

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ВУГЛЕЦЕВИМ СЛІДОМ У ГАЛУЗІ ВИРОБНИЦТВА ГНУЧКОЇ УПАКОВКИ

Василенко О. М.

Житомирський державний університет імені Івана Франка
вул. Велика Бердичівська, 40, 10008, м. Житомир
vasylenko-o@zu.edu.ua

Стаття присвячена теоретичному та методичному обґрунтуванню системи управління вуглецевим слідом підприємств у сфері виробництва гнучкої упаковки як складової хімічної промисловості. У роботі розкрито логіку переходу від традиційного обліку викидів парникових газів до формування науково обґрунтованих кліматичних цілей та механізмів їх практичної реалізації.

Систематизовано зміст процедур інвентаризації викидів відповідно до Протоколу парникових газів із визначенням ролі прямих (Scope 1), енергетично опосередкованих (Scope 2) та непрямих (Scope 3) викидів. Підкреслено, що саме непрямі викиди, пов'язані з ланцюгами постачання сировини та кінцевим використанням продукції, формують основну частку вуглецевого сліду у полімерній промисловості.

На прикладі проєкту з декарбонізації підприємства гнучкої упаковки представлено структурно-функціональну модель переходу від первинного обліку викидів до сценарного планування скорочення, узгодженого з науково верифікованими кліматичними цілями. Показано, що застосування сценарного підходу, вибір базового року, зменшення невизначеності та уніфікація джерел даних є ключовими умовами перетворення кліматичної політики підприємства на дієву систему управління.

Доведено, що поєднання методологічних підходів до обліку, аналізу та моделювання викидів створює можливість не лише фіксувати вуглецевий слід у звітності, а й використовувати ці дані як інструмент стратегічного управління, що забезпечує здатність промислового підприємства планувати, реалізовувати та контролювати скорочення викидів у динаміці.

Встановлено, що впровадження запропонованої моделі підвищує ефективність екологічного менеджменту та формує методичну основу для довгострокового переходу до кліматичної нейтральності підприємств полімерної галузі, з урахуванням сучасних вимог Європейського Союзу та глобальних тенденцій декарбонізації промисловості. *Ключові слова:* сталий розвиток, хімічна промисловість, екологічне управління, декарбонізація, вуглецевий слід.

Carbon footprint management system in the flexible packaging industry. Vasylenko O.

The article is devoted to the theoretical and methodological substantiation of the carbon footprint management system of enterprises in the field of flexible packaging production as a component of the chemical industry. The work reveals the logic of the transition from traditional accounting of greenhouse gas emissions to the formation of scientifically substantiated climate goals and mechanisms for their practical implementation.

The content of emission inventory procedures in accordance with the Greenhouse Gas Protocol is systematized, with the definition of the role of direct (Scope 1), energy-mediated (Scope 2) and indirect (Scope 3) emissions. It is emphasized that it is indirect emissions associated with raw material supply chains and end-use of products that form the main share of the carbon footprint in the polymer industry.

Using the example of a project to decarbonize a flexible packaging enterprise, a structural and functional model of the transition from primary accounting of emissions to scenario planning for reduction, consistent with scientifically verified climate goals, is presented. It is shown that the use of a scenario approach, the choice of a base year, the reduction of uncertainty and the unification of data sources are key conditions for transforming the climate policy of an enterprise into an effective management system.

It is proven that the combination of methodological approaches to accounting, analysis and modeling of emissions creates the opportunity not only to record the carbon footprint in reporting, but also to use this data as a strategic management tool, which ensures the ability of an industrial enterprise to plan, implement and control emission reductions in dynamics.

It is established that the implementation of the proposed model increases the efficiency of environmental management and forms a methodological basis for a long-term transition to climate neutrality of enterprises in the polymer industry, taking into account modern requirements of the European Union and global trends in industrial decarbonization. *Key words:* sustainable development, chemical industry, environmental management, decarbonization, carbon footprint.

