

Теліженко Олександр Михайлович, д.е.н., проф., головний науковий співробітник науково-дослідного інституту енергоефективних технологій, +38(095)402-08-27, altel@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9864-4098

Сумський державний університет

вул. Харківська, 116, м. Суми, Україна, 40007

Чигрин Олена Юріївна, д.е.н., проф., професорка кафедри маркетингу, +38(050)146-80-56, o.chygryn@biem.sumdu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-4007-3728

Сумський державний університет

вул. Харківська, 116, м. Суми, Україна, 40007

Смоленніков Денис Олегович, к.е.н., доцент, доцент кафедри управління імені Олега Балацького, +38(050)141-94-13, dos@management.sumdu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-8418-051X

Сумський державний університет

вул. Харківська, 116, м. Суми, Україна, 40007

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ ФАКТОРИ В СИСТЕМІ ТОРГІВЛІ КВОТАМИ НА ВИКИДИ: МЕХАНІЗМ ПЕРЕХОДУ ДО ДЕКАРБОНІЗОВАНИХ ТРАНСКОРДОННИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ¹.

Анотація. В статті запропоновані методичні підходи до вдосконалення, на національному та міжнародному рівнях, європейської системи торгівлі викидами (EU ETS) на основі заміни критеріального показника «маса викидів забруднюючих речовин» на «приведене навантаження на комплекс реципієнтів від забруднення атмосферного повітря» для окремих квадратів сітки ЕМЕР. Пропонований показник дозволяє враховувати тип території, що сприймає техногенне навантаження, структуру і щільність реципієнтів, середньорічну приземну концентрацію забруднюючих речовин та ін., що суттєво підвищує еколого-економічну обґрунтованість торговельних відносин як механізму переходу до декарбонізованих транскордонних енергетичних систем. При цьому, інформаційною базою розрахунків вказаного показника має бути Спільна програма для моніторингу та оцінки передачі забруднювачів повітря на великі відстані в Європі (European Monitoring and Evaluation Programmed – ЕМЕР).

Ключові слова: атмосфера, викиди, приведені навантаження, торгівля, енергетичні системи, декарбонізація.

Telizhenko Oleksandr, Doctor of Economic Sciences, Professor, Chief Researcher of the Research Institute of Energy Efficient Technologies, +38(095)402-08-27, altel@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9864-4098

Sumy State University

116, Kharkivska St., Sumy, Ukraine, 40007

¹ Стаття підготовлена в рамках виконання держбюджетної НДР «Економіко-математичне моделювання та технології управління транскордонною енергобезпекою в умовах воєнних дій та післявоєнного відновлення» (№ державної реєстрації 0123U101920).

Chygryn Olena, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Marketing, +38(050)141-94-13, dos@management.sumdu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-8418-051X

Sumy State University

116, Kharkivska St., Sumy, Ukraine, 40007

Smolennikov Denys, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management named after Oleg Balatsky, +38(050)141-94-13, dos@management.sumdu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-8418-051X

Sumy State University

116, Kharkivska St., Sumy, Ukraine, 40007

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC FACTORS IN THE EMISSIONS TRADING SYSTEM: A MECHANISM FOR TRANSITION TO DECARBONIZED CROSS-BORDER ENERGY SYSTEMS

Abstract. *The article proposes methodological approaches to improving, at the national and international levels, the European Emissions Trading System (EU ETS) based on replacing the criterion indicator “mass of pollutant emissions” with “reduced load on a complex of recipients from atmospheric air pollution” for individual squares of the EMEP grid. The proposed indicator allows considering the type of territory that perceives the anthropogenic load, the structure and density of recipients, the average annual surface concentration of pollutants, etc., which significantly increases the ecological and economic justification of trade relations as a mechanism for the transition to decarbonized cross-border energy systems. At the same time, the information base for the calculations of the specified indicator should be the Joint Program for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe (European Monitoring and Evaluation Programmed – EMEP).*

Keywords: *atmosphere, emissions, reduced load, trade, energy systems, decarbonization.*

Постановка проблеми. З прийняттям Енергетичної стратегії України на період до 2050 року [1], та оприлюдненням проекту Плану заходів з її реалізації [2], передбачається поетапне запровадження механізмів вуглецевого ціноутворення у відповідності до європейських вимог (2024–2025 роки), розроблення та прийняття Концепції щодо створення системи торгівлі викидами парникових газів на основі імплементації Директиви Європейського Парламенту і Ради 2003/87/ЄС (2026 рік) [3]. При цьому, Національною економічною стратегією України до 2030 р. передбачено, що до 2060 року Україна має досягти вуглецевої нейтральності [4]. Відповідні норми також містяться в Стратегії формування та реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року і в операційному плані заходів з її реалізації у 2024–2026 роках [5].

Здебільшого розглядається три необхідних передумови для запуску системи торгівлі квотами на викиди в Україні.

Перша. Наявність реально працюючої системи моніторингу, звітності і верифікації викидів парникових газів. Така система необхідна для точного визначення обсягів викидів парникових газів, які підприємства мають покрити придбаними квотами. Ця задача вирішена з прийняттям Закону України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» [6]. Але з початку війни подання звітності в рамках системи добровільне, тож вона працює не повністю, і зібрати точні дані щодо викидів неможливо.

Друга. Затвердження оновленого Національно визначеного внеску до Паризької угоди (НВВ-3). Він необхідний для встановлення ліміту викидів у системі торгівлі.

Третя. Центральним елементом системи торгівлі квотами на викиди парникових газів у Європейському союзі є об'єднаний реєстр. У ньому ведеться облік парникових квот та парникових викидів, де всі учасники мають свої рамки. Роботу цього реєстру забезпечують два типи адміністраторів: центральний та національний. Прийняття положення про національного реєстратора є важливим завданням.

