

ЕКОЛОГІЯ

DOI: 10.31319/2519-2884.48.2026.22

УДК 502.1:006.3/.8:669(477)

Непошивайленко Н.О., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-0759-2451, e-mail: nna2013@ukr.net

Остапенков Л.Л., здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти,

ORCID: 0009-0005-7799-1580, e-mail: leonid.ostapenkov@gmail.com

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Neposhyvailenko Natalia, Candidate of engineering sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection

Ostapenkov Leonid, Postgraduate student

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

ТРАНСФОРМАЦІЯ МІЖНАРОДНИХ ЕКОЛОГІЧНИХ СТАНДАРТІВ У КОНТЕКСТІ ГЛОБАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ ТА ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ УКРАЇНИ

Проведено комплексний аналіз еволюції міжнародних екологічних стандартів від процесних моделей (ISO 14001) до систем кількісної верифікації вбудованих викидів (CBAM). На основі математичного апарату ISO 14040/44 запропоновано методу оцінювання життєвого циклу промислової продукції. Особливу увагу приділено цифровізації моніторингу в умовах війни та стратегії «зеленого відновлення» промислового кластеру Придніпров'я.

Ключові слова: екологічні стандарти; ISO 14001; EMAS; LCA; CBAM; вбудовані викиди; післявоєнне відновлення; «Build Back Better».

A comprehensive analysis of the evolution of international environmental standards from process models (ISO 14001) to quantitative verification systems for embedded emissions (CBAM). Based on the mathematical framework of ISO 14040/44, a methodology for life cycle assessment of industrial products is proposed. Special attention is paid to the digitalization of monitoring under war conditions and the "green recovery" strategy of the Prydniprovya industrial cluster.

Keywords: environmental standards; ISO 14001; EMAS; LCA; CBAM; embedded emissions; post-war recovery; Build Back Better.

Постановка проблеми

В умовах глобальної кліматичної кризи та прогресуючого виснаження природних ресурсів екологічні стандарти зазнали фундаментальної трансформації: вони перетворилися з другорядних технічних регламентів на ключовий інструмент міжнародної дипломатії, торговельної політики та національної безпеки. Для України, яка перебуває у стані безпрецедентного історичного виклику — захисту суверенітету від збройної агресії та одночасного реформування економіки для вступу до Європейського Союзу, — питання гармонізації екологічних стандартів набуває критичної ваги.

Як зазначає Крюгер Р., екологічні стандарти сьогодні виступають у ролі «невидимої конституції» глобального ринку, визначаючи параметри доступу капіталу до національних економік [1]. Проте для вітчизняного промислового сектору ця проблема ускладнюється глибоким технологічним розривом. Більшість українських підприємств важкої індустрії продовжують функціонувати в межах ресурсоемних моделей, що суперечать пріоритетам європейського «Зеленого курсу» (European Green Deal) та вимогам кліматичної нейтральності до 2050 року [2].

Гострота проблеми полягає у виникненні нового виду технічних бар'єрів у міжнародній торгівлі. Впровадження Механізму вуглецевого коригування імпорту (CBAM) та посилення вимог до розкриття нефінансової звітності (ESG) створюють ситуацію, за якої екологічна не-

фективність виробництва конвертується у прямі фінансові збитки та втрату зовнішніх ринків збуту. Водночас військова агресія спричинила масштабну деградацію довкілля та руйнування промислового потенціалу, що робить неможливим повернення до дореформених стандартів виробництва.

Відсутність цілісної методики інтеграції міжнародних стандартів (ISO, EMAS, LCA) у систему післявоєнної відбудови створює ризик «технологічного консервування» застарілих об'єктів замість їх радикальної модернізації. Таким чином, виникає об'єктивна потреба у розробці науково обґрунтованого підходу до трансформації нормативної бази, який дозволив би українським підприємствам не лише адаптуватися до вимог ЄС, а й використати процес відновлення за принципом «Build Back Better» як драйвер технологічного лідерства. Необхідність пошуку балансу між економічним виживанням у воєнний час та дотриманням суворих кліматичних зобов'язань визначає актуальність та прикладну значущість даного дослідження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питання трансформації екологічних стандартів у сучасних умовах кліматичної кризи та глобальних економічних трансформацій перебуває у центрі уваги широкого кола науковців. Теоретико-методологічний фундамент дослідження екологічних регламентів як інструменту регулювання глобального ринку закладено у працях Крюгера Р. [1], який характеризує сучасні стандарти як «невидиму конституцію» глобалізованої економіки, що визначає параметри доступу капіталу до національних ринків. Сендс П. та співавтори акцентують увагу на еволюційній природі міжнародного екологічного права, доводячи, що більшість чинних нормативів сформувалися як реактивна відповідь на масштабні техногенні катастрофи минулого, що зумовило їх початкову спрямованість на ліквідацію наслідків, а не запобігання причинам забруднення [3].

Перехід від концепції «контролю на кінці труби» до системного екологічного менеджменту став предметом детального аналізу Кане І. та Тарі Х. К. [4]. Автори обґрунтовують переваги інтеграції екологічної відповідальності безпосередньо у бізнес-стратегії промислових підприємств, де екологічні збитки розглядаються як прямий наслідок інженерно-управлінської неефективності. Технологічний базис безперервного вдосконалення екологічних показників ґрунтується на адаптованому циклі PDCA (Plan-Do-Check-Act) Демінга В. Е., що став основою для розроблення серії стандартів ISO 14001 [5]. В Україні впровадження ДСТУ ISO 14001:2015 розглядається як критичний чинник підвищення інвестиційної привабливості у межах глобальної стратегії ESG [6].

Водночас, значна кількість публікацій присвячена критичному аналізу ефективності ISO 14001. Зокрема, Ковтун Т.В., Гевчук А.В. та Бурцева М.П. досліджують явище «грінвошингу», зазначаючи, що формальна наявність сертифіката часто використовується як інструмент маніпулятивного маркетингу, що дезорієнтує споживача та не відображає реального техногенного впливу підприємства на довкілля [7–9]. Це зумовлює необхідність переходу до більш жорстких та прозорих систем, таких як європейський Регламент EMAS. Сакалова О.В. у своїх дослідженнях порівнює ISO 14001 та EMAS, вказуючи, що останній вимагає не лише управління процесами, а й публічного підтвердження реального покращення екологічних показників через «Екологічну декларацію» [10].

Сучасний етап екологізації промисловості неможливий без імплементації методології оцінювання життєвого циклу (LCA), детально описаної у працях Мельника Л.Г., Громської Н.О., Лапсєва Г.В. та Шевченко Г.М. [11–13]. Автори доводять, що використання інструментів LCA дозволяє ідентифікувати «вузькі місця» у ланцюгах створення вартості та забезпечити перехід до циркулярної економіки, що є особливо актуальним для енергоємних галузей України [14]. Буркш О.В. акцентує увагу на тому, що екологізація життєвого циклу продукції є ключовою вимогою європейської інтеграції [15].

