядають LCA як інструмент оцінювання еколого-економічної ефективності управління відходами в умовах переходу до циркулярної економіки. Автори доводять, що використання оцінки життєвого циклу дозволяє поєднати екологічні критерії зі стратегічним ресурсним плануванням, визначити найменш ресурсозатратні та екологічно оптимальні моделі поводження з відходами, а також підсилює економічну аргументацію рішень у сфері перероблення та повторного використання [10].

Зарубіжні науковці також досліджували оцінку життєвого циклу у контексті управління відходами. Fabrizio D'Ascenzo, Giuliana Vinci, Lucia Maddaloni, Marco Ruggeri та Marco Savastano виділили, що найбільший екологічний вплив у пивоварінні припадає на енергію та пакування, і підкреслили необхідність використання перероблених матеріалів і сталих практик [11]. Iolanda De Marco, Salvatore Miranda, Stefano Riemma, Raffaele Iannone виявили, що пакувальний матеріал і транспортування мають суттєвий внесок у вплив на довкілля, а також здійснювали оцінку життєвого циклу різних видів пива [12]. Dyfed Rhys Morgan, David Styles та Eifiona Thomas Lane визначили, що у мікропивоварнях маленькі вантажівки при доставці є значними пунктами екологічного впливу, і зміна моделі доставки або легша упаковка може значно знизити вуглецевий слід [13].

Метою статті є дослідження методологічних підходів до оцінки життєвого циклу в системі управління відходами підприємства та розроблення практичних рекомендацій щодо її застосування для забезпечення ефективного використання ресурсів, мінімізації відходів та підвищення рівня конкурентоспроможності підприємства.

Основний матеріал і результати. Оцінка життєвого циклу (LCA) є науково обґрунтованою методикою кількісного вимірювання екологічних впливів продукту, процесу або послуги на всіх стадіях їх існування – від видобутку сировини та підготовки матеріалів через виробництво й використання до кінцевої стадії поводження з відходами. Такий підхід дає можливість уникати локальної оптимізації окремих операцій і розглядати рішення в системному вимірі, коли зміни на одній стадії можуть підсилювати або нівелювати ефекти на інших [6; 7]. На практиці це означає ретельну інвентаризацію матеріалів і пов'язаних з ними викидів у навколишнє середовище по всьому ланцюгу створення вартості з фіксацією меж системи, функціональної одиниці та інших параметрів дослідження відповідно до підходів стандартів ISO 14040/14044. Саме якість інвентаризації і прозорість припущень визначають надійність висновків, адже різні вибори меж чи правил розподілу можуть призводити до помітно відмінних результатів [14].

У європейському контексті LCA виступає науковою основою методів Environmental Footprint, що застосовуються до продуктів і до організацій, забезпечуючи цілісний підхід до вимірювання та управ-

ління екологічними впливами, підвищуючи порівнюваність результатів між альтернативами. Методи передбачають охоплення широкого кола екологічних питань у рамках оцінювання впливів, що є важливим для прийняття стратегічних рішень щодо маршруту поводження з відходами [8].

Система індикаторів оцінки впливів життєвого циклу будується ієрархічно: від інвентаризаційних даних до проміжних категорій впливу та далі до узагальнених категорій шкоди. На проміжному рівні включається зміна клімату, руйнування озонового шару, токсичність для людини (ракова і неракова), утворення твердих частинок у повітрі, іонізуюче випромінювання, фотохімічне утворення озону, кислотність, три види евтрофікації (морська, наземна, прісноводна), прісноводна еко-токсичність, використання землі, споживання води, а також використання ресурсів викопного походження та мінералів і металів. Перелік категорій періодично оновлюють, спираючись на прогрес науки та експертні обговорення в Європейській Комісії, що підтримує актуальність оцінок у динамічному середовищі. Включення цих категорій у рамку підприємства дозволяє коректно відобразити як «гарячі точки» впливу у виробництві, так і наслідки обраних маршрутів поводження з відходами – від захоронення до рециклінгу чи відновлення [15; 16].

На наступному рівні такі проміжні категорії агрегуються в категорії шкоди, пов'язані з ключовими областями захисту: здоров'я людини, якість природного середовища та ресурсний потенціал. Це дозволяє інтерпретувати результати LCA не лише як набір окремих показників, а як узагальнену картину впливів на здоров'я, екосистеми та довгострокову доступність ресурсів, що є зручним рівнем для стратегічних управлінських рішень [17].

У межах LCA виокремлено два підходи: атрибутивний та консеквентивний. Атрибутивний підхід описує спостережувані дані у заданих межах і часовому вікні, що добре підходить для базового порівняння сценаріїв на підприємстві. Консеквентний підхід фокусується на тому, як зміняться дані у відповідь на рішення, враховуючи ринкові реакції, заміщення матеріалів та інші системні наслідки. Даний підхід застосовується, коли мета – оцінити стратегічні зрушення у технологіях перероблення чи в моделі постачання [14].