Постановка проблеми. Глобальний тренд декарбонізації промислових секторів зумовлює необхідність переходу від декларативного підходу до сталого розвитку до верифікованого управління вуглецевим слідом на основі науково обґрунтованих кліматичних цілей. Для підприємств хімічної промисловості, зокрема у сфері виробництва гнучкої упаковки, цей

процес ускладнюється багатоступеневим життєвим циклом продукції, значною часткою непрямих викидів (Scope 3) та високою енергоємністю технологічних процесів. Це створює труднощі у визначенні повних меж корпоративної відповідальності за викиди парникових газів, виборі методів обліку та встановленні базового року для таргетування скорочень.

За таких умов особливої актуальності набуває впровадження систем екологічного менеджменту та аудиту (СВАМ), що забезпечують інтеграцію екологічних вимог і кліматичних цілей у внутрішню політику підприємства, створюючи інституційні передумови для системного моніторингу, перевірки та коригування показників вуглецевого сліду в межах корпоративних стратегій сталого розвитку.

Актуальність дослідження. Посилення глобального кліматичного регулювання та запровадження європейських механізмів декарбонізації, зокрема вуглецевого коригувального механізму на кордоні ЄС (СВАМ), формують нові вимоги до промислових підприємств щодо прозорості обліку викидів парникових газів і науково обґрунтованого планування їх скорочення. Виробництво гнучкої упаковки, як один із ключових сегментів хімічної промисловості, характеризується високою матеріалоемністю, залежністю від первинної сировини та розгалуженими ланцюгами постачання, що зумовлює переважання непрямих викидів і потребу в якісному моделюванні показників третьої категорії (Scope 3).

Сучасні підходи до кліматичного планування вимагають переходу від описового обліку до прийняття стратегічних управлінських рішень на основі кількісного аналізу вуглецевих потоків, що передбачає точність вихідних даних, методологічну узгодженість із міжнародними стандартами та побудову внутрішньої системи екологічного менеджменту. Міжнародний досвід засвідчує, що коректне визначення істотних категорій викидів, формування базового року та вибір реалістичних параметрів цільових скорочень є ключовими умовами досягнення результативної декарбонізації.

Отже, розроблення структури системи управління вуглецевим слідом і механізмів практичного моделювання цілей скорочення викидів для підприємств гнучкої упаковки має важливе наукове й прикладне значення. Такі підходи сприятимуть удосконаленню екологічної політики, зниженню кліматичних ризиків і підвищенню конкурентоспроможності промислових підприємств у контексті переходу до низьковуглецевої економіки.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Авторський доробок напряму корелює з актуальними науковими та прикладними викликами корпоративної екологічної трансформації, що висуваються міжнародними підходами до декарбонізації промисловості. Систематизація підходів до визначення, моделювання і таргетування вуглецевого сліду для підприємств галузі гнучкої упаковки узгоджується з сучасною парадигмою Science-Based Targets, яка покликана забезпечити верифіковані, науково обґрунтовані та кількісно вимірні сценарії досягнення Net Zero. У той же час дослідження вирішує прикладну проблему адаптації універсальних стандартів GHG Protocol та SBTi під специфіку кон-

кретної промислової підгалузі, де основні викиди формуються не стільки в точці виробництва, скільки у складних upstream/downstream ланцюгах, які створюють домінуючу частку Scope 3.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні роки характеризуються посиленням методологічної та нормативної інтеграції корпоративного кліматичного управління в рамках міжнародних стандартів та регуляторних вимог ЄС. Базові підходи до обліку викидів парникових газів на рівні підприємств визначаються стандартами GHG Protocol (Corporate Standard та Corporate Value Chain (Scope 3) Standard), які формують універсальну рамку інвентаризації та класифікації прямих і непрямих джерел емісій [1]. На рівні таргетування скорочень ключовим орієнтиром виступає Science Based Target initiative (SBTi), що через Corporate Net Zero Standard встановлює принципи науково обґрунтованого визначення коротко- і довгострокових показників декарбонізації, узгоджених з кліматичною наукою та ціллю утримання глобального потепління в межах 1,5 °C [2].