Приєднання України до європейської енергомережі ENTSO-E передбачає (навіть до проведення робіт щодо імплементації Директиви Європейського Парламенту і Ради 2003/87/ЄС (2026 рік) [3]) безумовне впровадження, як перехідного, механізму коригування кордону вуглецю – carbon border adjustment mechanism (CBAM) [7] яким передбачається запровадження збору (мита) на товари, що ввозяться в країну від іноземних виробників (які мають менш жорсткі правила щодо викидів) для того, щоб захистити виробників з країн Європейського Союзу та спонукати треті країни зменшити ризик витоків вуглецю.

Коаліція з питань ціноутворення на вуглець (Carbon Pricing Leadership Coalition) передбачала, що для досягнення цілей Паризької угоди необхідно встановити ціни на вуглець у розмірі 40–80 \$/т CO_2 до 2020 р. та 50–100 \$/т CO_2 до 2030 р. Це надзвичайно обтяжливі платежі. Разом з тим, механізм CBAM передбачає знижки на збори для країн, у яких є внутрішні ціни на вуглець (податок на CO_2). Якщо підприємство сплатило за викиди у своїй країні, то цю

суму віднімають від збору. У відповідності до статті 243.1. Податкового кодексу України [8] ставка податку за викиди CO_2 становить 96,99 грн/т CO_2 або ж приблизно 2,15 \$/т CO_2 . Це є однією із передумов підвищення ставки податку аби не сплачувати різницю в рамках механізму СВМ під час експорту, наприклад електроенергії, до Європейського Союзу. Накопичені, при цьому, кошти необхідно використовувати у відповідності до «Порядку використання коштів державного фонду декарбонізації та енергоефективної трансформації» [9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Імплементация положень Директиви 2003/87/ЄС [3] про створення системи торгівлі квотами на викиди парникових газів в умовах України є комплексною задачею і потребує врахування організаційних та еколого-економічних обмежень. Особливо коли мова йде про енергетичний сектор, транскордонні енергетичні ринки.

Зокрема, в роботі [10] на основі аналізу трьох сценаріїв декарбонізації енергетичного сектору 1) використання вуглецевого бюджету лише на системному рівні відповідно до Fit-for-55 та Європейської зеленої угоди, 2) застосування вуглецевого бюджету на рівні країни та 3) використання вуглецевого податку замість бюджету на все виробництво електроенергії, автори прийшли до висновку, що сценарій податку на вуглець є найефективнішим для декарбонізації, але передбачає до 27 % вищих витрат у проміжні роки, що вимагає більш ранніх інвестицій.

Автори роботи [11] досліджуючи варіанти скорочення викидів вуглецю, згруповані в 1) виробництво вторинних носіїв енергії, 2) сектори кінцевого споживання енергії та 3) взаємозалежність секторів, довели, що глобальний податок на вуглець є найперспективнішим інструментом для прискорення процесу декарбонізації енергетичного сектору. Тим не менш, цей процес буде дуже складним через високі вимоги до капіталу, конкуренцію між енергетичними секторами за варіанти декарбонізації.

В роботі [12] досліджуються геополітичні ризики енергетичного переходу. Підкреслюється важливість інтегрованих стратегій, які використовують екологічні норми та технологічні інновації для сприяння стійкому та ефективному

енергетичному переходу перед обличчям викликів, спричинених геополітичною невизначеністю.

Аналізуючи фактори транскордонної торгівлі електроенергією, втори [13] роблять висновок, що вона допомагає зменшити викиди CO_2 , досягти трансформації відновлюваної енергії та зменшити невідповідність попиту та постачання електроенергії. Великі розриви у ВВП, цінах на електроенергію, промисловій структурі, географічній та інституційній відстані між економіками не сприяють формуванню транскордонної торговельної мережі, тоді як спільна мова навпаки.

В роботі [14] досліджуються методи розмежування, які зазвичай використовуються для визначення впливу декарбонізації енергетики на економічне зростання. Отримані авторами результати свідчать про те, що економічне зростання є основною рушійною силою зростання глобальних викидів вуглецю.

В роботі [15], на основі моделі загальної рівноваги Computable General Equilibrium Project – Global Trade Analysis Project, проведена оцінка економічного та екологічного впливу різних схем СВМ. Автори ставлять під сумнів вплив односторонньої торговельної політики на зменшення витоку вуглецю та наголошують, що пом'якшення наслідків зміни клімату все ще потрібно здійснювати в рамках міжнародного співробітництва.

В свою чергу, автори [16] більш радикально критикують механізм СВМ та стверджують, що він не відповідає правилам міжнародної торгівлі. Він збільшить торговельні витрати та спричинить ще одне спотворення торгівлі. Хоча мета запобігання зміні клімату є загальноприйнятною, схема СВМ занадто дорога для світової економіки.

В свою чергу, автори [17] вважають, що країни із середнім і низьким рівнем доходу, для яких ЄС є важливим експортним ринком, зазнають непропорційного впливу навіть за консервативних варіантів впровадження СВМ.

Цікаві порівняння систем торгівлі викидами парникових газів наведені в роботі [18]. Автори стверджують, що у порівнянні іншими механізмами торгівлі

квотами на викиди ціна на європейські дозволи в системі EU ETS може продовжувати падати і в кінцевому підсумку стати застосуванням того, що можна визначити як «принцип забруднювач не платить». Іншими словами, без будь-якої мінімальної ціни ціна може стати настільки низькою, що забруднювачі не матимуть стимулу знижувати рівень забруднення. До подібних висновків приходять автори роботи [19].

В роботі [20] аналізуються транскордонні ризики, які можуть виникнути в результаті декарбонізації світової економіки. Якісний і кількісний аналіз сценаріїв свідчить про те, що середній перехідний період – період, протягом якого співіснують і швидко трансформуються енергетичні системи на основі викопного палива та низьковуглецевого газу – може мати серйозні наслідки для стабільності та стійкості для глобальної торгівлі та міжнародної фінансової системи.