Особливого значення в українському науковому дискурсі набули питання впливу воєнних дій на довкілля та методик оцінки завданої шкоди. Шапаренко С., Бондар О.І. та Валерко П.В. аналізують безпрецедентну деградацію екосистем та необхідність актуалізації стандартів моніторингу в умовах збройного конфлікту [16, 17]. Цифровізація екологічного контролю через впровадження таких платформ, як «ЕкоЗагроза» та використання супутникових даних Sentinel,

розглядається у працях Стрільця Р.О. як новий стандарт оперативного реагування на екологічні ризики [18]. Ткаченко О.П. та Клименко М.В. підкреслюють важливість забезпечення доступу до екологічної інформації згідно з нормами Орхуської конвенції навіть у воєнний час [19].

Концепція «зеленого відновлення» (Build Back Better) як фундаменту післявоєнної реконструкції представлена у дослідженнях Є. В. Вітрикуш та аналітичних звітах ГО «Екодія» та «DiXi Group» [20, 21]. Науковці наголошують, що модернізація промислового сектору має базуватися на Директиві 2010/75/EU про промислові викиди та впровадженні найкращих доступних технологій і методів управління (НДТМ) [21, 22].

Запровадження Механізму вуглецевого коригування імпорту (СВАМ) стало новим викликом, який досліджують Павленко А. та експерти Київської школи економіки (KSE) [23, 24]. Синхронізація національної системи моніторингу, звітності та верифікації (МЗВ) із вимогами Регламенту (ЄС) 2023/956 розглядається як стратегічна умова збереження конкурентоспроможності вітчизняного експорту на європейському ринку [25, 26].

Незважаючи на значний обсяг напрацювань, потребують подальшого дослідження прикладні аспекти імплементації стандартів серії ISO 14064 в умовах обмежених ресурсів вітчизняних підприємств та розробка технічних алгоритмів автоматизованого збору даних для верифікації вуглецевого сліду продукції, що і визначає актуальність цієї статті.

Формулювання мети дослідження

Мета роботи полягала у теоретичному обґрунтуванні та розробці техніко-методологічних засад трансформації систем екологічного управління на підприємствах України з урахуванням нових глобальних стандартів (LCA, СВАМ, EMAS) та специфічних викликів післявоєнного «зеленого відновлення».

Для досягнення поставленої мети було визначено та вирішено такі завдання:

- проаналізувати еволюцію міжнародних екологічних стандартів від організаційного менеджменту (ISO 14001) до кількісної верифікації вбудованих викидів (СВАМ);
- розкрити математичний апарат та технічні аспекти методології оцінювання життєвого циклу (LCA) згідно з ISO 14040/14044 як базису для розрахунку вуглецевого сліду продукції;
- розробити прикладну методіку та надати розрахунковий приклад визначення вбудованих викидів CO₂ для експортних партій сталевого прокату відповідно до Регламенту ЄС 2023/956;
- обґрунтувати роль цифровізації та систем дистанційного зондування Землі як інструментів технічної верифікації екологічних збитків в умовах воєнного стану;
- ідентифікувати техніко-економічні бар'єри впровадження найкращих доступних технологій (НДТМ) та визначити перспективи декарбонізації промислового кластеру Придніпров'я.

Виклад основного матеріалу

1. Методологічна архітектура систем екологічного управління: Технічне порівняння ISO 14001 та EMAS

Сучасна парадигма промислової екології базується на переході від стратегії локалізації забруднень до системного управління екологічними аспектами на всіх етапах виробничого циклу. В основі цієї трансформації лежать дві провідні архітектурні моделі: міжнародний стандарт ISO 14001 та Регламент Європейського Парламенту і Ради ЄС № 1221/2009 (EMAS). Хоча обидві системи спрямовані на мінімізацію антропогенного навантаження, їхня технічна реалізація та глибина верифікації суттєво відрізняються, що є критичним фактором для підприємств важкої промисловості Придніпровського регіону.

Міжнародний стандарт ISO 14001:2015 побудований на гнучкій методологічній платформі циклу PDCA (Plan-Do-Check-Act). Його технічна архітектура фокусується на «процесному підході» та ризик-орієнтованому мисленні. Основною інженерною вимогою стандарту є ідентифікація екологічних аспектів — елементів діяльності підприємства, які взаємодіють з довкіллям. З погляду технічного регулювання, ISO 14001 не встановлює конкретних кількісних граничних значень для викидів чи споживання ресурсів, а лише вимагає від організації зобов'язання щодо постійного вдосконалення системи управління та дотримання чинного зако-

нодавства. Це робить стандарт універсальним, але водночас «м'яким» інструментом, оскільки він дозволяє підприємству самостійно визначати темпи екологічної модернізації.

Натомість Регламент EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) представляє собою значно жорсткішу технічну надбудову. Архітектура EMAS включає всі вимоги ISO 14001, проте доповнює їх низкою обов'язкових елементів, що перетворюють систему управління на інструмент публічного технічного звітування. По-перше, EMAS вимагає проведення поглибленого «екологічного аналізу» перед впровадженням системи, що включає пряму інвентаризацію всіх джерел емісії та оцінку їхнього впливу на екосистеми. По-друге, ключовим технічним диференціатором є Екологічна декларація. Це публічний документ, який підлягає щорічній перевірці незалежним акредитованим екологічним верифікатором. У декларації підприємство зобов'язане розкривати динаміку ключових індикаторів ефективності у шести основних сферах:

- енергоефективність (загальне річне споживання енергії відносно обсягу виробленої продукції),
- матеріаломісткість (річний масовий потік основних сировинних матеріалів без урахування води та енергоносіїв),
- водоспоживання (загальний річний обсяг використаної води),
- відходи (загальна кількість утворених відходів з розподілом на небезпечні та інертні),
- біорізноманіття (використання земельних ресурсів забудованої площі у метрах квадратних),
- викиди (сумарні річні емісії парникових газів та забруднюючих речовин SO_x, NO_x тощо).

Порівняльний аналіз показує, що EMAS забезпечує вищий рівень «технічної прозорості». Якщо в ISO 14001 зовнішній аудит може бути обмежений перевіркою документальних процедур, то верифікатор EMAS зобов'язаний підтвердити фізичну достовірність екологічних даних. Крім того, EMAS передбачає обов'язкову участь персоналу у процесах екологічної модернізації, що в технічному сенсі означає впровадження раціоналізаторських пропозицій щодо зниження питомих витрат сировини та енергії безпосередньо на робочих місцях.