На рівні макрорегулювання Європейський Союз формує комплексний нормативний контекст переходу до кліматичної нейтральності, визначений в Європейському зеленому курсі [3]. Регламент ЄС про пакування та пакувальні відходи (Proposal for a Regulation on packaging and packaging waste, COM(2022) 677 final) посилює вимоги до запобігання відходам, дизайну упаковки для переробності та мінімальної частки вторинної сировини, що прямо впливає на структуру Scope 3 підприємств, що використовують полімерну упаковку [4]. Також механізм СВАМ (Carbon Border Adjustment Mechanism, Regulation (EU) 2023/956) створює додатковий економічний стимул до декарбонізації імпортованої продукції та підвищення прозорості вуглецевого сліду матеріальних потоків [5].

Паралельно на галузевому рівні оновлюються підходи до оцінки життєвого циклу пакувальних матеріалів. Європейські асоціації (зокрема Flexible Packaging Europe) акцентують на необхідності врахування повного ланцюга вартості для визначення матеріальності категорій Scope 3 та формування дорожніх карт скорочення [6]. Таким чином, сучасний дискурс у дослідженнях гнучкої упаковки зміщується від загального опису впливів на клімат до розроблення управлінських моделей, здатних поєднати вимоги GHG Protocol, SBTi та регуляторного поля ЄС для корпоративного планування Net Zero у високоматеріальних сегментах полімерного виробництва.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Попри наявність розвиненої нормативної та методологічної бази у сфері корпоративного управління викидами парникових газів, інтеграція стандартів GHG Protocol і Science Based Targets initiative

у специфіку виробництва гнучкої упаковки залишається недостатньо розробленою. Наявні наукові праці переважно зосереджені на загальнотеоретичних аспектах декарбонізації або на продуктових оцінках життєвого циклу пакувальних матеріалів, однак поза увагою залишаються управлінські моделі рівня підприємства, які поєднують повний цикл інвентаризації викидів за Scope 1, Scope 2 і Scope 3 з побудовою верифікованих моделей Science-Based Targets. Недостатньо дослідженими залишаються питання формування базового року, визначення матеріальності категорій емісій у межах розгалужених ланцюгів постачання, адаптації параметрів SBT-моделювання до технологічної структури підприємств полімерної індустрії та обґрунтування управлінських рішень для досягнення Net Zero у контексті вимог Європейського зеленого курсу [3].

Новизна дослідження. Наукова новизна полягає у розробленні концептуально та методологічно узгодженої системи управління вуглецевим слідом підприємств у галузі виробництва гнучкої упаковки, що базується на поєднанні принципів GHG Protocol, Science Based Targets initiative та вимог нормативних актів ЄС щодо кліматичної нейтральності (COM(2019) 640 final; Regulation (EU) 2023/956; COM(2022) 677 final). У межах дослідження обґрунтовано інтегровану модель переходу від традиційного «footprinting» до кількісного сценарного SBT-моделювання, спрямованого на досягнення Net Zero. Запропонований підхід дозволяє адаптувати міжнародні методики до виробничої специфіки полімерної галузі, де ключові джерела емісій зосереджені поза межами виробничого процесу, і тим самим підвищити результативність корпоративного екологічного менеджменту у відповідності до стратегічних цілей Європейського Союзу щодо сталого розвитку.

Методологічне та загальнонаукове значення. Методологічне значення дослідження полягає у формуванні цілісного підходу до інтеграції інвентаризації викидів за рамкою GHG Protocol із процедурою моделювання Science-Based Targets для промислових підприємств галузі гнучкої упаковки. В роботі обґрунтовано логіку переходу від базового обліку Scope 1, Scope 2 та Scope 3 до розроблення кількісних траєкторій скорочення викидів, узгоджених із принципами SBTi та кліматичною політикою ЄС. Такий підхід забезпечує відхід від описового кліматичного менеджменту та спрямовує систему управління на емпірично верифіковане планування Net Zero, застосовне до реального виробничого середовища, а не лише до теоретичних моделей.