Використання LCA в системі управління відходами дає підприємству інструмент не лише для підтвердження екологічної доцільності окремих рішень, а й для пріоритизації інвестицій з урахуванням повного життєвого циклу. Порівняння базового маршруту поводження з відходами з альтернативами, як сортування, компостування, рециклінгу чи енергетичного відновлення показує, де саме в ланцюгу виникають найбільші впливи і яку частку з них справді вдається уникнути завдяки обраній інновації [9]. У поєднанні з підходами Environmental Footprint це перетворюється на узгоджений набір показників, придатних для нефінансової звітності та комунікації зі стейкхолдерами, зокрема у форматі ESG [16].

Також доцільним до застосування є «Оцінки сталого розвитку життєвого циклу» (Life Cycle Sustainability Assessment – LCSA), що об'єднує екологічну оцінку життєвого циклу LCA, оцінку вартості життєвого циклу LCC та соціальну оцінку життєвого циклу S-LCA в одну узгоджену систему аналізу. Ці три техніки спираються на подібні методологічні засади і можуть бути реалізовані одночасно як єдина оцінка сталості на основі життєвого циклу [18].

За такого підходу на початковому етапі відбувається узгодження мети і сфери дослідження, функціональних одиниць, меж системи та правил розподілу спільних даних і результатів у мультипродуктових процесах. Межі системи доцільно встановлювати так, щоб вони охоплювали всі процеси, значущі принаймні для одного з трьох підходів, а винятки потрібно обґрунтовувати [18].

Єдина процесна схема стандарту ISO 14040 із чотирма фазами застосовується до всіх трьох складових. Вона передбачає послідовність визначення мети і сфери, інвентаризації, оцінювання впливів та інтерпретації з можливістю повторних ітерацій. Саме ця послідовність дозволяє використовувати результати LCA, LCC та S-LCA узгоджено і зменшує ризик локальної оптимізації [18].

Так, спочатку добирають узгоджений перелік категорій і показників. Для екологічної складової це можуть бути результати інвентаризації за сировиною, землекористуванням, викидами двоокису вуглецю, оксидів сірки й азоту, а також середньо-рівневі категорії на кшталт зміни клімату і кислотності та підсумкові категорії, що відображають стан здоров'я людини, якість екосистем і вичерпність ресурсів. Для соціальної складової використовується система категорій стейкхолдерів із підкатегоріями та індикаторами, наприклад права людини, умови праці, безпека і здоров'я, культурна спадщина, управлінські практики, соціально-економічні наслідки. Для економічної складової формуються набори витрат і доходів, включаючи оплату праці, матеріали, енергію, обладнання, податки та аналіз дисконтування (табл.1). Такі приклади структур подано як орієнтир для старту LCSA [18].

Структура оцінки сталості за LCSA

Складова LCSA	Основний фокус	Ключові індикатори
LCA (Екологічна)	Кількісне вимірювання впливів на довкілля	Викиди CO ₂ , оксидів сірки й азоту, кислотність, евтрофікація, вичерпність ресурсів.
LCC (Економічна)	Оцінка потоків витрат та економічної цінності по життєвому циклу	Витрати на матеріали/енергію, оплата праці, податки, NPV (чиста теперішня вартість), ROI (повернення інвестицій).
S-LCA (Соціальна)	Оцінка впливів на добробут та права стейкхолдерів.	Умови праці, безпека, гідна зайнятість, відсутність дискримінації, культурна спадщина.

Джерело: складено авторами на основі [18]

Інвентаризаційні дані в LCSA збирають на рівні окремих процесів і на рівні організації. Для соціальної складової поряд із кількісними показниками потрібні якісні та напівкількісні відомості. Рекомендовано поєднувати дані, зібрані безпосередньо на майданчиках, із типовими національними або регіональними даними, щоб підвищити репрезентативність та зіставність результатів у трьох вимірах [18].

У підсумку LCSA формує цілісну структуру, у якій впливи на довкілля, повна економіка життєвого циклу та соціальні наслідки оцінюються на одній логічній основі для тих самих меж і тієї самої функціональної одиниці. Такий підхід підсилює доказовість управлінських рішень щодо інновацій у системі управління відходами і зменшує ризик часткового поліпшення в одному вимірі ціною погіршення в іншому [18].

Для системи управління відходами підприємства це означає, що індикатори LCA доцільно формувати так, щоб вони охоплювали, з одного боку, ключові екологічні категорії, а з іншого – доповнювалися соціальними і економічними показниками, прив'язаними до областей захисту людей. У такій конструкції результати LCA та LCSA стають порівнюваними між альтернативними рішеннями щодо поводження з відходами і придатними для інтеграції в систему стратегічного менеджменту та нефінансової звітності підприємства [10; 19].