Огляд фінансових механізмів енергетичних переходів [21] свідчить, що найбільш прийнятними є: державні механізми фінансування, приватні механізми фінансування, ринкові механізми, інноваційні механізми фінансування, інструменти зменшення ризиків та інституційна підтримка та розбудова потенціалу.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета статті полягає у вдосконаленні методичних підходів до реалізації європейської системи торгівлі викидами (EU ETS) на основі заміни критеріального показника «маса викидів забруднюючих речовин» на «приведене навантаження на комплекс реципієнтів від забруднення атмосферного повітря» для окремих квадратів сітки ЕМЕР який дозволяє враховувати тип території, яка сприймає техногенне навантаження, структуру і щільність реципієнтів, середньорічну приземну концентрацію забруднюючих речовин та ін., що суттєво підвищує еколого-економічну обґрунтованість торгівельних відносин як механізму переходу до декарбонізованих транскордонних енергетичних систем.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. У цій статті ми не ставимо завдання перегляду основного принципу європейської системи торгівлі викидами (EU ETS) сутність

якого полягає у встановленні (та періодичному перегляді) ліміту на загальний обсяг викидів парникових газів певними галузями та дозволяє компаніям торгувати квотами на викиди. Ми ставимо принципове питання про необхідність включення в систему торгівлі викидами як на національному так і на міжнародному рівнях відповідних європейських інститутів та врахування результатів їх операційної діяльності. Зокрема, мова йдеться про Спільну програму для моніторингу та оцінки передачі забруднювачів повітря на великі відстані в Європі (European Monitoring and Evaluation Programme – EMEP) [22] з її відповідними структурними підрозділами. Перш за все це стосується Центру інвентаризації та прогнозів викидів ЕМЕП (EMEP Centre on Emission Inventories and Projections) [23], який відповідає за координацію роботи ЕМЕП, пов'язаної з викидами, і сприяє науковій оцінці забруднення повітря в усьому європейському регіоні та оцінці виконання протоколів Конвенції про транскордонне забруднення повітря на великі відстані [24] для міжнародного співробітництва для вирішення проблем транскордонного забруднення повітря. Відповідні роботи щодо удосконалення інструментів вуглецевого ціноутворення в Україні саме спрямовані на врахування різних факторів при впровадженні системи EU ETS [25].

Торгівля ліцензіями є модифікованим методом торгівлі викидами, заснований на концепції «осередку». Відповідно до цієї концепції всі джерела, локалізовані на певній території, об'єднуються в один осередок, який розглядається як одне джерело. Враховуючи, що, як правило, різні джерела характеризуються різними функціями залежності витрат від ступеня зменшення викидів, виникає принципова можливість мінімізувати сукупні витрати на придушення викидів за всіма джерелами, що входять до відповідного обмеженого осередку. При цьому, без зміни сумарного викиду забруднюючих речовин від джерел, що входять до осередку (у всякому разі без збільшення сумарного викиду), відбувається перерозподіл викидів між джерелами.

Існує дві об'єктивні умови перерозподілу викидів: різний рівень питомих витрат за різними джерелами за поточного (однакового) значення ступеня

придушення викидів; різний базовий ступінь придушення викидів за різними джерелами. Тоді об'єктивна умова перерозподілу викидів між джерелами, що входять до осередку, запишеться у вигляді системи:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} = const; \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij}(E_{ij}) \rightarrow \min; \\ P_{ij} > 0; E_{ij} > 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

де i – номер джерела викиду; n – кількість джерел викидів; j – вид забруднювача; m – кількість забруднювачів, що викидаються; P_{ij} – викиди j -го забруднювача від i -го джерела; $C_{ij}(E_{ij})$ – питомі витрати на придушення викидів i -го забруднювача в i -му джерелі як функція від ступеня придушення викидів E_{ij} .

Саме ця модель (1) лежить в основі системи EU ETS. Разом з тим, такий підхід не дозволяє враховувати ряд соціально-економічних і природно-кліматичних факторів, які визначають як сам рівень впливу на компоненти природного середовища, так і еколого-економічні наслідки такого впливу. Це обумовлено, перш за все, тим, що одна і та ж маса викидів (P_{ij}) j -го забруднювача від i -го джерела може спричиняти різний вплив на компоненти природного середовища (в залежності від їх структури, щільності, соціально-економічної значущості) та спричиняти різні еколого-економічні наслідки такого впливу.

Нами пропонується замінити в моделі (1) (P_{ij}) на показник «приведеного навантаження на комплекс реципієнтів» в умовному обчисленні (тони умовного навантаження) який визначається за допомогою системи коефіцієнтів, які враховують рівень досягнення встановлених нормативів якості атмосферного повітря, відносну шкоду різних забруднюючих речовин для здоров'я населення, екологічних систем, громадського та власного майна, враховують умови розсіювання забруднюючих речовин, склад реципієнтів, які знаходяться в зоні забруднення.

В роботі [26] нами були запропоновані та обґрунтовані методичні підходи до визначення показника «приведене навантаження на комплекс реципієнтів», який розраховується за формулою:

$$G_{\Omega} = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^M \sigma^k a_i^k D_i^k, \quad (2)$$

де k – індекс типу реципієнта, що сприймає техногенне навантаження; i – вид забруднюючої речовини; σ^k – коефіцієнт, що визначає соціальну значущість техногенного навантаження на окремі типи реципієнтів; a_i^k – показник відносної соціально-екологічної небезпеки забруднення атмосферного повітря різними забруднюючими речовинами; D_i^k – величина умовної річної дози i -ої забруднюючої речовини, яку отримує на території Ω^2 реципієнт k -го типу.

Значення умовної річної дози розраховується як:

$$D_i^k = \sum_{l=1}^L q_{i3A3} \cdot \rho_{i3A3}^k \cdot S_{i3A3}^k \quad (3)$$

де q_{i3A3} – величина середньорічної концентрації i -ої забруднюючої речовини в точці (x,y) l -ої зони території Ω (зони активного забруднення); ρ_{i3A3}^k – щільність реципієнтів k -го типу в зоні активного забруднення (в межах окремого квадрату сітки ЕМЕР); S_{i3A3}^k – площа зони активного забруднення, яку займає k -й реципієнт (частка площі окремого квадрату сітки ЕМЕР, яку займає k -й реципієнт).