Для українських підприємств, що планують післявоєнне відновлення за стандартами ЄС, перехід від ISO 14001 до EMAS є технологічним викликом, який вимагає повної цифровізації екологічного моніторингу. В умовах інтеграції з механізмом СВМ, саме архітектура EMAS з її жорсткою верифікацією даних стає найбільш надійною основою для підтвердження низького вуглецевого сліду продукції. Таким чином, якщо ISO 14001 є фундаментом екологічної культури, то EMAS — це технічний стандарт високої точності, що гарантує екологічну конкурентоспроможність на глобальному ринку.

2. Оцінка життєвого циклу згідно з ISO 14040/14044 як інструмент технічного контролю

У сучасній інженерній екології перехід від локального моніторингу емісій до інтегрального оцінювання екологічної якості продукції базується на методології оцінювання життєвого циклу (LCA). Згідно з міжнародними стандартами ДСТУ ISO 14040:2013 та ISO 14044:2006, LCA є кількісним інструментом моделювання складних взаємозв'язків між споживанням природних ресурсів та антропогенним навантаженням на всіх етапах від видобутку сировини до фінальної утилізації («від колиски до могили»).

2.1. Методологічні основи розрахунку.

Математичне ядро LCA реалізується на етапі Інвентаризаційного аналізу життєвого циклу (Life Cycle Inventory — LCI). Фундаментальною вимогою технічного контролю є визначення функціональної одиниці (ФО) — квантифікованої результативності системи (наприклад, 1 тонна сталевих прокату). Всі потоки масштабуються відносно ФО.

Математична модель LCI базується на системі рівнянь матеріального балансу для кожного техпроцесу i :

$$\sum M_{in,i} + \sum E_{in,i} = M_{product,i} + \sum M_{waste,i} + \sum e_{emission,i}, \quad (1)$$

де M_{in} — маса вхідної сировини та допоміжних матеріалів; E_{in} — енергетичні входи (електроенергія, теплова енергія, паливо); $M_{product}$ — маса цільового продукту; M_{waste} — побічні продукти та відходи; $e_{emission}$ — прямі викиди в атмосферу, скиди у воду та ґрунт.

Наступним етапом є Оцінювання впливу життєвого циклу (Life Cycle Impact Assessment — LCIA), де результати інвентаризації конвертуються в екологічні індикатори. Математично це реалізується через множення результатів LCI на відповідні фактори характеристизації (CF):

$$Scorecategory = \sum(ek \times CFk), \quad (2)$$

де e_k — кількість речовини k , емітованої в межах системи; CF_k — фактор, що відображає потенціал впливу цієї речовини в конкретній категорії (наприклад, Global Warming Potential — GWP для парникових газів).

2.2. Розрахунковий приклад LCA для партії сталевих прокату.

Розглянемо спрощену модель LCA для виробництва 1 тони сталевих прокату на металургійному комбінаті.

Етап 1 — інвентаризація (LCI). Для виробництва 1 тони прокату (ФО) задіяно: чавун (прекурсор) 950 кг, електроенергія 150 кВт·год., природний газ 80 м³, прямі викиди CO₂ (технологічні) 450 кг.

Етап 2 — оцінювання впливу (LCIA) у категорії GWP. Для розрахунку використано фактори характеристизації згідно з IPCC (GWP100):

- прямі викиди: 450 кг × 1 = 450 кг CO₂e;
- вплив від спалювання газу: 80 м³ × 1,9 кг CO₂ / м³ = 152 кг CO₂e;
- вплив від електроенергії: 150 кВт·год × 0,42 кг CO₂ / кВт·год = 63 кг CO₂e;
- вплив від прекурсору (чавуну): 950 кг × 1,8 кг CO₂ / кг = 1710 кг CO₂e.

Етап 3 — агрегація результатів. Сумарний потенціал глобального потепління для 1 тони сталі: $GWP_{total} = 450 + 152 + 63 + 1710 = 2375$ кг CO₂e / тону продукції.

2.3. Технічні виклики застосування LCA.

Впровадження LCA у систему технічного контролю підприємства стикається з низкою бар'єрів. Проблема алокації — при отриманні одночасно сталі та доменного шлаку важко розділити екологічне навантаження. Згідно з ISO 14044, пріоритетним є розширення меж системи, але на практиці частіше використовують економічну алокацію (за ринковою вартістю продуктів). Дефіцит первинних даних є другою перешкодою, адже для точного LCA необхідні дані від усіх постачальників сировини. За їх відсутності доводиться використовувати бази даних (наприклад, Ecoinvent або GaBi), що знижує точність розрахунків для конкретного українського підприємства. Ідентифікація «гарячих точок», як то для наведеного прикладу, 72 % впливу припадає на прекурсор (чавун). Це вказує на те, що інженерні зусилля з модернізації лише прокатного стану дадуть мінімальний екологічний ефект порівняно з необхідністю модернізації доменного виробництва.

Інтеграція LCA у систему технічного контролю підприємства дозволяє перейти до порівняльного аналізу найкращих доступних технологій (НДТМ). Замість моніторингу та контролю концентрації забруднюючих речовин у викидах, інженер-еколог оцінює технологічну схему за критерієм мінімального екологічного сліду на одиницю продукції. В контексті післявоєнного відновлення України за принципом «Build Back Better», використання LCA-моделювання на стадії проектування нових потужностей є безальтернативним інструментом для забезпечення відповідності європейським регламентам.

Таким чином, методологія ISO 14040/14044 перетворює екологічний аудит із суб'єктивного опису в об'єктивну інженерну дисципліну, що базується на точних енерго-матеріальних розрахунках та верифікованих факторах впливу.

3. Технічні аспекти розрахунку вбудованих викидів у межах CBAM

Впровадження Механізму вуглецевого коригування імпорту (Carbon Border Adjustment Mechanism — CBAM) згідно з Регламентом ЄС 2023/956 започаткувало перехід від добровільного екологічного звітування до жорсткого технічного аудиту вуглецеємності продукції. Для українських експортерів, особливо металургійного та хімічного сектору Придніпров'я, критичним завданням стає опанування методики розрахунку питомих вбудованих викидів, які стають базою для оподаткування при перетині кордону ЄС.

3.1. Методологічні основи розрахунку за Регламентом ЄС 2023/956.

Методика СВАМ базується на концепції повних вбудованих викидів, які включають як прямі емісії, що виникли в процесі виробництва товару, так і непрямі викиди від споживання електроенергії. Математична модель розрахунку вбудованих викидів для конкретного товару (SEE_g) визначається як відношення сумарних викидів за звітний період до обсягу виробленої продукції:

$$SEE_g = \frac{DirEm_g + IndirEm_g}{AL_g}, \quad (3)$$

де SEE_g — питомі вбудовані викиди товару g , т CO_2e / т продукції; $DirEm_g$ — прямі викиди, пов'язані з виробничими процесами; т CO_2e ; $IndirEm_g$ — непрямі викиди від спожитої електроенергії, т CO_2e ; AL_g — рівень активності (обсяг виробленої продукції за звітний період), т.