Загальнонаукове значення дослідження полягає у поглибленні розуміння механізмів формування вуглецевого сліду в хімічній промисловості, де домінують непрямі викиди, пов'язані з ланцюгами постачання та використання продукції. Запропонований підхід дозволяє розглядати декарбонізацію не як технічний захід, а як цілісне управлінське завдання, що

базується на науково обґрунтованих сценаріях і перевірюваних критеріях. Розроблена модель сприяє розвитку міждисциплінарного напрямку, який інтегрує екологічний менеджмент, інженерію полімерів, економіку природокористування та кліматичну політику, забезпечуючи практичну релевантність дослідження в умовах реалізації Європейського зеленого курсу.

Викладення основного матеріалу. У межах дослідження використано поетапну модель корпоративного управління вуглецевим слідом, що демонструє логіку переходу від базових процедур інвентаризації викидів до формування науково обґрунтованих кліматичних цілей Science-Based Targets. У якості прикладної основи використано методичні рішення, продемонстровані у проєкті з декарбонізації підприємства галузі гнучкої упаковки (Flexible Packaging Solutions). У цьому підході послідовно реалізуються етапи визначення меж обліку, збирання та перевірки даних, розрахунку вуглецевого сліду за Scope 1, Scope 2 та Scope 3 відповідно до GHG Protocol, аналізу невизначеності та моделювання траєкторій для узгодження кліматичних цілей зі стандартами SBTi.

Вихідним блоком системи є операційна конкретизація меж інвентаризації. До Scope 1 відносяться прямі емісії від процесів спалювання палива, промислових процесів та витоків холодоагентів; Scope 2 охоплює викиди, пов'язані з придбаною електричною та тепловою енергією; Scope 3 включає всі інші непрямі емісії у ланцюгах постачання, дистрибуції, використання та кінцевого життєвого циклу продукції. Розрахунок вуглецевого сліду здійснюється за принципом «дані активності × емісійний фактор» із подальшим формуванням методичного звіту та інтерпретацією отриманих значень для управлінських потреб.

Особливої уваги потребує Scope 3, який у галузі гнучкої упаковки формує домінуючу частку загальних викидів. Інвентаризація цієї групи охоплює 15 категорій, при цьому специфіка підприємств із полімерних матеріалів передбачає високу матеріальність upstream та downstream процесів. Запропонована модель передбачає використання різного рівня деталізації джерел даних – від витратних підходів (EEIO) до кількісних (тоннаж, транспортні відстані) та до первинних даних партнера, коли це можливо. Така диференціація дозволяє знижувати рівень невизначеності та сприяє підвищенню точності сценарного аналізу.

Моделювання Science-Based Targets ґрунтується на обчисленні траєкторій скорочення викидів як у середньостроковому горизонті (5–10 років), так і у довгостроковому (до 2050 року), що узгоджується з вимогами Corporate Net Zero Standard. У процесі моделювання здійснюється аналіз різних підходів (Absolute Contraction Approach, Sectoral Decarbonisation Approach, інтенсивнісні методи) та обирається найбільш релевантний варіант з ура-