Висоту джерел викидів пропонується приймати як середньозважену за об'єктами галузей (в нашому випадку електрогенеруючих об'єктів), які розташовані у відповідному квадраті. При цьому, середнє значення концентрації $\bar{q}_{il}$ в межах окремого квадрату сітки ЕМЕР розраховується за формулою:

$$\bar{q}_{il} = \frac{\phi \cdot m_i}{h^{1,64}}, \quad (4)$$

² Пропонується в якості обмеженої території прийняти квадрат розміром 50 на 50 км у відповідності до координат сітки ЕМЕР. Такий підхід дозволяє забезпечити єдині методичні принципи що до визначення емісії забруднюючих речовин та навантаження на комплекс реципієнтів, які застосовуються при забезпеченні виконання вимог Європейської Конвенції по трансграничному перенесенню забруднюючих речовин.

де ϕ – коефіцієнт, значення якого приймається: для аерозолів $\phi = 1,9 \cdot 10^{-3}$; для газів $\phi = 1,6 \cdot 10^{-3}$.

Залежність (4) отримана шляхом апроксимації функції розподілу максимально разових концентрацій забруднюючих речовин (C_i) з перерахунком за формулою $q_i(x, y) = 0,1C_i(x, y)$ в середньорічну концентрацію.

Середнє значення концентрації $\bar{q}_{il}$ для окремого квадрату сітки ЕМЕР визначається як математичне очікування функції розподілу q_{il} .

З урахуванням (3) та (4) формула (2) матиме вигляд:

$$G_{\Omega} = \sum_{i=1}^M \frac{\phi \cdot m_i}{h^{1,64}} \sum_{k=1}^N \sigma^k \cdot a_i^k \cdot \rho_i^k \cdot S_{3A3i} \cdot \alpha_i^k, \quad (5)$$

де α_i^k – середньозважена в межах квадрату сітки ЕМЕР структура реципієнтів.

Виходячи з припущення, що для i -ої забруднюючої речовини значення $h_i, \rho_i^k, S_{3A3i}^k, \alpha_i^k$ для окремого квадрату сітки ЕМЕР прийняті середніми і такими, що залишаються незмінними, формула (2) матиме вигляд:

$$G_{\Omega} = \sum_{i=1}^N m_i \sum_{k=1}^M \frac{\phi}{h^{1,64}} \sum_{k=1}^N \sigma^k \cdot a_i^k \cdot \bar{\rho}_i^k \cdot \bar{S}_{3A3i} \cdot \bar{\alpha}_i^k. \quad (6)$$

Показник приведенного навантаження на комплекс реципієнтів, які знаходяться в межах окремого квадрату сітки ЕМЕР дозволяє враховувати низку чинників, які суттєво впливають на еколого-економічну характеристику джерела викидів забруднюючих речовин. До таких чинників відносяться, перш за все, тип території, що сприймає техногенне навантаження, структура і щільність реципієнтів, середньорічна приземна концентрація забруднюючих речовин та ін.. Тоді система (1) у вигляді:

$$\begin{cases} G_{\Omega} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m \sigma^k a_i^k D_i^k = const; \\ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M C_{ij}(E_{ij}) \rightarrow \min; \\ G_{\Omega} > 0; E_{ij} > 0 \end{cases} \quad (7)$$

буде більш коректною для реалізації системи EU ETS як на національному так і на міжнародному рівнях.

Координатна сітка ЕМЕР. Для проведення розрахунків приведенного навантаження забруднюючих речовин на комплекс реципієнтів приймалась координатна сітка ЕМЕР. Координати квадратів сітки відповідають Європейській зоні ЕМЕР (рис. 1) і прийняті у відповідності до [37, 38].

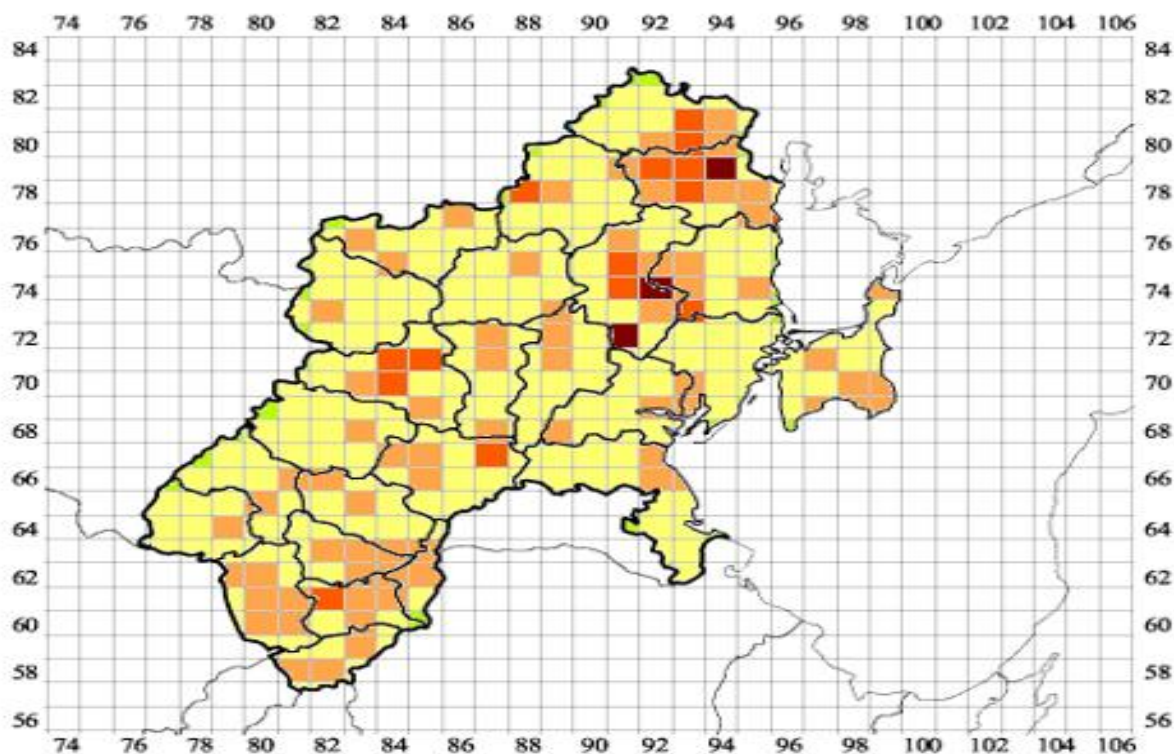


Рисунок 1 – Сітка ЕМЕР в межах України.