Прямі викиди ($DirEm_g$) розраховуються на основі даних моніторингу за двома методами: потоковим (на основі масового балансу вуглецю в паливі та сировині) або інструментальним (пряме вимірювання концентрації CO_2 у відхідних газах за допомогою АСКВ). Для металургійного циклу потоковий метод є пріоритетним і базується на рівнянні:

$$Em = AD \times EF \times OF, \quad (4)$$

де AD — дані про активність (витрата палива/сировини); EF — коефіцієнт викидів; OF — коефіцієнт окиснення.

Непрямі викиди ($IndirEm_g$) розраховуються шляхом множення обсягу спожитої електроенергії на відповідний коефіцієнт інтенсивності викидів енергомережі (EF_{grid}). В умовах енергоінтеграції України з ENTSO-E, використання актуальних значень EF стає важелем конкурентоспроможності.

3.2. Розрахунковий приклад вбудованих викидів для партії сталевого прокату.

Для наочності розглянемо технічний розрахунок для умовного металургійного підприємства, що виробляє гарячекатаний прокат (код УКТ ЗЕД 7208).

На прикладі квартального звіту умовного підприємства, що має квартальний обсяг виробництва $AL_g = 10000$ тон сталі, споживання природного газу на технологічні потреби складає 1500000 м^3 (коефіцієнт викидів для газу $EF = 1,885 \text{ кг } CO_2 / \text{м}^3$). Споживання електроенергії $4000 \text{ МВт} \cdot \text{год}$ (коефіцієнт інтенсивності мережі $EF_{grid} = 0,42 \text{ т } CO_2 / \text{МВт} \cdot \text{год}$). Використання вхідних ресурсів (складних товарів-прекурсорів): 10500 тон чавуну з вбудованими викидами $1,8 \text{ т } CO_2e / \text{т}$.

Розрахунок прямих викидів ($DirEm_g$):

$$DirEm = 1\,500\,000 \text{ м}^3 \times 1,885 \text{ кг/м}^3 = 2\,827,5 \text{ т } CO_2e.$$

Розрахунок непрямих викидів ($IndirEm_g$):

$$IndirEm = 4\,000 \text{ МВт} \cdot \text{год} \times 0,42 \text{ т/МВт} \cdot \text{год} = 1680 \text{ т } CO_2e.$$

Розрахунок викидів від прекурсорів ($PreEm_g$). Оскільки сталь виробляється з чавуну, маємо врахувати викиди, які вже «вбудовані» в сировину:

$$PreEm = 10\,500 \text{ т} \times 1,8 \text{ т} / \text{т} = 18\,900 \text{ т } CO_2e.$$

Визначення загальних питомих викидів (SEE_g):

$$SEE_g = \frac{2827,5 + 1680 + 18900}{10000} = 2,34 \text{ т } CO_2e / \text{т сталі}.$$

Таким чином, при експорті цієї партії до ЄС, імпортер повинен буде надати сертифікати СВАМ на $2,34$ тони CO_2e на кожну тонну продукції (за вирахуванням ціни вуглецю, вже сплаченої в Україні, якщо такий механізм буде фіналізовано).

3.3. Технічні виклики верифікації та цифровізації.

Ключовою проблемою для українських інженерів-екологів є точність збору даних. Регламент ЄС 2023/956 не допускає використання дефолтних (середньосвітових) значень, якщо вони погіршують показники звітності. Це вимагає впровадження систем повузлового обліку енергоресурсів та автоматизації розрахунків вуглецевого сліду в режимі реального часу.

Цифровізація через системи МЗВ (моніторингу, звітності та верифікації) дозволяє створювати цифровий паспорт виробу, де дані про викиди інтегровані в ERP-систему підприємства.

Це забезпечує відповідність вимогам статті 10 Регламенту ЄС СВМ щодо акредитованої верифікації, та знижує ризик накладення штрафних санкцій. В умовах післявоєнного відновлення, проектування нових потужностей у Придніпровському промисловому регіоні повинно включати СВМ як невід’ємну частину технологічного ланцюга, що дозволить українській продукції конкурувати не ціною сировини, а низьким екологічним слідом.

4. Інтеграція стандартів: від ISO 14001 до верифікації за СВМ

Для сучасного промислового підприємства впровадження окремих екологічних стандартів більше не є ефективною стратегією. Вимоги Регламенту ЄС 2023/956 фактично вимагають створення інтегрованої системи технічного обліку через СВМ, де організаційна структура ISO 14001 слугує каркасом, методологія LCA (ISO 14040) — інструментом розрахунку, а принципи EMAS — стандартом верифікації та публічності.

Ключовим етапом інтеграції є узгодження меж звітності. Якщо ISO 14001 дозволяє гнучкість у визначенні меж системи управління, то СВМ вимагає жорсткої прив’язки до виробничих процесів та конкретних установок. У цьому контексті порівняльний аналіз характеристик основних стандартів (табл. 1) дозволяє ідентифікувати методологічні розриви, які підприємство має подолати для успішної експортної діяльності.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз характеристик ISO 14001, EMAS та методології LCA

Характеристика	ISO 14001	EMAS	LCA (ISO 14040/44)
Основна мета	Створення системи екологічного менеджменту на підприємстві.	Досягнення та демонстрація реального покращення екологічних показників.	Оцінка впливу конкретного продукту або послуги на довкілля.
Об’єкт аналізу	Організаційна структура та процеси управління підприємством.	Діяльність організації та її прямий вплив на екосистеми.	Повний життєвий цикл продукту від сировини до кінцевого продукту.
Відкритість даних	Внутрішня звітність; публікація даних не є обов’язковою.	Обов’язкова публічна «Екологічна декларація» для третіх осіб.	Залежить від цілей дослідження (часто для внутрішнього використання або екомаркування).
Вимоги до персоналу	Навчання та обізнаність щодо екологічної політики.	Активна та обов’язкова участь працівників у процесах менеджменту.	Вимагає високої експертності спеціалістів для проведення розрахунків.
Законодавство	Зобов’язання дотримуватися законодавчих норм.	Обов’язкова верифікація повної відповідності всім екологічним вимогам.	Фокусується не на юридичних нормах, а на фізичних показниках викидів.
Складність впровадження	Середня (найбільш поширений та доступний стандарт для малого та середнього бізнесу).	Висока (через жорсткий аудит та вимоги до прозорості).	Висока (потребує детальних даних по всьому ланцюгу постачання).

Аналіз представлених даних свідчить, що ISO 14001 виконує роль фундаменту, забезпечуючи розподіл відповідальності та процедури контролю вимірювального обладнання. Проте, для цілей СВМ його недостатньо, оскільки стандарт не гарантує точності розрахунку вуглецевого сліду на одиницю продукції.