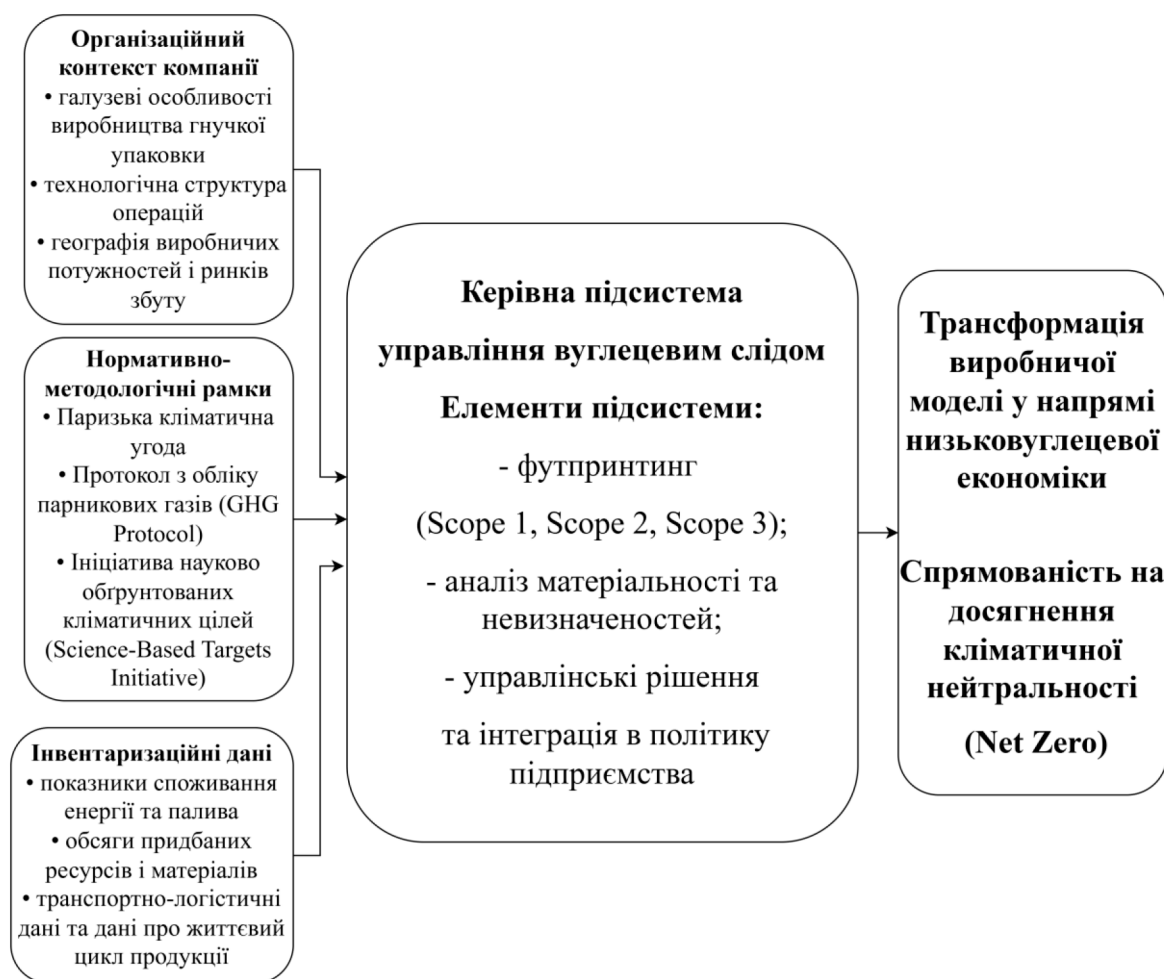


Рис. 1. Структурно-функціональна модель системи управління вуглецевим слідом підприємства для досягнення Science-Based Targets і Net Zero у виробництві гнучкої упаковки

хуванням технологічної та економічної специфіки підприємства. Результати моделювання використовуються для формування управлінських рішень, вибору параметрів амбіційності та подальшої підготовки до валідації з боку SBTi.

Організація процесу включає проведення спеціалізованих воркшопів, підготовку пакету даних для оцінки, супровід подання документів і забезпечення узгодженості даних із вимогами зовнішнього валідаційного середовища. Така послідовність операцій, продемонстрована у прикладному кейсі гнучкої упаковки, трансформує кліматичне управління з декларативного рівня у режим керованого процесу з формальними віхами, визначеною відповідальністю та можливістю обґрунтованого прийняття рішень. Це забезпечує практичну імплементацію підходів Net Zero у виробничих системах із розгалуженими ланцюгами вартості та значною часткою непрямих емісій.