Визначення маси забруднюючих речовин. При розрахунках приведенного навантаження забруднюючих речовин на комплекс реципієнтів використовувались офіційні розрахункові дані емісії парникових газів по окремій області України з локалізацією меж областей у відповідних координатах сітки ЕМЕР. [39, 40].

Визначення коефіцієнту соціальної значущості техногенного навантаження на окремі типи реципієнтів. Коефіцієнт (σ^k), що визначає соціальну значущість техногенного навантаження на окремі типи реципієнтів

приймався у відповідності до рекомендацій [41]. При цьому для окремих типів коефіцієнт (σ^k) приймався як середній (табл. 1).

Таблиця 1 – Коефіцієнт соціальної значущості техногенного навантаження на окремі типи реципієнтів.

Тип реципієнта	Значення (σ^k)
Сільське господарство	0,25
Селітебна територія	0,055 ³
Лісове господарство	0,11

Відносна соціальна значимість навантажень на селітебну територію $\sigma^{сел}$ для окремих квадратів сітки ЕМЕР розраховується за формулою:

$$\sigma^{сел} = 0,001 \cdot N, \quad (8)$$

де N – щільність населення (чол./км²).

При розрахунку $\sigma^{сел}$ для окремого квадрату основним параметром є чисельність населення, яке мешкає на досліджуваній території, з урахуванням чисельності міст, районних центрів та селищ, що розташовані в межах цього ж квадрату. При цьому, приймаємо до уваги, що середня щільність населення на території України становить 55 чол./км². Так якщо, на території досліджуваного квадрату знаходяться декілька міст та районних центрів, то, у відповідності до статистичних даних, визначається загальна чисельність населення по цих містах та районних центрах. Враховуючи площу досліджуваного квадрату (для більшості квадратів 2500 км²), визначається відношення чисельності до визначеної площі:

$$N = \frac{V+W}{S} + 55, \quad (9)$$

де N – щільність населення у відповідному квадраті, чол./км²; V – чисельність населення міст, що входять в досліджуваний квадрат, чол.; W – чисельність населення районних центрів, що входять в досліджуваний квадрат, чол.; S – площа квадрату, км².

³ Для середнього значення щільності населення України – 55 чол./га.

Визначення структури реципієнтів. Для визначення пореципієнтної структури квадратів використовується графічний метод, заснований на визначенні питомої ваги площі окремого реципієнта у загальній площі досліджуваного квадрату, яка становить 2500 км². За реципієнтним складом у квадраті визначаються площі наступних реципієнтів (k): k_1 – сільське господарство; k_2 – селітебна територія, до складу якої входять: населення, основні засоби промисловості, житлово-комунальне господарство; k_3 – лісове господарство. На підставі топографічних даних карти України, та проекції на цю карту координатних осей ЕМЕР (рис. 1), проведено сегментування території України за реципієнтами k_i по квадратах карти ЕМЕР.

Шляхом геометричних розрахунків визначені площі досліджуваних реципієнтів у межах окремих квадратів. Слід зазначити, що для квадратів, що знаходяться на кордоні України з іншими державами, навантаження розраховується лише для тієї частини квадрату, що знаходиться на території України. Так, наприклад, для квадрату з координатами i,j (85,77) площа селітебної території складає 500 км², сільського господарства – 87 км², лісового господарства – 375 км².

Визначення показника відносної соціально-екологічної небезпеки забруднення атмосферного повітря різними забруднюючими речовинами (a_i^k). Для визначення відносної соціально-екологічної небезпеки забруднення атмосферного повітря різними речовинами, використовується індекс якості повітря (AQI) та показники гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин. AQI базується на вимірюванні концентрацій основних забруднювачів, таких як тверді частки ($PM\ 2.5$ та $PM\ 10$), озон (O_3), діоксид азоту (NO_2), діоксид сірки (SO_2).

Таблиця 2 – Коефіцієнт відносної соціально-екологічної небезпеки забруднюючих речовин для реципієнтів

Назва забруднюючої речовини	Коефіцієнт відносної агресивності за реципієнтами		
	Сільське господарство	Селітебна територія	Лісове господарство
Кадмій	92	57,5	109,3
Сірчаний газ	1,0	1,0	1,0
Окисли азоту	2,7	3,1	1,1
Аміак	1,25	1,55	1,1

Розрахункове значення приведенного навантаження по окремим квадратам сітки ЕМЕР для України приведенне в табл. 3.

Таблиця 3 – Сумарне приведенне навантаження на комплекс реципієнтів від забруднення атмосферного повітря для окремих квадратів сітки ЕМЕР (фрагмент).

