

УДК 620.9

Олена Малярєнко\*, канд. техн. наук, ст. наук. співр., <https://orcid.org/0000-0001-5882-916X>  
Наталія Іваненко, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0001-5438-1556>  
Олександр Судариков, <https://orcid.org/0009-0001-1210-1090>  
Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150,  
Україна  
\*Автор-кореспондент: malyarenlena@gmail.com

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ПОКАЗНИКІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ НА РІВНІ КРАЇНИ

**Анотація.** Світова спільнота прагне розробити методи оцінки найважливіших факторів впливу на глобальну кліматичну систему, а також механізми його пом'якшення для зменшення викидів парникових газів в атмосферу. Підвищенню екологічної ефективності має сприяти підвищення енергетичної ефективності, що, у свою чергу, призводить до покращення загального рівня життя. Екологічні обмеження, що взяла на себе Україна згідно з Національно визначеним внеском 2021 року, повинні бути враховані при розробці прогнозних обсягів споживання первинного палива, зокрема вугілля та нафтопродуктів. Внаслідок цього обсяг їхнього споживання заданий обсягом викидів парникових газів, який у 2030 р. не повинен перевищувати 35 % від обсягів викидів парникових газів у 1990 році. Метою дослідження є виявлення та формалізація взаємозв'язку між показниками енергетичної і екологічної ефективності на рівні країни, оскільки наразі до впровадження відповідної нормативно-правової бази в Україні обмеження на викиди парникових газів розповсюджуються лише на національний рівень. Проведений аналіз існуючих екологічних показників та нормативних екологічних документів дозволив обрати на рівні країни екологічний показник питомих викидів CO<sub>2</sub> на одиницю ВВП, дослідити тенденції зміни цього показника та паливоємності ВВП за ретроспективний період. Слід зазначити, що тенденції питомих викидів вуглекислого газу і паливоємності ВВП не співпадають. Це викликано підвищенням ефективності використання палива і у значній мірі зміною у балансі споживання палива. Збільшення частки використання видів палива з відносно низькими чи нульовими викидами CO<sub>2</sub> дозволяє суттєво знизити викиди парникових газів. Цей графічний аналіз дозволяє окреслити взаємозв'язок обраних показників у складі методики комплексної оцінки заходів з енергозбереження та запропонувати їхні зміни до існуючої методики.

**Ключові слова:** паливоємність ВВП, питомі викиди CO<sub>2</sub> на одиницю ВВП, показники комплексної оцінки заходів з енергозбереження, екологічні обмеження.

### 1. Вступ

Взаємозв'язок показників енергетичної та екологічної ефективності розглядався у методиці комплексної оцінки енергозберігальних заходів, що розроблялась та удосконалювалась в Інституті загальної енергетики НАН України починаючи з 1990-х років минулого століття. Зокрема, у науковій роботі, виконаній під керівництвом Гнідого М.В., була розроблена перша методика комплексної оцінки енергозберігальних заходів, що включала систему показників енергетичної, економічної та екологічної ефективності [1]. За показники енергетичної ефективності було прийнято зменшення питомих витрат енергоресурсів у новітній технології порівняно із діючою; за показники економічної ефективності – показники фінансово-економічного аналізу за методикою UNIDO [2]: капіталовкладення у впровадження модернізації, реконструкції чи нового будівництва, сума дисконтованих капіталовкладень, загальний економічний ефект від впровадження модернізації, реконструкції чи нового будівництва, витрати на реалізацію модернізації, реконструкції чи нове будівництво, чистий дисконтований прибуток, термін окупності модернізації, реконструкції чи нового будівництва, індекс прибутковості; за показники екологічної ефективності – зменшення питомих