У якості прикладу застосування методики та оцінки ефективності системи управління відходами підприємства, здійснимо спрощений LCA-аналіз продукту ПрАТ «Оболонь» – пива «Оболонь світле» об'ємом 1,1 л. в ПЕТ-пляшці. Дослідження має на меті оцінити екологічні впливи на кожному етапі життєвого циклу, виявити основні точки впливу на довкілля та надати рекомендації щодо підвищення екологічної ефективності виробництва.

Система продукту охоплює повний життєвий цикл пива – від видобутку сировини до утилізації відходів. До системи входять такі основні підсистеми:

1. Постачання сировини (вирощування ячменю, виробництво солоду, вирощування хмелю, підготовка води, виробництво пакувальних матеріалів – скляних пляшок, етикеток тощо);
2. Виробничі процеси (затирання солоду, кип'ятіння суслу, бродіння із утворенням алкоголю, фільтрування та розлив у пляшки) [11];
3. Дистрибуція готового продукту (транспортування на склади, до торгових точок, зберігання при необхідному температурному режимі);
4. Фаза споживання;
5. Кінець життєвого циклу (утилізація або переробка відходів – передусім скляної пляшки, кришки, етикетки; а також утилізація побічних продуктів виробництва).

Функціональною одиницею обрано 1,1 літра світлого пива у ПЕТ-пляшці, готового до споживання – всі вхідні ресурси та вихідні емісії нормуються на одну пляшку пива, що дозволяє порівнювати ефективність та впливи з іншими продуктами. Такий вибір функціональної одиниці узгоджується з практикою LCA для напоїв [11].

На етапі інвентаризації життєвого циклу (LCI) зібрано вхідні ресурси та вихідні потоки, пов'язані з виробництвом і використанням продукту. На рисунку 1 наведено блок-схему процесів життєвого циклу продукту.

На основі даних підприємства ПрАТ «Оболонь» складено інвентаризаційний облік для однієї пляшки пива 1,1 л. Основні компоненти пива – вода, солод, хміль – формують основу матеріальних потоків. Для виробництва 1,1 л. готового пива потрібно 0,26 кг солоду, що виготовлений з ячменю, 4 г хмелю. Вода є найбільшим матеріальним потоком: безпосередньо в продукт входить 1,1 л води, але для тех-

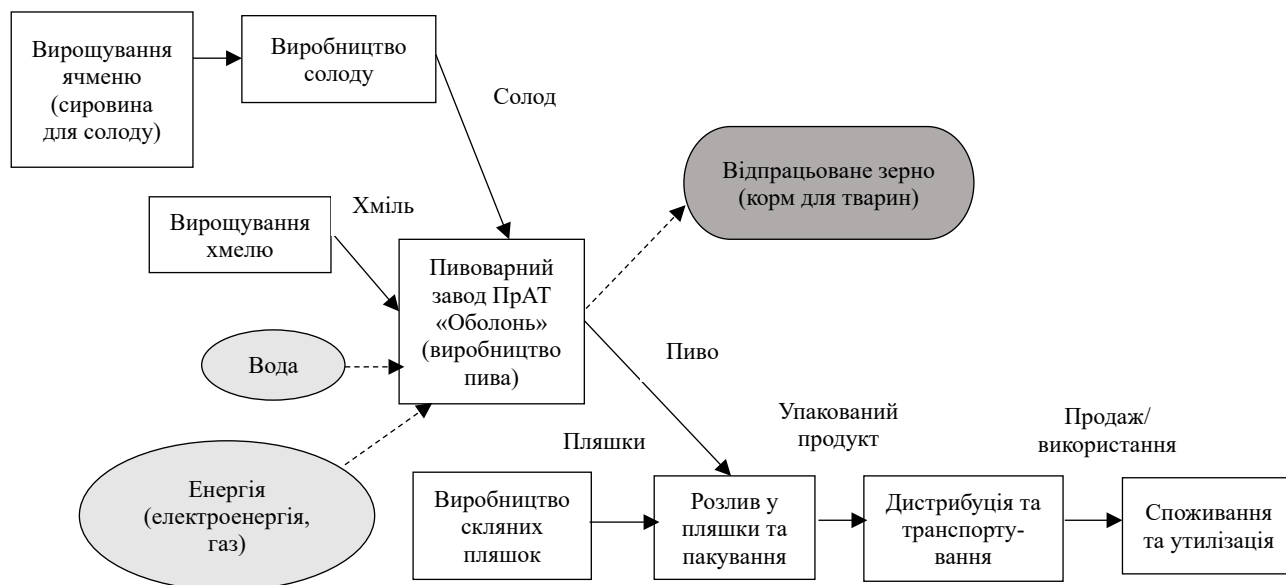


Рис. 1. Основні процеси життєвого циклу пива

Джерело: складено авторами

нологічних потреб використовується значно більше. ПрАТ «Оболонь» використовує 3 л. води на 1 л. готової продукції, відповідно для об'єму 1,1 л. готової продукції – 3,3 л. води.