Квадрат з координатами		Сумарне приведенне навантаження на комплекс реципієнтів від забруднення атмосферного повітря, т. у. н.
<i>i</i>	<i>j</i>	
91	83	0,000639962
92	83	0,001253685
91	82	0,011238873
92	82	0,129609869
93	82	0,037223606
94	82	0,014559985
90	81	0,1266547
91	81	0,160012243
92	81	0,14077902

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямку. Показник приведенного навантаження на комплекс реципієнтів від забруднення атмосферного повітря, який розраховується у тонах умовного навантаження, може мати також вартісне значення. Для цього необхідно визначити – які питомі еколого-економічні збитки формує 1 т.у.н. в межах зони активного забруднення? Очевидно, що для різних країн-учасниць системи торгівлі викидами (EU ETS) питомі показники будуть різними. Це обумовлено різною ціною якості атмосферного повітря, яка залежить тільки від рівня доходів окремої країни [26]. Саме ця обставина може суттєво впливати на вектор торгівлі викидами на міждержавному рівні, особливо при забезпеченні переходу до декарбонізованих транскордонних енергетичних систем.

Важливим напрямком подальших досліджень є розробка уніфікованих підходів до оцінки і прогнозування атмосфероохоронних витрат (в конкретному випадку для електрогенеруючих об'єктів). При організації торгівлі викидами на національному рівні такі підходи можуть мати різну інформаційно-методичну основу. Разом з тим, в рамках системи EU ETS вони мають бути уніфікованими. Без цього система EU ETS не тільки не забезпечуватиме ефективний перехід до

декарбонізованих транскордонних енергетичних систем, а і носити дискримінаційний характер.

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року [Електронний ресурс]: Розпорядження Каб. Міністрів України від 21. 04. 2023 р. № 373-р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text> (дата звернення: 18.06.2025).
2. План заходів з реалізації Енергетичної стратегії України на період до 2050 року та звіт про його стратегічну екологічну оцінку [Електронний ресурс]: Повідомлення Міністерства енергетики України про оприлюднення проєкту 11. 12. 2024 р. – Режим доступу: <https://mev.gov.ua/rehulyatornyy-akt/povidomlennya-pro-oprylyudnennya-proyektu-planu-zakhodiv-z-realizatsiyi> (дата звернення: 18.06.2025).
3. Про встановлення системи торгівлі квотами на викиди парникових газів у межах Союзу та внесення змін до Директиви Ради 96/61/ЄС [Електронний ресурс]: Директива Європейського Парламенту і Ради від 13.10.2003 р. 2003/87/ЄС – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_012-03#Text (дата звернення: 18.06.2025).
4. Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року [Електронний ресурс]: Постанова Каб. Міністрів України від 3.03.2021 р. № 179. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text>. (дата звернення: 18.06.2025).
5. Про схвалення Стратегії формування та реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2035 року і затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024-2026 роках [Електронний ресурс]: Розпорядження Каб. Міністрів України від 30.05.2024 р. № 483-р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2024-%D1%80#Text>. (дата звернення: 18.06.2025).
6. Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів [Електронний ресурс]: Закон України від 12 грудня 2019, № 377-IX: станом на 18. 06. 2025 р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/377-20#Text> (дата звернення: 18.06.2025).
7. Document 32023R0956. Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a carbon border adjustment mechanism (Text with EEA relevance) [Електронний ресурс]: – Режим доступу: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2023.130.01.0052.01.ENG&toc=OJ%3AL%3A2023%3A130%3ATOC (дата звернення: 18.06.2025).
8. Податковий кодекс України [Електронний ресурс]: Кодекс України від 02 грудня 2010 р., 2755-VI: станом на 18.06.2025 р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/2755-17> (дата звернення: 18.06.2025).
9. Про затвердження Порядку використання коштів державного фонду декарбонізації та енергоефективної трансформації [Електронний ресурс]: Постанова Каб. Міністрів України від 21.06.2024 р. № 761. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D0%BF#Text> (дата звернення: 18.06.2025).
10. Pan-European Energy System Decarbonization: The Effect of Emission / Theis Madsena et. al. MPRA. Paper № 121998, 2025. 23 p. URL: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/121998/1/MPRA_paper_121998.pdf.
11. Papadis, E., Tsatsaronis, G. Challenges in the decarbonization of the energy sector. *Energy*. 2020. Vol. 205, Issue 15. Article number: 118025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220311324>.
12. Wang, Q., Wang, X. & Li, R. Geopolitical risks and energy transition: the impact of environmental regulation and green innovation. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2024. Vol. 11. Article number: 1272. URL: <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03770-3>