викидів шкідливих речовин на одиницю продукції та зменшення збитків, заподіяних внаслідок цих викидів [3–5]. В подальшому ця методика була удосконалена [6] із запропонованням розширення показників енергетичної ефективності, а саме: енергетичний та ексергетичний ККД технологічного процесу, повна енергоємність продукції [7]; показників екологічної ефективності – енергоємність охорони навколишнього середовища та сплата збору за забруднення; показників економічної ефективності – економічна ефективність впровадження заходів, що включала зниження витрат на покупне паливо, зниження витрат на покупку або власне виробництво теплової енергії, зниження витрат на покупку або власне виробництво електроенергії, зниження сплати збору за забруднення довкілля, зниження експлуатаційних витрат внаслідок впровадження інноваційних технічних рішень [6]. Згодом у методику комплексної оцінки заходів з енергозбереження, яка використовується при визначенні економічно доцільного потенціалу енергозбереження, було внесено нові удосконалення щодо показників екологічної ефективності, в яких на заміщення сплати збору за забруднення довкілля внесено показник зменшення екологічного податку [8], введений згідно з прийнятим Податковим кодексом [9]. У 2004 р. Україна ратифікувала Кіотський протокол до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату, який зобов'язує розвинені країни та країни з перехідною економікою скорочувати або стабілізувати викиди парникових газів (ПГ) [10]. Це сприяє обмеженню спалювання органічного палива та стимулює розвиток поновлюваних джерел енергії. В Україні на даний час діє низка міжнародних документів, що висувають вимоги до функціонування устаткування, яке спалює органічне паливо, зокрема: Паризька угода 2015 року (про скорочення викидів ПГ, зменшення споживання традиційних енергоресурсів, збільшення частки поновлюваних джерел) [11]; Національний план скорочення викидів забруднюючих речовин від великих спалювальних установок (НПСВ) [12], за яким встановлено обмеження на викиди пилу, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>; Європейський зелений курс [13] та запроваджений Євросоюзом (ЄС) вуглецевий податок [10]. У 2020 р. Україна посіла 4 місце у світі за рівнем економічних збитків від забруднення повітря, основними забруднювачами якого є підприємства добувної і переробної промисловості, енергетики та аграрного сектору. Викиди забруднюючих речовин цих видів економічної діяльності склали понад 90 % від загального обсягу викидів шкідливих речовин в атмосферу по країні [14]. У липні 2021 р. Уряд України схвалив Оновлений національний визначений внесок України до Паризької угоди (НВВ2) [15]. Згідно з НВВ2, до 2030 року викиди у сферах виробництва електричної та теплової енергії мають знизитися на 26 % від рівня 2019 року та на 65 % від рівня 1990 року. В Україні, як і в усьому світі, найбільш вуглецевою сферою економіки традиційно виступає енергетичний сектор. Тому більша увага має бути приділена скороченню викидів саме в енергетиці [16].

Метою роботи є дослідження тенденції питомих викидів вуглекислого газу і паливоємності ВВП, проведення графічного аналізу виявлених тенденцій для окреслення взаємозв'язку обраних показників ефективності у складі методики комплексної оцінки заходів з енергозбереження та запропоновання зміни до існуючої методики.

## 2. Методи та матеріали

Із вищенаведеного зрозуміло, що за останні 10 років відбулись значні зміни в екологічній політиці Європи та світу. З'явилися нові підходи до оцінки показників екологічної ефективності. Одним з прийнятих у світі показників екологічної ефективності є індекс екологічної ефективності – EPI (Environmental Performance Index), який введено у 2006 р. науковцями Єльського та Колумбійського університетів [17]. Склад цього інтегрального показника з часом змінювався. У 2022 р. рамкова програма EPI включала 3 цілі політики, 11 категорій проблем і 40 індикаторів. Перша ціль – клімат: пом'якшення кліматичного стану оцінюється за 9-ма показниками: темпи зростання CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, ін., прогнозовані викиди до 2050 року, парникові гази на душу населення. Друга ціль – стан навколишнього середовища, який оцінюється якістю повітря: 7 показників, поводження з відходами: 3 показники, вода та каналізація: 2 показники, важкі метали: вплив свинцю. Третя ціль – життєздатність екосистеми, що визначається за 17-ма показниками [18]. Використання індексу екологічної ефективності можливо

лише на макрорівні – рівні країни, та за великою кількістю складових показників важко визначити кореляцію між ЕРІ та, наприклад, енергоємністю чи паливоємністю ВВП. Однак показник питомих викидів парникових газів на душу населення допоможе визначити яку частку палива має скоротити саме населення для досягнення цілей, поставлених у НВВ2.