Тут у синергію вступає LCA (ISO 14040/44). Саме інструментарій оцінювання життєвого циклу дозволяє розв'язати найбільш складне технічне питання СВАМ — врахування «вбудованих викидів прекурсорів». Оскільки СВАМ вимагає звітувати про викиди, що виникли на попередніх етапах переробки (наприклад, викиди при виробництві чавуну, використаного для виготовлення сталевих прокату), математичний апарат LCA стає єдиним легітимним методом консолідації цих даних.

EMAS у цій інтегрованій схемі відіграє роль стандарту довіри. Оскільки Регламент ЄС СВАМ передбачає суворі санкції за подання недостовірних даних, наявність на підприємстві верифікованої екологічної декларації згідно з EMAS автоматично знімає більшість запитань європейських верифікаторів щодо достовірності бази даних моніторингу.

Технічна інтеграція цих стандартів на підприємстві дозволяє створити автоматизовану систему МЗВ (моніторингу, звітності та верифікації). У практичній площині це виглядає як наскрізний потік даних:

- вимірювальні прилади (АСКВ, лічильники) фіксують первинні дані (вимоги ISO 14001);
- дані агрегуються у розрізі життєвого циклу продукту для розрахунку вуглецевого сліду (методологія LCA);
- результати проходять незалежний аудит та стають публічно доступними для регуляторів (принципи EMAS/СВАМ).

Таким чином, інтеграція стандартів перетворює екологічну діяльність із витратної частини на стратегічний актив. Для підприємств металургійного комплексу Кам'янського, що інтегровані у глобальні ланцюги постачання, така синергія є єдиним способом забезпечити технічну відповідність новим правилам глобальної торгівлі, мінімізуючи при цьому ризики подвійного оподаткування викидів.

5. Цифровізація як інструмент технічної верифікації в умовах війни

Воєнна агресія проти України спричинила безпрецедентні виклики для традиційних систем екологічного моніторингу. Руйнування мереж стаціонарних постів спостереження, мінування територій та активні бойові дії унеможливають проведення прямого інструментального аналізу та фізичного відбору проб. У таких критичних умовах роль базового технічного стандарту верифікації переходить до цифрових технологій та систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

Ключовим елементом національної архітектури екологічних даних у цей період стала платформа «ЕкоЗагроза», функціонування якої спирається на відповідне нормативно-правове забезпечення (зокрема, Постанову КМУ № 343). Як зазначає Стрілець Р.О. [18], цифровізація сфери захисту довкілля трансформувалася з допоміжної сервісної функції у фундаментальний інструмент фіксації екологічних злочинів та документування завданої шкоди. З технічного погляду, платформа реалізує концепцію поєднання оперативних даних від населення з професійною науковою експертизою. Це дозволяє забезпечити реалізацію положень Орхуської конвенції щодо доступу до екологічної інформації навіть у правовому режимі воєнного стану, що детально аналізують Ткаченко О.П. та Клименко М.В. [19].

Проте для юридично значущої верифікації збитків довкіллю (згідно з Постановою КМУ № 343) самих лише повідомлень громадян недостатньо. Технічна база доказовості сьогодні ґрунтується на інтеграції даних супутникових систем, зокрема програм Copernicus (супутники Sentinel) та Landsat. Використання методів спектрального аналізу дозволяє дистанційно фіксувати параметри деградації екосистем, що підтверджується дослідженнями Шапаренка С. та Бондаря О.І. [16, 17]. Зокрема, за допомогою ДЗЗ верифікуються такі технічні показники:

- термічні аномалії (FIRMS) — ідентифікація пожеж на промислових об'єктах та лісових масивах за допомогою даних FIRMS;
- індекси рослинності (NDVI, NBR) — оцінка ступеня деградації екосистем та площ випалених лісів/сільськогосподарських угідь;
- спектральні підписи забруднень — виявлення масштабних розливів нафтопродуктів та продуктів детонації боєприпасів у ґрунтах та водних об'єктах.

Важливою складовою технічної верифікації є математичне моделювання розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі після ударів по промисловій інфраструктурі.

Використання даних супутникового моніторингу в поєднанні з метеорологічними моделями дозволяє розрахувати площу та ступінь ураження територій, що є критичним для підприємств, які готують звітність за стандартами СВAM [25]. Інтеграція цифрових інструментів у систему екологічного управління підприємства (ISO 14001) в умовах війни забезпечує безперервність бізнес-процесів. Наприклад, підприємства, що підпадають під дію СВAM, можуть використовувати дані супутникового моніторингу для підтвердження форс-мажорних обставин або верифікації обсягів непрямих викидів у разі пошкодження енергетичної інфраструктури.

Таким чином, цифрові інструменти та методи ДЗЗ стали технічним стандартом фактичного підтвердження екологічних даних, який дозволяє Україні не лише фіксувати наслідки воєнних дій та документувати збитки для майбутніх репарацій, а й створювати верифіковану базу даних для майбутнього «зеленого відновлення» України за принципом «Build Back Better». Цифровий моніторинг забезпечує ту саму необхідну довіру до екологічних даних, яка закладена в основу європейських регламентів EMAS та СВAM, роблячи українську екологічну політику стійкою навіть до викликів великої війни.

6. Техніко-економічні бар'єри та перспективи «зеленого відновлення»

Процес післявоєнної реконструкції промислового сектору України, зокрема енергоємних галузей металургії та хімії, потребує переходу від простого відновлення активів до стратегії «Build Back Better» (відбудувати краще, ніж було). Ця концепція базується на інтеграції найкращих доступних технологій та методів управління (НДТМ), що передбачено Директивою 2010/75/ЄС про промислові викиди та є однією з ключових вимог у межах Ukraine Facility. Проте на шляху до «зеленого» переходу постає низка критичних техніко-економічних бар'єрів.

Першим і найвагомим бар'єром є критичний рівень зносу основних фондів, що подекуди сягає 70 — 80 %. Модернізація таких об'єктів до рівня стандартів НДТМ часто є економічно недоцільною порівняно з будівництвом нових потужностей. Заміна застарілих доменних печей на установки прямого відновлення заліза або електродугові печі вимагає колосальних капітальних інвестицій, які в умовах високих воєнних ризиків є важкодоступними для приватного сектору економіки.

Другим аспектом є енергетична залежність та необхідність декарбонізації енергоміксу. Впровадження технологій, що відповідають вимогам СВAM та ISO 14064, потребує стабільного доступу до «зеленої» електроенергії або водню. Як підкреслюють аналітики DiXi Group [20], дефіцит генеруючих потужностей внаслідок терористичних атак на енергосистему створює ризики для впровадження високотехнологічних екологічних рішень, які часто є більш енергоємними на стадії очищення та утилізації відходів.