13. Pu, Y., Li, Y., & Wang, Y. Structure Characteristics and Influencing Factors of Cross-Border Electricity Trade: A Complex Network Perspective. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, Issue 11. Article number: 5797. URL: <https://doi.org/10.3390/su13115797>.
14. Gbadeyan O. J., Muthivhi J., Liganiso L. Z., Deenadayalu N. Decoupling Economic Growth from Carbon Emissions: A Transition toward Low-Carbon Energy Systems - A Critical Review. *Clean Technologies*, 2024. Vol. 6, Issue 3. Article number: 1076-1113. URL: <https://doi.org/10.3390/cleantechnol6030054>.
15. Xinlu Sun, Zhifu Mi, Lu Cheng, D'Maris Coffman, Yu Liu. The carbon border adjustment mechanism is inefficient in addressing carbon leakage and results in unfair welfare losses. *Fundamental Research*, 2024. Vol. 4, Issue 3. Pages 660-670. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667325823000791>.
16. Lim B., Hong K., Yoon J., Chang J-I., Cheong I. Pitfalls of the EU's Carbon Border Adjustment Mechanism. *Journals Energies*, 2021. Vol. 14, Issue 21. Article number: 7303. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/21/7303>.
17. Beaufils, T., Ward, H., Jakob, M. et al. Assessing different European Carbon Border Adjustment Mechanism implementations and their impact on trade partners. *Communications Earth & Environment*. 2023. Vol. 4. Article number: 131. URL: <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00788-4>.
18. Borghesi S., Montini M. The Best (and Worst) of GHG Emission Trading Systems: Comparing the EU ETS with Its Followers. *Frontiers in Energy Research*, 2016. Vol. 4. URL: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2016.00027>.
19. Böning J., Di Nino V., Folge T. Benefits and costs of the ETS in the EU, a lesson learned for the CBAM design. Working Paper Series. № 2764. *European Central Bank*, 2023. 62 p. URL: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecb.wp2764~3ff8cb597b.en.pdf>.
20. Espagne E., Oman W., Mercure J., Svartzman R., Volz U., Pollitt H., Semieniuk G., Campiglio E. Cross-Border Risks of a Global Economy in Mid-Transition. *IMF Working Papers*, 2023. URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2023/09/08/Cross-Border-Risks-of-a-Global-Economy-in-Mid-Transition-538950>.
21. Long P. D., Mai Tram N. H., Bich Ngoc P. T. Financial mechanisms for energy transitions: a review article. *Fulbright Review of Economics and Policy*, 2024. Vol. 4, Issue 2. pp. 126–153. URL: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/frep-07-2024-0039/full/html>.
22. Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe. *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP)*. URL: <https://www.emep.int/> (дата звернення: 18.06.2025).
23. EMEP Centre on Emission Inventories and Projections. *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP)*. URL: <https://www.ceip.at> (дата звернення: 18.06.2025).
24. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP). United Nations Economic Commission for Europe. URL: <https://unece.org/environmental-policy/air/convention-and-its-achievements> (дата звернення: 18.06.2025).
25. Пропозиції щодо розвитку інструментів вуглецевого ціноутворення в Україні: звіт з моделювання. *Партнерство заради ринкової готовності в Україні (PMR)*. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/Propozytsiyi-shhodo-rozvytku-instrumentiv-vugletsevogo-tsinoutvorenniya-v-Ukrayini-zvit-modelyuvannya.pdf> (дата звернення: 18.06.2025).
26. Телиженко А.М. Экономика чистого воздуха: международное управление. Сумы : ИТД «Университетская книга», 2001. 326 с.
27. The EMEP grid. *The co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe*. URL: https://www.emep.int/mscw/emep_grid.html (дата звернення: 18.06.2025).
28. Wankmueller, R. Documentation of the new EMEP gridding system. For the spatial disaggregation of emission data with a resolution of 0.1 x 0.1 (long-lat). *Technical report CEIP 06/2019*. URL: https://webdab01.umweltbundesamt.at/download/EMEP_gridding_system_documentation.pdf (дата звернення: 18.06.2025).

29. Перелік виробництв та категорій джерел викидів за методикою ЕМЕР (розрахунок викидів ЗР в атмосферне повітря). *ЕкоСистема – національна онлайн-платформа, яка містить актуальну інформацію про стан довкілля*. URL: <https://eco.gov.ua/registers/perelik-vyrobnytstv-ta-katehorii-dzherel-vykydiv-za-metodykoiu-emer-rozrakhunok-vykydiv-zr-v-atmosferne-povitria> (дата звернення: 18.06.2025).

30. Викиди забруднюючих речовин і парникових газів в атмосферне повітря. [Електронний ресурс]: Держстат, 2021. – Режим доступу: <https://stat.gov.ua/uk/datasets/vykydy-zabrudnyuyuchykh-rechovyn-i-parnykovykh-haziv-v-atmosferne-povitrya> (дата звернення: 18.06.2025).

31. Про затвердження Методики розрахунку питомих викидів двоокису вуглецю при виробництві електричної енергії на теплових електростанціях та при її споживанні [Електронний ресурс]: Наказ Національного агентства екологічних інвестицій України від 21.03.2011 р. № 39. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0039825-11#Text> (дата звернення: 18.06.2025).

REFERENCES:

1. On the approval of the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2050. Kyiv : Parlamentske vydavnytstvo. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 21 kvitnia 2023 r. № 373-p. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text> [Accessed: 18 June 2025].

2. Action Plan for the Implementation of the Energy Strategy of Ukraine for the Period Until 2050 and Report on its Strategic Environmental Assessment. Kyiv : Parlamentske vydavnytstvo. Povidomlennia Ministerstva enerhetyky Ukrainy pro oprylyudnennia proiektu vid 11 hrudnia 2024 r. Available at: <https://mev.gov.ua/rehulyatornyy-akt/povidomlennya-pro-oprylyudnennya-proyektu-planu-zakhodiv-z-realizatsiyi> [Accessed: 18 June 2025].

3. Establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Union and amending Council Directive 96/61/EC. 2003. Kyiv : Parlamentske vydavnytstvo. Dyrektyva Yevropeiskoho Parlamentu i Rady vid 13 zhovtnia 2003 r. 2003/87/ES. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_012-03#Text [Accessed: 18 June 2025].

4. On the approval of the National Economic Strategy for the period until 2030. Kyiv : Parlamentske vydavnytstvo. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 3 bereznia 2021 r. № 179. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text> [Accessed: 18 June 2025].

5. On approval of the Strategy for the Formation and Implementation of State Policy in the Field of Climate Change for the Period Until 2035 and Approval of the Operational Plan of Measures for its Implementation in 2024-2026. 2024. Kyiv: Parlamentske vydavnytstvo. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30 travnia 2024 r. № 483-p. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/483-2024-%D1%80#Text> [Accessed: 18 June 2025].

6. Law of Ukraine On the principles of monitoring, reporting and verification of greenhouse gas emissions. 2025. Kyiv: Parlamentske vydavnytstvo. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/377-20#Text> [Accessed: 18 June 2025].

7. Document 32023R0956. Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a carbon border adjustment mechanism (Text with EEA relevance). Available at: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2023.130.01.0052.01.ENG&toc=OJ%3AL%3A2023%3A130%3ATOC [Accessed: 18 June 2025].

8. Tax Code of Ukraine. 2010. Kyiv: Parlamentske vydavnytstvo. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/2755-17> [Accessed: 18 June 2025].

9. On approval of the Procedure for the use of funds from the State Fund for Decarbonization and Energy Efficient Transformation. 2024. Kyiv: Parlamentske vydavnytstvo. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 21 June 2024 r. № 761. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D0%BF#Text> [Accessed: 18 June 2025].