Було проаналізовано екологічні показники, що регламентуються ДСТУ серії 14000 [19] та використовуються Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України для моніторингу та оцінки стану довкілля. Державні стандарти України (ДСТУ) серії 14000 мають такі напрями застосування: 14001, 14004 – системи екологічного менеджменту, 14010-14012 – аудит системи екологічного менеджменту, 14020-14025 – екологічне маркування, 14031-14032 – оцінювання екологічної ефективності, 14040-14049 – оцінка життєвого циклу продукції, 14050 – терміни та визначення, 14061 – врахування екологічних аспектів у стандартах на продукцію. Також проаналізовано показники екологічної ефективності, які використовує Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України [20]: *викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря*: діоксиду сірки (SO<sub>2</sub>), оксидів азоту (NO<sub>x</sub>), аміаку (NH<sub>3</sub>), твердих часток (ТЧ10, ТЧ2,5 та/або загального вмісту зважених часток (ЗЗЧ)), оксиду вуглецю (СО), неметанових летких органічних сполук (НМЛОС), стійких органічних сполук (СОЗ, у т. ч. поліхлорбіфеніли (ПХБ), діоксини/фурані та поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ)), важких металів (кадмію, свинцю і ртуті); *якість атмосферного повітря в міських населених пунктах* з найбільшою щільністю населення (м. Київ та м. Харків); *питомі викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря* (за переліком суб'єктів господарювання). Проаналізовано методики розрахунку екологічних показників. Зокрема, «Методику розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря», яку затверджено наказом Міністерства енергетики та захисту довкілля України 28 квітня 2020 року № 277 [21]. Ця методика встановлює гранично допустиму концентрацію викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Також з 2000 р. діє «Типова методика визначення питомих викидів від основних виробництв по галузях промисловості. Основні положення», що затверджена заступником Міністра екології та природних ресурсів України М. Стеценком 25.12.2000 р. [22]. Вона встановлює типову методологію визначення питомих викидів забруднювальних речовин в атмосферу від об'єктів промисловості.

Проведено аналітичний огляд публікацій, в яких представлено математичні моделі, що враховують екологічний чинник при визначенні показників енергетичної ефективності. Так, у математичній моделі «TIMES-Ukraine» [23, 24] використовуються такі екологічні показники: питомий показник ефективності екологічних викидів – вуглецеємність ВВП (з ПКС) – CO<sub>2</sub>/\$ (ПКС); показник інтенсивності екологічних викидів – CO<sub>2</sub>/особу.

У роботі [25] запропоновано показник повної вуглецеємності продукції за аналогією із показником повної енергоємності продукції за ДСТУ 3682-98 [7]. Цей показник доцільно використовувати для рівня технологій разом із показником повної енергоємності продукції.

Дослідження індійських вчених «Вивчення взаємозв'язку між енергоємністю, відновлюваними джерелами енергії, інтенсивності відновлюваних джерел енергії, природних ресурсів та вуглецевої інтенсивності в Індії» [26] емпірично аналізує енергоємність, відновлювані джерела енергії, природні ресурси, економічне зростання та взаємозв'язок інтенсивності вуглецю в Індії за допомогою емпіричної моделі, описаної в рівняннях:

$$\ln CINT_t = \gamma_0 + \gamma_1 \cdot \ln EINT_t + \gamma_2 \cdot \ln REC_t + \gamma_3 \cdot \ln NR_t + \gamma_4 \cdot \ln EG_t + \varepsilon_t, \quad (1)$$

де  $t$  – час;  $\gamma_0$  – постійний член;  $\gamma_1$  і  $\gamma_2$  – коефіцієнти прогностичних змінних;  $\gamma_3$  і  $\gamma_4$  – коефіцієнти контрольних змінних;  $\varepsilon_t$  – розрахункова похибка;  $CINT$  – вуглецевоємність (як співвідношення викидів CO<sub>2</sub> на душу населення на одиницю ВВП на душу населення) у тоннах CO<sub>2</sub> на долар США у постійних цінах 2015 р., визначається згідно з [27, 28],  $EINT$  – енергоємність (як відношення споживання енергії на душу населення на одиницю ВВП на душу населення) у кВт·год/долар США у постійних цінах 2015 р., визначається згідно з [27, 28],  $REC$  – споживання енергії з відновлюваних джерел на душу

населення,  $NR$  – загальна рента на природні ресурси, визначається як % від ВВП та  $EG$  – економічне зростання (ВВП на душу населення).