Попри бар'єри, статус України як кандидата на вступ до ЄС, відкриває унікальні перспективи для технологічного стрибка. Стратегія «зеленого відновлення» має базуватися на трьох технічних стовпах:

1. Циркулярна економіка та ресурсоефективність (ISO 59000). Відбудова інфраструктури має використовувати вторинну сировину. Наприклад, використання переробленого будівельного сміття та металургійних шлаків у дорожньому будівництві дозволяє одночасно вирішити проблему накопичення відходів та знизити собівартість будівництва.

2. Гармонізація з регламентами НДТМ (BREF). Нові промислові об'єкти повинні проектуватись із урахуванням висновків НДТМ. Це дозволить автоматично відповідати вимогам Регламенту EMAS щодо гранично допустимих викидів та забезпечити високу конкурентоспроможність продукції за показником питомих вбудованих викидів (SEE_g).

3. Еко-індустріальні парки. Концентрація виробництв у межах індустріальних парків дозволяє реалізувати принципи промислового симбіозу, де відходи одного підприємства стають сировиною для іншого, що значно покращує результати оцінювання життєвого циклу (LCA) всього кластеру.

Важливим чинником подолання бар'єрів є залучення міжнародного фінансування через механізми «зелених» облігацій та грантів Ukraine Facility. Однак доступ до цих ресурсів неможливий без прозорої системи екологічної верифікації. Саме тут інтеграція стандартів ISO 14001, EMAS та цифровізація моніторингу через «ЕкоЗагрозу» відіграють вирішальну роль.

Наявність верифікованих даних про зниження викидів є головною вимогою міжнародних фінансових інституцій.

Як зазначає Вітрикуш Є.В. [21], екологічна модернізація повинна розглядатись не як тягар для бізнесу, а як єдиний шлях до виживання на ринку ЄС. Впровадження механізму СВМ фактично встановлює «екологічне мито», яке зроблять застарілі технології економічно збитковими.

Техніко-економічні бар'єри «зеленого відновлення» є значними, але вони долаються через стратегічне поєднання державних стимулів, міжнародної фінансової підтримки та жорсткого дотримання міжнародних екологічних стандартів. Відбудова за принципом «Build Back Better» дозволить Україні інтегрувати свій промисловий комплекс у Європейський зелений курс, перетворивши країну з постачальника сировини на виробника низьковуглецевої високо-технологічної продукції.

Висновки

У ході проведеного дослідження було комплексно проаналізовано трансформацію міжнародних екологічних стандартів та механізмів їх імплементації в техніко-економічний простір України. На основі отриманих результатів можна сформулювати такі висновки:

1. Доведено, що для промислових підприємств Придніпровського регіону (металургійна, коксохімічна та енергетична галузі) формального дотримання стандарту ISO 14001 вже недостатньо. Необхідний перехід до інтегрованих систем екологічного управління, що поєднують організаційну структуру ISO 14001 із жорсткою верифікацією даних за регламентом EMAS. Це забезпечує не лише покращення екологічного іміджу, а й створює верифіковану базу даних для технічного аудиту за вимогами ЄС.

2. Застосування методології оцінювання життєвого циклу (LCA) згідно з ISO 14040/14044 дозволяє змінити фокус екологічного контролю з концентрації забруднюючих речовин у точці викиду на кількісний аналіз вуглецевого та екологічного сліду одиниці кінцевої продукції. Наведений у роботі розрахунковий приклад для сталевого прокату демонструє, що критична частка впливу (понад 70 %) часто прихована у ланцюгу постачання прекурсорів (чавуну, феросплавів). Це обґрунтовує необхідність модернізації всього технологічного ланцюга, а не лише фінальних стадій виробництва.

3. Впровадження механізму СВМ (Regulation EU 2023/956) вимагає від підприємств регіону негайної адаптації систем моніторингу, звітності та верифікації (МЗВ). Розрахункові алгоритми, представлені в статті, показують, що відсутність повузлового обліку енергоресурсів та детальних масових балансів вуглецю призведе до застосування європейськими регуляторами найгірших дефолтних значень, що суттєво знизить конкурентоспроможність вітчизняного експорту.

4. В умовах воєнних дій на Придніпров'ї, цифровізація через платформу «ЕкоЗагроза» та використання даних дистанційного зондування Землі (Copernicus/Sentinel) визначено як єдиний легітимний шлях дистанційної верифікації екологічних збитків та підтвердження параметрів викидів. Це створює технічне підґрунтя для майбутніх репарацій та залучення інвестицій у межах програми Ukraine Facility.

За результатами наукового дослідження розроблено практичні пропозиції для підприємств Придніпровського регіону.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що трансформація екологічних стандартів є не лише викликом, а й стратегічним шансом для технологічного переоснащення промисловості України на засадах циркулярної економіки та низьковуглецевого розвитку.

Список використаної літератури

1. Krueger R. Global environmental standards and market governance // *Environmental Policy and Governance*. 2021. Vol. 31, № 4. P. 245–257. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/eet.1897> (дата звернення: 14.02.2026).
2. The European Green Deal : Communication from the Commission. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (дата звернення: 14.02.2026).