Енергетичні ресурси включають електроенергію та паливо. На заводі «Оболонь» у Києві використовується природний газ для генерації пари і тепла. За допомогою заходів енергоефективності, компанія досягла суттєвого зниження споживання енергоносіїв (споживання електроенергії на підприємствах у 2015 р. було скорочено на 16%, а споживання природного газу – на 17%) [20]. Для функціональної одиниці 1,1 л. пива енергоспоживання оцінюється таким чином: електроенергія 0,44 МДж (для роботи обладнання у розрахунку на пляшку), теплова енергія (газ/пара) – 1,1 МДж. У сумі це еквівалентно 0,42 кВт·год загальної енергії на одну пляшку.

У результаті виробництва формується низка вихідних потоків. Перш за все, це готова продукція – 1,1 л. пива у пляшці, яка є цільовим корисним виходом. До побічних продуктів належить пивна дробина (0,044 кг сухої дробини на 1,1 л.). Цей матеріал не викидається, а є побічною продукцією з екологічною вигодою.

Іншим виходом є вуглекислий газ, що утворюється під час бродіння. У процесі спиртового бродіння дріжджі перетворюють цукри суслу на етанол і CO₂. Для алкогольного пива бродіння доводять до заданої міцності; частина утвореного CO₂ залишається у напої як природна карбонізація, а частина відводиться через газовідвід. Даний вуглекислий газ є біогенного походження, тому в оцінці впливу на зміну клімату його зазвичай не враховують.

Стічні води – ще один важливий потік. Вода після миття обладнання, фільтрації, охолодження відводиться в систему очищення. Пивне виробництво характеризується стоками із залишками органічних речовин, підвищеною температурою та нерідко – залишками миючих засобів. Заводи «Оболонь» мають локальні очисні споруди, тож в межах системи LCA можна вважати, що стічна вода очищується до нормативної якості перед скиданням.

Тверді відходи на стадії виробництва включають відсів зерна, використаний фільтраційний матеріал, браковану продукцію, упаковку від сировини. Їх кількість на одиницю продукції незначна; багато з них здаються на переробку у рамках програми безвідходності виробництва. На етапі споживання головним відходом є ПЕТ-пляшка: частина такої тари збирається та відправляється на переробку (7,3% від загального випуску ПЕТ-пляшок), решта – потрапляє на захоронення. Отже, після споживання основним екологічним навантаженням залишається упаковка з ПЕТ.

На етапі оцінки впливу життєвого циклу (LCIA) інвентаризаційні дані переводяться у показники потенційного впливу на довкілля. Отримані результати наведені в табл. 2 та рис.2.

Остаточні результати LCA для 1,1 л пива у ПЕТ-пляшці визначають GWP 0,674 кг CO₂-екв, що у перерахунку на 1 л. становить близько 0,61 кг CO₂-екв. Порівняння з галузевими оцінками підтвер-

Таблиця 2

Розрахунок викидів CO₂ при виробництві пива

Категорія	Кількість	Внесок CO ₂ , кг	Відсоток частки, %
Упаковка (ПЕТ-пляшка)	0,045 кг	0,348	51,61%
Сировина (ячмінь/солод)	0,264 кг	0,198	29,36%
Тепло та електроенергія	0,42 кВт·год	0,104	15,42%
Вода	3,3 л.	0,0033	0,49%
Інше (кришка, етикетки, допоміжні матеріали)	0,003 кг	0,021	3,11%
GWP загальний		0,6743	

Джерело: складено авторами за результатами аналізу та [21]