Ця досліджувана модель відповідає структурі STIRPAT (стохастичний вплив шляхом регресії на населення, достаток і технології), що лежить в основі робіт [29, 30], та створена на основі метода авторегресії з розподільчим лагом ARDL [31]. Цей метод широко використаний у численних дослідженнях іноземних вчених [32–39]. Однак вчені Джордан і Філіпс вважають цю модель не оптимальною через складну інтерпретацію короткострокових і довгострокових коефіцієнтів, тому вони розробили метод DSARDL динамічного імітаційного авторегресійного розподільчого лагу на основі моделі Песарана з розподільчим лагом [40]. Модель DSARDL для вищенаведеного дослідження описана у формі корекції помилок [26]:

$$\Delta \ln CINT_t = ct_0 + lr_0 \cdot \ln CINT_{t-1} + sr_1 \cdot \Delta \ln EINT_t + lr_1 \cdot \ln EINT_{t-1} + sr_2 \cdot \Delta \ln REC_t + lr_2 \cdot \ln REC_{t-1} + sr_3 \cdot \Delta \ln NR_t + lr_3 \cdot \ln NR_{t-1} + sr_4 \cdot \Delta \ln EG_t + lr_4 \cdot \ln EG_{t-1} - 1 + \varepsilon_t, \quad (2)$$

де  $\Delta$  – оператор перших різниць;  $ct_0$  – постійний член оцінки;  $lr_0$  – коефіцієнт члена корекції помилки;  $sr_1, sr_2, sr_3, sr_4$  – короткострокові коефіцієнти предикторних змінних;  $lr_1, lr_2, lr_3, lr_4$  – довгострокові коефіцієнти предикторних змінних;  $\varepsilon_t$  – розрахункова похибка;  $CINT, EINT, REC, NR, EG$  – відповідають позначенням до формули (1).

Для емпіричного аналізу в [26] використовуються доступні річні часові ряди даних у діапазоні від 1970 р. до 2020 р. Це дослідження підтверджує ідею про те, що зі збільшенням попиту на енергію та економічним розвитком країни зростає інтенсивність викидів вуглецю. Інвестиції в розвиток чистої енергетики можна було б стимулювати шляхом надання кредитів та енергетичних субсидій, щоб зменшити частку викопного палива в загальному обсязі первинної енергії. Для подальшого стримування діяльності, пов'язаної з викидами вуглецю, можна збільшити екологічний податок, особливо для енергоємних галузей, одночасно надаючи субсидії, які заохочують енергетичний перехід. Використання енергії домогосподарствами змінюється залежно від рівня доходу, зважаючи на значну кількість населення країни, яке не має доступу до екологічно чистого приготування їжі. Хоча збільшення ренти на природні ресурси знижує вуглецеємність, уряд повинен вжити термінових заходів для забезпечення сталого використання природних ресурсів разом зі зростанням доходів. Провідними видами економічної діяльності в Індії є сільське господарство, вирубка лісів та видобуток корисних копалин, які можуть продовжувати шкодити навколишньому середовищу, якщо їх ефективно не контролювати [26].

Методичний підхід, запропонований індійськими вченими, в подальшому планується використати для побудови аналогічної регресійної моделі для України.

В результаті проведеного аналізу нормативних документів та наукових літературних джерел можна констатувати, що екологічні обмеження, наведені у міжнародних документах, стосуються лише обсягів викидів парникових газів та впливають на обсяги споживання палива по країні в цілому. По окремих же виробництвах обмеження викидів шкідливих речовин (пилу,  $SO_2, NO_x$ ), що надані у Національному плані скорочення викидів, потребують окремого розгляду та іншої методики комплексної оцінки енергозберігальних заходів. Хоча методологічні підходи щодо показників енергетичної та економічної ефективності будуть схожі, але для різних ієрархічних рівнів економіки, екологічні ж показники є зовсім різними. У цій статті розглянемо лише макрорівень «країна» та вплив обсягів споживання палива на обсяги викидів парникових газів у  $CO_2$  екв.