3. Principles of International Environmental Law / P. Sands, J. Peel, A. Fabra, R. MacKenzie. 4th ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2018. 996 p. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://assets.cambridge.org/97811084/20952/frontmatter/9781108420952_frontmatter.pdf (дата звернення: 14.02.2026).
4. Cané I. Environmental management measures in hospitals: Prevention is better than cure / I. Cané, J. J. Tarí // Corporate Social Responsibility and Environmental Management. 2019. Vol. 26, Issue 4. P. 781–790. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.deepdyve.com/browse/journals/1535-3958/2019/v26/i2> (дата звернення: 14.02.2026).
5. Демінг В. Е. Вихід з кризи / В. Е. Демінг ; [пер. з англ.]. К. : Альпіна Паблішер, 2014. 417 с.
6. Fink L. Larry Fink's Annual Letter to CEOs: The Power of Capitalism // BlackRock. 2022. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.blackrock.com/corporate/investor-relations/2021-larry-fink-ceo-letter> (дата звернення: 14.02.2026).
7. Ковтун Т. В. Грінвошинг як інструмент маніпулятивного впливу на споживачів у сучасному маркетингу // Економіка та суспільство. 2021. № 25. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://economyandsociety.in.ua> (дата звернення: 14.02.2026).
8. Гевчук А. В. Грінвошинг: сутність та загрози для сталого розвитку бізнесу // Молодий вчений. 2019. № 11 (75). С. 542–546.
9. Бурцева М. П. Екологічний маркетинг та грінвошинг: проблеми ідентифікації та протидії / М. П. Бурцева, Ю. О. Оліфіренко // Вісник Сумського державного університету. Серія: Економіка. 2020. № 3. С. 208–215.
10. Сакалова О. В. Порівняльна характеристика міжнародних стандартів екологічного менеджменту ISO 14001 та EMAS // Економіка та управління підприємствами. 2019. Вип. 31. С. 138–144.
11. Мельник Л. Г. Економіка та екологія життєвого циклу продукції : монографія / Л. Г. Мельник. Суми : Університетська книга, 2015. 424 с.
12. Громська Н. О. Методологія оцінки життєвого циклу продукції в системі екологічного менеджменту підприємства / Н. О. Громська, Г. В. Лапєєв // Економіка та держава. 2021. № 10. С. 108–113.
13. Шевченко Г. М. Методологічні засади оцінки життєвого циклу продукції в контексті сталого розвитку // Економіка та держава. 2021. № 5. С. 10–16.
14. Циркулярна економіка як модель сталого розвитку: світовий досвід та перспективи для України : наук. доп. / [О. В. Шуміло та ін.] ; за ред. О. В. Шуміло. К. : НАН України, ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН України», 2020. 164 с.
15. Буркш О. В. Екологізація життєвого циклу продукції в контексті вимог європейської інтеграції // Стратегія економічного розвитку України. 2022. № 50. С. 15–26.
16. Вплив війни на довкілля України: стан, виклики та шляхи подолання : аналіт. доп. / [С. Шапаренко та ін.] ; за ред. С. Шапаренка. Харків : ГО «Зелений Фронт», 2023. 12 с.
17. Бондар О. І. Науково-методичні підходи до оцінювання збитків довкіллю внаслідок військової агресії: світовий досвід та українські реалії / О. І. Бондар, П. В. Валерко // Екологічні науки. 2023. № 1 (46). С. 12–19.
18. Стрілець Р. О. Цифровізація сфери захисту довкілля як інструмент фіксації екологічних злочинів // Екологічний моніторинг та управління. 2023. № 3. С. 18–26.
19. Ткаченко О. П. Доступ до екологічної інформації в умовах війни: реалізація положень Орхуської конвенції в Україні / О. П. Ткаченко, М. В. Клименко // Право та державне управління. 2023. № 2. С. 110–118.
20. На шляху до «зеленого» переходу: бар'єри та можливості для українського бізнесу : аналіт. звіт / за ред. О. Павленко ; Аналітичний центр «DiXi Group». К., 2022. 42 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://dixigroup.org/analytic/vprovadzhennya-taksonomiyi-yesoglyad-gotovnosti-nacionalnogo-zakonodavstva-ukrayiny> (дата звернення: 14.02.2026).

21. Вітрикуш Є. В. Екологічна модернізація промисловості України в контексті післявоєнного відновлення та євроінтеграції // Екологічний менеджмент у системі сталого розвитку. 2023. № 4. С. 38–45.
22. План відновлення України : матеріали робочої групи «Екологічна безпека». Луганно : Національна рада з відновлення України від наслідків війни, 2022. 84 с.
23. Дослідження впливу на економіку України від впровадження СВAM ЄС : аналіт. доповідь KSE. 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://kse.ua/wp-content/uploads/2021/12/211115-KSE_CBAM_for-publication.pdf (дата звернення: 15.02.2026).
24. Павленко А. Кліматичне регулювання як бар'єр та можливість для українського експорту // Економіка та держава. 2023. № 11. С. 12–18.
25. Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a carbon border adjustment mechanism // Official Journal of the European Union. 2023. L 130. P. 52–160. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=OJ:L:2023:130:FULL> (дата звернення: 15.02.2026).
26. Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM): Guidance for importers // European Commission. 2023. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en (дата звернення: 15.02.2026).

TRANSFORMATION OF INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL STANDARDS IN THE CONTEXT OF GLOBAL CHALLENGES AND POST-WAR RECOVERY OF UKRAINE

Abstract

Amidst European integration and the global implementation of the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), Ukrainian industry faces the necessity of a radical transformation in environmental reporting. Traditional methods of monitoring pollutant concentrations are being superseded by integrated assessments of the product carbon footprint, necessitating the implementation of high-precision standards (EMAS, ISO 14064). The issue becomes particularly acute in the context of post-war reconstruction, which must be based on the principles of low-carbon development.

The aim of the article is to develop the technical and methodological foundations for integrating international environmental standards into the management systems of Ukrainian industrial enterprises to ensure their competitiveness and environmental safety.

The study employs methods of systems engineering analysis, mathematical modeling of energy and material balances according to ISO 14040/44, and satellite remote sensing methods for verifying environmental data under martial law conditions.

A comparative analysis of the ISO 14001 architecture and the EMAS Regulation has been conducted. It was established that for successful export activities, Ukrainian enterprises must implement mandatory key performance indicators (KPIs) and public environmental statements. The mathematical algorithm for Life Cycle Assessment (LCA) has been detailed. Using a practical example of steel rolled products manufacturing, a methodology for calculating specific embedded emissions (CO₂e) was demonstrated, allowing for the identification of "hotspots" within the technological cycle. The technical aspects of applying EU Regulation 2023/956 (CBAM) are substantiated. A model for calculating direct and indirect carbon loads has been developed, accounting for the specifics of the Ukrainian power grid and embedded emissions from precursors. The role of digital tools (the "EcoZagroza" platform, Sentinel satellites) as a basis for verifying environmental damage in conditions of limited physical access to objects has been determined.

Conclusions and Practical Significance. A strategic "roadmap" for the implementation of Best Available Techniques (BAT) for enterprises in the Prydniprovya region is proposed. The research results can be utilized by environmental engineers and industrial managers to prepare for cross-border carbon regulation and to implement "green recovery" projects based on the "Build Back Better" principle.