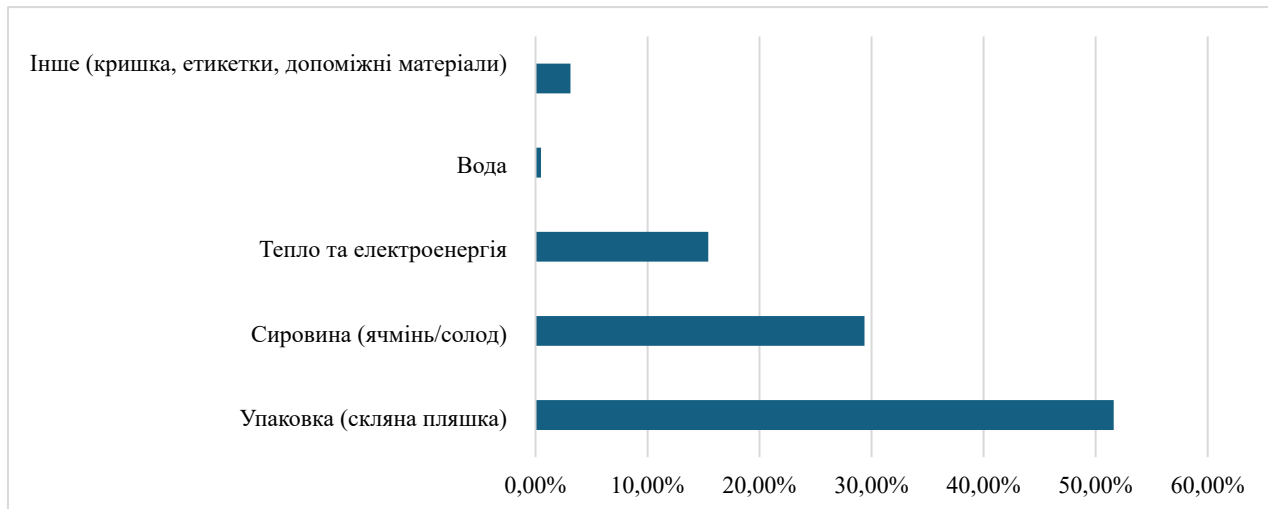


Рис. 2. Структура вуглецевого сліду пива за категоріями

Джерело: складено авторами за результатами аналізу

джує репрезентативність отриманого результату – середній показник GWP 0,67–0,69 кг CO₂-екв/л, тому результат відповідає середньо-ринковому діапазону [11]. Структура вуглецевого сліду є типовою для пивної продукції: найбільше навантаження формує пакування з ПЕТ; далі сировинний компонент, тепло- та електроенергія, вода та інші допоміжні матеріали.

З огляду на виявлені гарячі точки, доцільними є наступні сфери удосконалення. По-перше, оптимізація пакування: зменшення маси ПЕТ-пляшки, вибір комплектуючих, сумісних із переробленням тощо. По-друге, зниження вуглецевості сировини через роботу з постачальниками солоду: використання відновлюваної енергії на солодовнях, оптимізація агротехнологій і добрив. По-третє, поглиблення енергоефективності у виробництві: модернізація обладнання, утилізація вторинного тепла.

Наступним етапом здійсимо оцінку вартості життєвого циклу товару. Для розрахунку буде використано формулу 1.

$$LCC = B_m + B_o + (B_p / \text{жц} * \text{ЖЦ}_o * C_p) * \Pi_{\text{жц}} + B_{\text{зе}} \quad (1)$$

де B_m – вартість товару (безпосередньо ціна товару) B_o – вартість доставки; $B_{p/\text{жц}}$ – показник витрат споживання ресурсу за одиницю Π_o ; ЖЦ_o – одиниця виміру життєвого циклу; C_p – ціна одиниці ресурсу в обсязі, що визначений у $B_p/\text{по}$ (вартість 1 кВт/год електроенергії, 1 літра палива тощо); $\Pi_{\text{жц}}$ – період життєвого циклу, фактично це весь обсяг життєвого циклу; $B_{\text{зе}}$ – вартість витрат на закінчення експлуатації [22].

У формулу (1) підставимо отримані від підприємства дані:

$$LCC = 58,90 + 0,86 + (0,428 * 3,08) * 4 + 0,07 = 65,10 \text{ грн.}$$

Остаточна оцінка за результатами LCC для функціональної одиниці 1,1 л пива у ПЕТ-пляшці становить 65,10 грн. Структура витрат є асиметричною: домінує первинна ціна товару, далі енергетична складова, а логістика та завершення життєвого циклу мають мінімальний внесок. Чутливість моделі

свідчить, що коливання тарифів на енергію або матеріаломісткості пакування пропорційно змінюють повну вартість товару, тоді як оптимізація кінцевих операцій практично не впливає на LCC. Отже, економічно релевантними важелями виступають матеріали (насамперед пакування, інтегроване у відпуску ціну) та енергоефективність процесів.

Висновки. Використання оцінки життєвого циклу дозволяє підприємству відійти від фрагментарного бачення впливів і перейти до системного підходу, який охоплює всі стадії створення продукту – від походження сировини до утилізації відходів. Оцінка життєвого циклу (LCA) забезпечує системне бачення екологічних впливів, дозволяючи уникнути локальної оптимізації та оцінювати наслідки змін на всіх етапах життєвого циклу продукту. Розширення аналізу до рамки Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA), що включає LCA, LCC і S-LCA, формує цілісне бачення сталості з урахуванням екологічних, соціальних та економічних аспектів. Такий підхід дозволяє підприємству узгоджено оцінювати компроміси між різними вимірами сталого розвитку, зокрема і в системі управління відходами.

Практичне застосування методів до продукту ПрАТ «Оболонь» – пива «Оболонь світле» у ПЕТ-пляшці – виявило ключові «гарячі точки» впливу на довкілля. Найбільший внесок у вуглецевий слід формує пакування з ПЕТ, що узгоджується з галузевими даними; помітну частку також становлять сировина та енергетичні ресурси.