### 3. Результати та обговорення

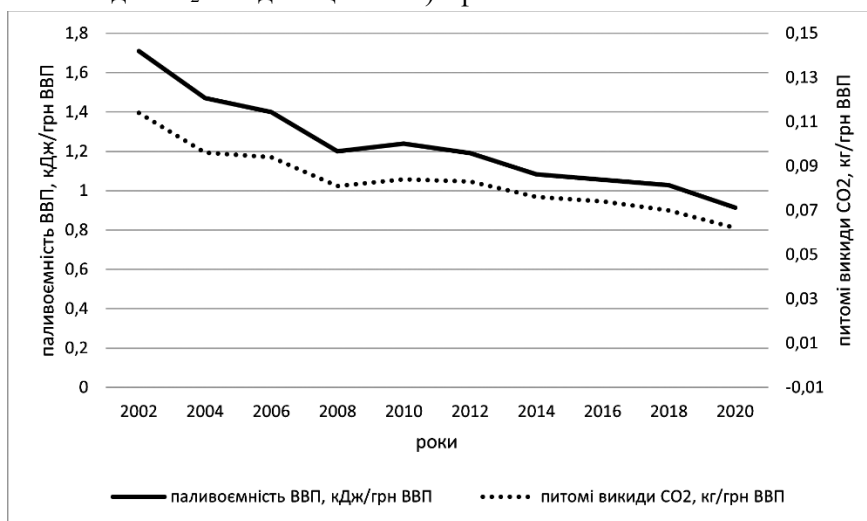
За ретроспективними даними (2002–2020 рр.) про споживання палива, що використане на безпосереднє спалювання (кінцеве споживання), викидах парникових газів [41] та динамікою ВВП [42] було обчислено паливоємність ВВП та питомі викиди  $CO_2$  на одиницю ВВП за ретроспективний період (табл. 1).

**Таблиця 1.** Питомі викиди CO<sub>2</sub> на одиницю ВВП (в постійних цінах 2016 р.) від спалювання органічного палива по Україні за ретроспективний період 2001–2020 рр.

Рік	ВВП у цінах 2016 року, млрд грн	Кінцеве споживання палива (Fuel combustion), ТДж	Паливоємність ВВП, кДж / грн ВВП	Викиди CO <sub>2</sub> екв, кт	Питомі викиди CO <sub>2</sub> / ВВП, кг CO <sub>2</sub> екв / грн ВВП
2002	1967706	3376937,3	1,71	224749,8	0,114
2004	2415891	3573343,8	1,47	233573,1	0,096
2006	2673431	3758434,9	1,40	252259,3	0,094
2008	2942707	3560414,6	1,20	240510,2	0,081
2010	2613051	3246807,9	1,24	221302,9	0,084
2012	2762446	3312846,1	1,19	230100,7	0,083
2014	2580744	2799863,9	1,08	196485,6	0,076
2016	2385367	2519939,0	1,06	176665,8	0,074
2018	2526835	2599004,4	1,03	178373,9	0,070
2020	2509820	2292624,4	0,91	155750,2	0,062

Як видно з табл.1, валовий внутрішній продукт мав змінну тенденцію: зростання до 2008 р., падіння до 2010 р. (економічна криза 2009 р.), поступове зростання до 2014 р. та наступне падіння внаслідок війни росії проти України. При цьому кінцеве споживання палива зростало лише до 2006 р. Далі відбувалось зниження його споживання з невеликим періодом стабілізації у 2010–2012 рр. Кінцеве споживання палива скорочувалось внаслідок зменшення частки енергоємних виробництв (структурні зміни): видобуток вугілля, металургійне виробництво та їх технологічного переозброєння із впровадженням енергозберігальних (економія палива) та інноваційних технологій (суттєве скорочення або його заміщення іншими видами енергії). Таким чином, поєднання розвитку економіки з енергоефективністю призвело до скорочення споживання палива, а отже і зниження паливоємності ВВП. Цей же фактор призводить до зниження викидів парникових газів та, зокрема, CO<sub>2</sub>, що забезпечує виконання взятих Україною міжнародних екологічних зобов'язань. Відповідно знизився і питомий показник викидів CO<sub>2</sub> на одиницю ВВП.