Висновки. Проведене дослідження засвідчило, що у виробництві гнучкої упаковки ключовою умовою досягнення кліматичної нейтральності є перехід від формального корпоративного обліку парникових газів до інтегрованого управління вуглецевим слідом, що включає повну інвентаризацію

Scope 1, Scope 2 та Scope 3, аналіз невизначеності та матеріальності, а також сценарне моделювання Science-Based Targets. Поетапна модель, продемонстрована у процедурі декарбонізації Flexible Packaging Solutions, виявила концептуальний зв'язок між точністю даних, якістю моделей скорочення та можливістю прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Це підтверджує необхідність застосування системного підходу, що поєднує методологію GHG Protocol, стандарти SBTi та чинні регуляторні вимоги Європейського Союзу у сфері запобігання утворенню відходів та формування кліматичної політики.

Отримані результати дають підстави стверджувати, що декарбонізація полімерної індустрії вимагає не лише технологічної модернізації, а й зміни управлінської парадигми: вуглецевий слід має розглядатися не як звітний показник, а як параметр прийняття стратегічних та операційних рішень. Запропонована інтегрована модель створює концептуальні та методичні засади для впровадження Net Zero у промислових підприємствах із високою часткою непрямих викидів та складною структурою ланцюгів вартості. Це формує базу для подальших наукових досліджень,

спрямованих на вдосконалення моделей прийняття рішень, розробку галузевих стандартів і розширення застосування SBT в умовах трансформації кліматичного регулювання Європейського Союзу.

Перспективи дослідження. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення галузевих алгоритмів підвищення точності оцінки непрямих викидів (Scope 3) шляхом поєднання цифрових систем відстеження ланцюгів постачання з методами безпосереднього збору даних від виробників полімерної сировини, логістичних операторів та підприємств переробної галузі. Перспективним є вдосконалення моделей прогнозування вуглецевого сліду із застосуванням методів інтелектуального аналізу даних та створення класифікаторів значущості джерел емісій для різних типів пакувальних матеріалів.

Важливим напрямом подальших наукових пошуків є інтеграція оцінки життєвого циклу продукції (LCA) та системи науково обґрунтованих кліматичних цілей у єдину корпоративну модель екологічного планування. Такий підхід дає змогу оцінювати

ефективність рішень зі скорочення викидів не лише за вуглецевими показниками, а й за комплексом екологічно значущих індикаторів.

Доцільним є також дослідження впливу нових регуляторних вимог Європейського Союзу, зокрема впровадження вуглецевого коригувального механізму (CBAM), на економічні та технологічні параметри виробництва пакувальних матеріалів. Очікується поступове зближення кліматичної та ресурсної політики, що зумовлює потребу у створенні багатокритеріальних моделей декарбонізації, здатних одночасно оптимізувати викиди, ресурсоемність, використання вторинної сировини та рівень переробності упаковки.

Максимальна ефективність реалізації кліматичних цілей у полімерній промисловості можлива лише за умови поєднання управління вуглецевим слідом із впровадженням інновацій у сфері хімічного та механічного рециклінгу, переходом на відновлювані джерела енергії та застосуванням екодизайну пакувальних матеріалів, що відкриває широкі перспективи для подальших міждисциплінарних досліджень.

Література

1. GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard. Greenhouse Gas Protocol, World Resources Institute та World Business Council for Sustainable Development URL: <https://ghgprotocol.org/corporate-standard> (дата звернення: 03.11.2025).
2. Science Based Targets initiative. Corporate Net-Zero Standard: Criteria and Recommendations. SBTi, 2021 URL: <https://sciencebasedtargets.org/> (дата звернення: 03.11.2025).
3. European Commission. The European Green Deal: Communication from the Commission, COM(2019) 640 final, 11.12.2019 URL: <https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal> (дата звернення: 03.11.2025).
4. Європейська Комісія. *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on Packaging and Packaging Waste, COM(2022) 677 final*. Brussels: European Commission, 2022. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52022PC0677> (дата звернення: 10.11.2025).
5. Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/956/oj> (дата звернення: 03.11.2025).
6. Flexible Packaging Europe. LCA Guidelines for Flexible Packaging. FPE Publication, 2024 URL: <https://www.flexpack-europe.org/> (дата звернення: 03.11.2025).

Дата першого надходження рукопису до видання: 11.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 15.12.2025

Дата публікації: 31.12.2025