Таким чином, застосування комплексного підходу до оцінки життєвого циклу дозволяє інтегрувати екологічні, економічні та соціальні параметри у стратегічне планування та формувати показники, придатні для використання в ESG-звітності, що підсилює стійкість і конкурентоспроможність підприємства в умовах переходу до циркулярної економіки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Кривенко С.В. Модернізація системи управління відходами у контексті циркулярної економіки. *Економіка та суспільство*. 2024. № 68. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-142>
2. European Environment Agency. Reaching the 2030 residual municipal waste target (Indicator). URL: <https://www.eea.europa.eu/en/european-zero-pollution-dashboards/indicators/reaching-the-2030-residual-municipal-waste-target-indicator-1>
3. Зелена Трансформація України. Країни Європейського Союзу суттєво збільшили рівень утилізації відходів. URL: <https://greentransform.org.ua/krayiny-evropejskogo-soyuzu-suttyevo-zbilshyly-riven-utylizatsiyi-vidhodiv/>
4. Projects LIGA. Україна без сміттєзвалищ: Як працює циркулярна економіка та чому екоперехід – це й дуже вигідно. URL: <https://projects.liga.net/mcdonalds>
5. Kopishynska K., Prokudina V. Developing a Waste Management Mechanism for Agro-Industrial Enterprises based on the Implementation of Innovations. *Економічний вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут»*. 2025. No. 34. С. 87–92. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.34.2025.341980>
6. Маковецька Ю.М. Оцінювання життєвого циклу продукції як інструмент впливу на мінімізацію відходів. *Ефективна економіка*. 2012. №11.
7. Коблянська, І.І. Еволюція методології оцінювання життєвого циклу: світовий та вітчизняний контексти. *Економіка та суспільство*. 2022. №42. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-42-27>
8. Фролов С.М., Білопільська О.О. Перспективи використання методу оцінки життєвого циклу в системі управління відходами в Україні. *Ефективна економіка*. 2013. № 2.
9. Дерейко Х.О. Оцінка екологічного впливу використання сонячної енергетики за методологією оцінювання життєвого циклу. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Хімія, технологія речовин та їх застосування*. 2015. № 812. С. 313–319.
10. Андрусів, У., Черчата, А., & Уфімцева, О. Еколого-економічна складова управління відходами на засадах циркулярної економіки. *Економічний простір*. 2023. № 188. С. 163–169. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/188-27>
11. D'Ascenzo F. Application of Life Cycle Assessment in Beer Production: Systematic Review. *Beverages*. 2024. no. 3. P. 86. DOI: <https://doi.org/10.3390/beverages10030086>
12. De Marco I., Miranda S., Riemma S., Iannone R.. Life Cycle Assessment of Ale and Lager Beers Production, *Chemical Engineering Transactions*. 2016. no. 49. P. 337–342.
13. Morgan D. R., Styles D., Thomas Lane E. Packaging choice and coordinated distribution logistics to reduce the environmental footprint of small-scale beer value chains. *Journal of Environmental Management*. 2022. no. 307.
14. Zosym M. Оцінка життєвого циклу (Life cycle assessment – LCA). URL: <https://www.maxzosim.com/otsinka-zhittevogo-tsiklu/>
15. Green Business Certification Inc. TRUE Rating System. URL: <https://true.gbci.org/sites/default/files/resources/Current-Rating-System-December-2023.pdf>
16. European Commission. Life Cycle Assessment & the EF methods. URL: https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/environmental-footprint-methods/life-cycle-assessment-ef-methods_en
17. United Nations Environment Programme (UNEP). Towards a Life Cycle Sustainability Assessment, 2011. URL: <https://wedocs.unep.org/rest/api/core/bitstreams/2480d32f-94fd-43c6-9b83-abe4a9c94084/content>

18. United Nations Environment Programme (UNEP). Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations 2020. URL: <https://www.lifecycleinitiative.org/library/guidelines-for-social-life-cycle-assessment-of-products-and-organisations-2020/>
19. Hackenhaar I C, Moraga G, Thomassen G, Taelman S E, Dewulf J, Bachmann T M. A comprehensive framework covering Life Cycle Sustainability Assessment, resource circularity and criticality. *Sustainable Production and Consumption*. 2024. no. 45. P. 509–524. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.01.018>
20. Obolon Corporation. Сталій розвиток корпорації «Оболонь». Звіт про сталій розвиток 2015. URL: <https://ru.scribd.com/document/732766029/Obolon-AnnualReport-2015-UA-Final>
21. Omnical. The 2030 Calculator. A product carbon footprint calculation tool. URL: <https://2030calculator.com/>
22. Living Planet. Примірна методика визначення вартості життєвого циклу. URL: https://livingplanet.org.ua/images/2025/prymirna_metodyka_OVETS_nova_redaktsiya.pdf