10. Pan-European Energy System Decarbonization: The Effect of Emission / Theis Madsena et. al. MPRA. Paper № 121998, 2025. 23 p. Available at: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/121998/1/MPRA_paper_121998.pdf.
11. Papadis, E., Tsatsaronis, G. (2020) Challenges in the decarbonization of the energy sector. *Energy*. Vol. 205, Issue 15. Article number: 118025. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220311324>.
12. Wang Q., Wang X., Li R. (2024) Geopolitical risks and energy transition: the impact of environmental regulation and green innovation. *Humanities and Social Sciences Communications*. Vol. 11. Article number: 1272. Available at: <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03770-3>
13. Pu Y., Li Y., Wang Y. (2021) Structure Characteristics and Influencing Factors of Cross-Border Electricity Trade: A Complex Network Perspective. *Sustainability*. Vol. 13, Issue 11. Article number: 5797. Available at: <https://doi.org/10.3390/su13115797>.
14. Gbadeyan O. J., Muthivhi J., Liganiso L. Z., Deenadayalu N. Decoupling Economic Growth from Carbon Emissions: A Transition toward Low-Carbon Energy Systems - A Critical Review. *Clean Technologies*, 2024. Vol. 6, Issue 3. Article number: 1076-1113. Available at: <https://doi.org/10.3390/cleantechnol6030054>.
15. Xinlu Sun, Zhifu Mi, Lu Cheng, D'Maris Coffman, Yu Liu. The carbon border adjustment mechanism is inefficient in addressing carbon leakage and results in unfair welfare losses. *Fundamental Research*, 2024. Vol. 4, Issue 3. Pages 660-670. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667325823000791>.
16. Lim B., Hong K., Yoon J., Chang J-I. Cheong I. () Pitfalls of the EU's Carbon Border Adjustment Mechanism. *Journals Energies*, 2021. Vol. 14, Issue 21. Article number: 7303. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/21/7303>.
17. Beaufils T., Ward H., Jakob M. et al. Assessing different European Carbon Border Adjustment Mechanism implementations and their impact on trade partners. *Communications Earth & Environment*, 2023. Vol. 4. Article number: 131. Available at: <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00788-4>.
18. Borghesi S., Montini M. The Best (and Worst) of GHG Emission Trading Systems: Comparing the EU ETS with Its Followers. *Frontiers in Energy Research*, 2016. Vol. 4. Available at: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2016.00027>.
19. Böning J., Di Nino V., Folge T. (2023) Benefits and costs of the ETS in the EU, a lesson learned for the CBAM design. Working Paper Series. № 2764. *European Central Bank*. 62 p. Available at: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecb.wp2764~3ff8cb597b.en.pdf>.
20. Espagne E., Oman W., Mercure J., Svartzman R., Volz U., Pollitt H., Semieniuk G., Campiglio E. (2023) Cross-Border Risks of a Global Economy in Mid-Transition. *IMF Working Papers*. Available at: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2023/09/08/Cross-Border-Risks-of-a-Global-Economy-in-Mid-Transition-538950>.
21. Long P.D., Mai Tram N.H., Bich Ngoc P.T. Financial mechanisms for energy transitions: a review article. *Fulbright Review of Economics and Policy*, 2024. Vol. 4, Issue 2. pp. 126-153. Available at: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/frep-07-2024-0039/full/html>.
22. Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe. *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP)*. Available at: <https://www.emep.int/>.
23. EMEP Centre on Emission Inventories and Projections. *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP)*. Available at: <https://www.ceip.at>.
24. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP). United Nations Economic Commission for Europe. Available at: <https://unece.org/environmental-policy/air/convention-and-its-achievements>.
25. Proposals for the development of carbon pricing instruments in Ukraine: a modeling report. Partnerstvo zarady rynkovoї hotovnosti v Ukraini (PMR). Available at: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/Propozytsiyi-shhodo-rozvytku-instrumentiv-vugletsevogo-tsinoutvorennia-v-Ukrayini-zvit-modelyuvannya.pdf>.

26. Telizhenko A.M. Clean Air Economy: International Management [Telyzhenko A.M. Ekonomyka chystoho vozdukha: mezhdunarodnoe upravlenye] Sumy: ITD "Universitetskaya kniga", 2001. - 326 p.
27. The EMEP grid. *The co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe*. Available at: https://www.emep.int/mscw/emep_grid.html.
28. Wankmueller, R. (2019) Documentation of the new EMEP gridding system. For the spatial disaggregation of emission data with a resolution of 0.1 x 0.1 (long-lat). *Technical report CEIP 06/2019*. Available at: https://webdab01.umweltbundesamt.at/download/EMEP_gridding_system_documentation.pdf.
29. List of industries and categories of emission sources according to the EMER method (calculation of emissions of pollutants into the atmosphere). 2025. Kyiv : EkoSystema – natsionalna onlain-platforma, yaka mistyt aktualnu informatsiiu pro stan dovkillia. Available at: <https://eco.gov.ua/registers/perelik-vyrobnytstv-ta-katehorii-dzherel-vykydiv-za-metodykoiu-emer-rozrakhunok-vykydiv-zr-v-atmosferne-povitria> [Accessed: 18 June 2025].
30. Emissions of pollutants and greenhouse gases into the atmosphere. 2021. Kyiv: Derzhstat. Available at: <https://stat.gov.ua/uk/datasets/vykydy-zabrudnyuyuchykh-rechovyn-i-parnykovykh-haziv-v-atmosferne-povitria> [Accessed: 18 June 2025].
31. On approval of the Methodology for calculating specific carbon dioxide emissions during the production of electricity at thermal power plants and during its consumptionю 2011. Kyiv: Parlamentske vydavnytstvo. Nakaz Natsionalnoho ahentstva ekolohichnykh investytsii Ukrainy vid 21 bereznia 2011 r. № 39. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0039825-11#Text> [Accessed: 18 June 2025].

Надійшла до редакції 23.05.2025 р.