References

- [1] Krueger, R. (2021). Global environmental standards and market governance. *Environmental Policy and Governance*, 31(4), 245–257. <https://doi.org/10.1002/eet.1897>.
- [2] European Commission. (2019). *The European Green Deal*. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.
- [3] Sands, P., Peel, J., Fabra, A., & MacKenzie, R. (2018). *Principles of International Environmental Law* (4th ed.). Cambridge University Press.
- [4] Cané, I., & Tarí, J. J. (2019). Environmental management measures in hospitals: Prevention is better than cure. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 26(4), 781–790. <https://doi.org/10.1002/csr.1720>.
- [5] Deming, W. E. (2014). *Vykhid z kryzy [Out of the Crisis]* (Trans. from English). Kyiv: Alpina Publisher. [In Ukrainian].
- [6] Fink, L. (2022). *Larry Fink's Annual Letter to CEOs: The Power of Capitalism*. BlackRock. URL: <https://www.blackrock.com/corporate/investor-relations/2021-larry-fink-ceo-letter>.
- [7] Kovtun, T. V. (2021). Hrinvosyhn yak instrument manipulyatyvnoho vplyvu na spozhyvachiv u suchasnomu marketynhu [Greenwashing as a tool of manipulative influence on consumers in modern marketing]. *Ekonomika ta suspilstvo [Economy and Society]*, (25). URL: <https://economyandsociety.in.ua> [In Ukrainian].
- [8] Hevchuk, A. V. (2019). Hrinvosyhn: sutnist ta zahrozy dlia staloho rozvytku biznesu [Greenwashing: essence and threats to sustainable business development]. *Molodyi vchenyi [Young Scientist]*, 11(75), 542–546. [In Ukrainian].
- [9] Burtseva, M. P., & Olifirenko, Yu. O. (2020). Ekolohichni marketynh ta hrinvosyhn: problemy identyfikatsii ta protydii [Environmental marketing and greenwashing: problems of identification and counteraction]. *Visnyk Sumskoho derzhavnoho universytetu. Seriya Ekonomika [Sumy State University Bulletin. Economy Series]*, (3), 208–215. [In Ukrainian].
- [10] [Sakalova, O. V. (2019). Porivnialna kharakterystyka mizhnarodnykh standartiv ekolohichnoho menedzhmentu ISO 14001 ta EMAS [Comparative characteristics of international environmental management standards ISO 14001 and EMAS]. *Ekonomika ta upravlinnia pidpriemstvamy [Economy and Enterprise Management]*, (31), 138–144. [In Ukrainian].
- [11] Melnyk, L. H. (2015). *Ekonomika ta ekolohiia zhyttevoho tsykladu produktsii [Economics and ecology of the product life cycle]: Monograph*. Sumy: Universytetska knyha. [In Ukrainian].
- [12] Hromska, N. O., & Lapieiev, H. V. (2021). Metodolohiia otsinky zhyttevoho tsykladu produktsii v systemi ekolohichnoho menedzhmentu pidpriemstva [Product life cycle assessment methodology in the enterprise environmental management system]. *Ekonomika ta derzhava [Economy and the State]*, (10), 108–113. [In Ukrainian].
- [13] Shevchenko, H. M. (2021). Metodolohichni zasady otsinky zhyttevoho tsykladu produktsii v konteksti staloho rozvytku [Methodological bases of product life cycle assessment in the context of sustainable development]. *Ekonomika ta derzhava [Economy and the State]*, (5), 10–16. [In Ukrainian].
- [14] Shumilo, O. V. (Ed.). (2020). *Tsyrukuliarna ekonomika yak model staloho rozvytku: svitovy dosvid ta perspektyvy dlia Ukrainy [Circular economy as a model of sustainable development: world experience and prospects for Ukraine]*. Kyiv: NAS of Ukraine. [In Ukrainian].
- [15] Burksh, O. V. (2022). Ekolohizatsiia zhyttevoho tsykladu produktsii v konteksti vymoh yevropeiskoi intehratsii [Greening the product life cycle in the context of European integration requirements]. *Stratehiia ekonomichnoho rozvytku Ukrainy [Strategy of Economic Development of Ukraine]*, (50), 15–26. [In Ukrainian].
- [16] [16] Shaparenko, S. (Ed.). (2023). *Vplyv viiny na dovkillia Ukrainy: stan, vyklyky ta shliakhy podolannia [The impact of war on the environment of Ukraine: state, challenges and ways to overcome]*. Kharkiv: Green Front. [In Ukrainian].
- [17] Bondar, O. I., & Valerko, P. V. (2023). Naukovo-metodychni pidkhody do otsiniuvannia zbytkiv dovkilliu vnaslidok viiskovoi ahresii: svitovy dosvid ta ukraïnski realii [Scientific and methodological approaches to assessing environmental damage due to military aggression: world experi-

- ence and Ukrainian realities]. *Ekolohichni nauky [Environmental Sciences]*, 1(46), 12–19. [In Ukrainian].
- [18] Strilets, R. O. (2023). Tsyfrovizatsiia sfery zakhystu dovkillia yak instrument fiksatsii ekolohichnykh zlochyniv [Digitalization of the environmental protection sphere as a tool for recording environmental crimes]. *Ekolohichniy monitorynh ta upravlinnia [Environmental Monitoring and Management]*, (3), 18–26. [In Ukrainian].
- [19] Tkachenko, O. P., & Klymenko, M. V. (2023). Dostup do ekolohichnoi informatsii v umovakh viiny: realizatsiia polozhen Orkhuskoi konventsii v Ukraini [Access to environmental information in war conditions: implementation of the Aarhus Convention provisions in Ukraine]. *Pravo ta derzhavne upravlinnia [Law and Public Administration]*, (2), 110–118. [In Ukrainian].
- [20] Pavlenko, O. (Ed.). (2022). *Na shliakhu do «zelenoho» perekhodu: bariery ta mozhlyvosti dlia ukraïnskoho biznesu* [On the way to the "green" transition: barriers and opportunities for Ukrainian business]. Kyiv: DiXi Group. URL: <https://dixigroup.org> [In Ukrainian].
- [21] Vitrykush, Ye. V. (2023). Ekolohichna modernizatsiia promyslovosti Ukrainy v konteksti pisliavoiennoho vidnovlennia ta yevrointehratsii [Environmental modernization of Ukrainian industry in the context of post-war recovery and European integration]. *Ekolohichniy menedzhment u systemi staloho rozvytku [Environmental Management in the Sustainable Development System]*, (4), 38–45. [In Ukrainian].
- [22] National Recovery Council. (2022). *Plan vidnovlennia Ukrainy: materialy robochoi hrupy «Ekolohichna bezpeka»* [Ukraine Recovery Plan: materials of the working group "Environmental Safety"]. Lugano. [In Ukrainian].
- [23] Kyiv School of Economics. (2021). *Doslidzhennia vplyvu na ekonomiku Ukrainy vid vnrovdzhennia SVAM YeS* [Research on the impact on the Ukrainian economy from the implementation of EU CBAM]. URL: <https://kse.ua> [In Ukrainian].
- [24] Pavlenko, A. (2023). Klimatychne rehuliuвання yak barier ta mozhlyvist dlia ukraïnskoho eksportu [Climate regulation as a barrier and an opportunity for Ukrainian export]. *Ekonomika ta derzhava [Economy and the State]*, (11), 12–18. [In Ukrainian].
- [25] Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a carbon border adjustment mechanism. (2023). *Official Journal of the European Union*, L 130, 52–160. URL: <https://eur-lex.europa.eu>.
- [26] European Commission. (2023). *Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM): Guidance for importers*. URL: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en.

Надійшла до редколегії 20.02.2026

Прийнята після рецензування 05.03.2026

Опублікована 26.03.2026