REFERENCES:

1. Kryvenko S. V. (2024). Modernizatsiia systemy upravlinnia vidkhodamy u konteksti tsyrkuliarnoi ekonomiky [Modernization of the waste management system in the context of the circular economy]. *Ekonomika ta suspilstvo*. no. 68. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-142>
2. European Environment Agency. Reaching the 2030 residual municipal waste target (Indicator). Available at: <https://eea.europa.eu/en/european-zero-pollution-dashboards/indicators/reaching-the-2030-residual-municipal-waste-target-indicator-1>
3. Zelena Transformatsiia Ukrainy. Krainy Yevropeiskoho Soiuzu suttyevo zbilshyly riven utylizatsii vidkhodiv [EU countries significantly increased waste recycling rates]. Available at: <https://greentransform.org.ua/krayiny-evropejskogo-soyuzu-suttyevo-zbilshyly-riven-utylizatsiyi-vidhodiv/>
4. Projects LIGA. (2024). Ukraina bez smyttyezvalyshch: Yak pratsiuie tsyrkuliarna ekonomika ta chomu ekope-rekhd – tse shche y duzhe vyhidno [Ukraine without landfills: How the circular economy works and why the eco-transition is also very beneficial]. Available at: <https://projects.liga.net/mcdonalds>
5. Kopishynska K. & Prokudina V. (2025). Developing a waste management mechanism for agro-industrial enterprises based on the implementation of innovations. *Economic visnyk NTUU “Kyivskiy politekhnichnyi instytut”*. no. 34. pp. 87–92. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.34.2025.341980>
6. Makovetska Yu. M. (2012). Otsiniuvannia zhyttievoho tsyклу produktsii yak instrument vplyvu na minimizatsiiu vidkhodiv [Assessment of the product life cycle as a tool for influencing waste minimization]. *Efektivna ekonomika*, no. 11.
7. Koblianska I. I. (2022). Evoliutsiia metodolohii otsiniuvannia zhyttievoho tsyклу: svitovyi ta vitchyzniani konteksty [Evolution of the life cycle assessment methodology: Global and domestic contexts]. *Ekonomika ta suspilstvo*. no. 42. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-42-27>
8. Frolov S. M., & Bilopil'ska O. O. (2013). Perspektyvy vykorystannia metodu otsinky zhyttievoho tsyклу v systemi upravlinnia vidkhodamy v Ukraini [Prospects for using the life cycle assessment method in the waste management system in Ukraine]. *Efektivna ekonomika*. no. 2.
9. Dereiko Kh. O. (2015). Otsinka ekolohichnoho vplyvu vykorystannia soniachnoi enerhetyky za metodolohiieiu otsiniuvannia zhyttievoho tsyклу [Environmental impact assessment of solar energy use based on the life cycle assessment methodology]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika”*. Khimiia, tekhnolohiia rechovyn ta yikh zastosuvannia. no. 812. pp. 313–319.
10. Andrusiv U., Cherchata A., & Ufimtsieva O. (2023). Ekoloho-ekonomichna skladova upravlinnia vidkhodamy na zasadakh tsyrkuliarnoi ekonomiky [Ecological and economic component of waste management based on the principles of the circular economy]. *Ekonomichnyi prostir*. no. 188. pp. 163–169. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/188-27>
11. D’Ascenzo F. (2024) Application of Life Cycle Assessment in Beer Production: Systematic Review. *Beverages*. no. 3. p. 86. DOI: <https://doi.org/10.3390/beverages10030086>
12. De Marco I., Miranda S., Riemma S., Iannone R. (2016) Life Cycle Assessment of Ale and Lager Beers Production, *Chemical Engineering Transactions*. no. 49. p. 337–342.
13. Morgan D. R., Styles D., Thomas Lane E. (2022) Packaging choice and coordinated distribution logistics to reduce the environmental footprint of small-scale beer value chains. *Journal of Environmental Management*. no. 307.
14. Zosym M. (n.d.). Otsinka zhyttievoho tsyклу (Life cycle assessment – LCA) [Life cycle assessment (LCA)]. Available at: <https://www.maxzosim.com/otsinka-zhyttievogo-tsyklu/>
15. Green Business Certification Inc. (2023). *TRUE Rating System*. Available at: <https://true.gbci.org/sites/default/files/resources/Current-Rating-System-December-2023.pdf>
16. European Commission. (2023). Life cycle assessment & the EF methods. *Green Forum*. Available at: https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/environmental-footprint-methods/life-cycle-assessment-ef-methods_en
17. United Nations Environment Programme (UNEP). (2011). *Towards a life cycle sustainability assessment*. Available at: <https://wedocs.unep.org/rest/api/core/bitstreams/2480d32f-94fd-43c6-9b83-abe4a9c94084/content>
18. United Nations Environment Programme (UNEP). (2020). *Guidelines for social life cycle assessment of products and organizations 2020*. Available at: <https://www.lifecycleinitiative.org/library/guidelines-for-social-life-cycle-assessment-of-products-and-organisations-2020/>
19. Hackenhaar I C, Moraga G, Thomassen G, Taelman S E, Dewulf J, Bachmann T. M. (2024) A comprehensive framework covering Life Cycle Sustainability Assessment, resource circularity and criticality. *Sustainable Production and Consumption*. no. 45. p. 509–524. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.01.018>

20. Obolon Corporation. (2015). Stalyi rozvytok korporatsii "Obolon". Zvit pro stalyi rozvytok 2015 [Sustainable development of Obolon Corporation: Sustainable development report 2015]. Available at: <https://ru.scribd.com/document/732766029/Obolon-AnnualReport-2015-UA-Final>

21. Omnical. The 2030 Calculator. A product carbon footprint calculation tool. Available at: <https://2030calculator.com/>

22. Living Planet. Sample methodology for life cycle cost determination. Available at: https://livingplanet.org.ua/images/2025/prymirna_metodyka_OVETS_nova_redaktsiya.pdf

УДК 502.131.1:658.628

JEL M11, Q51, Q52, Q56

Копішинська Катерина Олександрівна, кандидат економічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». **Прокудіна Валерія Дмитрівна**, магістрант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». **Аналіз та оцінка життєвого циклу в системі управління відходами підприємства: методологія та застосування (на прикладі пивоварної продукції)**.

У статті досліджено застосування оцінки життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA) як наукової основи для аналізу екологічних впливів продуктів і процесів у системі управління відходами підприємства. Розкрито методологічні підходи ISO 14040/14044, структуру категорій впливу та взаємозв'язок LCA із підходами Environmental Footprint, що забезпечують порівнюваність екологічних показників. Показано доцільність інтеграції LCA з оцінкою вартості життєвого циклу (LCC) та соціальною оцінкою життєвого циклу (S-LCA) у форматі Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA), що дозволяє формувати цілісну картину впливів на довкілля, соціальний добробут та економічну ефективність. Проведено спрощений LCA-аналіз пивоварної продукції, який демонструє основні точки впливу, зокрема домінування внеску пакування у вуглецевий слід. За результатами LCC визначено ключові економічні драйвери та напрями підвищення ресурсної ефективності виробництва. Запропоновано рекомендації щодо оптимізації пакування, підвищення енергоефективності та роботи з постачальниками сировини. Отримані результати підтверджують доцільність використання LCA/LCSA як інструменту стратегічного управління відходами та сталості підприємства.

Ключові слова: оцінка життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA), управління відходами підприємства, циркулярна економіка, сталий розвиток, вуглецевий слід, пивоварна продукція.

UDC 502.131.1:658.628

JEL M11, Q51, Q52, Q56

Kateryna Kopishynska, Ph.D. in Economics, Associate Professor, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". **Valeriia Prokudina**, Master Student, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". **Life cycle analysis and assessment in the waste management system of an enterprise: methodology and application (using the example of brewery products)**.

The article examines the application of Life Cycle Assessment (LCA) and the integrated Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) framework as advanced analytical tools for improving waste management systems at the enterprise level. LCA provides a scientifically grounded method for quantifying environmental impacts across all stages of a product's life cycle—from raw material extraction and manufacturing to use and end-of-life processes – allowing organizations to avoid local optimization and make decisions based on system-wide effects. The study outlines the methodological foundations of ISO 14040/14044, the hierarchical structure of impact categories, and the link between LCA and the EU Environmental Footprint approach, which enhances comparability and transparency of sustainability metrics. Further, the integration of LCA with Life Cycle Costing (LCC) and Social Life Cycle Assessment (S-LCA) within the LCSA concept enables a holistic evaluation of environmental, economic, and social impacts under a unified system boundary and functional unit. To demonstrate practical applicability, a simplified LCA of a brewery product is performed. Results indicate that packaging contributes the largest share to the product's carbon footprint, followed by raw materials and energy consumption, aligning with industry benchmarks. The LCC assessment reveals that the primary cost drivers are product price and energy inputs, emphasizing the importance of material and energy efficiency improvements. Based on identified hotspots, the paper proposes targeted strategies including packaging optimization, supplier engagement for low-carbon raw materials, and further enhancement of energy efficiency measures. Overall, the findings underscore the value of LCA/LCSA as evidence-based decision-support instruments that strengthen sustainability performance and guide innovation in corporate waste management systems. Thus, the implementation of an integrated LCA approach makes it possible to combine environmental, economic, and social indicators within strategic management and to develop relevant metrics for ESG reporting, which in turn strengthens the enterprise's resilience and competitive position in the context of the transition to a circular economy.

Key words: Life Cycle Assessment (LCA), enterprise waste management, circular economy, sustainable development, carbon footprint, brewing products.