На рис. 1 представлено динаміку зміни питомих показників енергетичної (паливоємність ВВП) та екологічної (питомі викиди CO<sub>2</sub> на одиницю ВВП) ефективності.



**Рисунок 1.** Динаміка зміни паливоємності ВВП та питомих викидів CO<sub>2</sub> на одиницю ВВП по Україні за ретроспективний період

Показники екологічної та енергетичної ефективності мають схожу тенденцію, але не тотожну функцію до зниження.

Обсяг викидів CO<sub>2</sub> у 1990 р. згідно з [41] складає  $V_{CO_2}^{1990} = 588768,96$  кт CO<sub>2</sub>/рік.

Прогноз ВВП у 2030 р., який взято для прикладу за даними [43], складає  $V_{ВВП}^{2030} = 3894,1$  млрд грн.

Відповідно, очікувані питомі викиди CO<sub>2</sub> у 2030 р. згідно з вимогами [16] становлять:

$$k_{CO_2}^{2030} = \frac{V_{CO_2}^{2030}}{V_{ВВП}^{2030}} = \frac{0,35 \cdot V_{CO_2}^{1990}}{3894,1} = \frac{0,35 \cdot 588768,96}{3894,1} = \frac{206069,14}{3894,1} = 52,918 \frac{кт CO_2}{млрд грн} = 0,0529 \frac{кт CO_2}{грн ВВП}$$

Як видно з табл.1, питома величина викидів CO<sub>2</sub> у 2020 р. була 0,062 кг CO<sub>2</sub>/ грн ВВП.

З рис. 1 бачимо, що для досягнення прогнозної величини 0,0529 кг CO<sub>2</sub>/ грн ВВП до 2030 р. мають відбутись структурні і технологічні зміни, які забезпечать таке зниження екологічного показника. Значну роль у цьому буде відігравати структура спожитого палива, оскільки заміщення вугілля природним газом і біопаливом в технологічних процесах вже дозволить скоротити викиди CO<sub>2</sub>, але ці ресурси є обмеженими.

До існуючої комплексної методики оцінки ефективності енергозберігальних заходів [44] пропонуються наступні зміни:

1) Енергетичні показники:

прогнозне граничне значення енергоємності ВВП (2030 р.), за якого будуть дотримані екологічні вимоги:  $e_{ВВП}^{2030}$ ; обсяги структурного –  $\Delta E_{стр}^t$  і технологічного енергозбереження –  $\Delta E_{тех}^t$  на макрорівні, що забезпечать виконання екологічних умов щодо зниження викидів парникових газів.

2) Екологічні показники:

прогнозне граничне значення питомих викидів ПГ (CO<sub>2</sub>-екв), яке визначається за існуючими екологічними обмеженнями по країні та прогнозом ВВП

$$k_{ПГ}^{2030} = \frac{V_{ПГ}^{2030}}{V_{ВВП}^t},$$

$$\text{де } V_{ПГ}^{2030} = V_{CO_2}^{2030} + 25V_{CH_4}^{2030} + 298V_{N_2O}^{2030},$$

$$V_{CO_2}^{2030} = 0,35V_{CO_2}^{1990} = 206069,14 \text{ кт } CO_2.$$

Оскільки викиди CO<sub>2</sub> становлять 99,97% від загального обсягу викидів ПГ, то можна обмежитись лише цим показником, тобто приймаємо  $k_{ПГ}^{2030} = k_{CO_2}^{2030} = 0,0529 \text{ кт } CO_2/\text{грн ВВП}$ .

#### 4. Висновки

Проаналізовано взаємозв'язок показників екологічної та енергетичної ефективності та обчислено прогнозу граничну величину питомих викидів CO<sub>2</sub>/ грн ВВП на 2030 р. Визначено, що ця величина є суттєво меншою, ніж була у ретроспективний період. Запропоновано зміни до показників комплексної оцінки енергозберігальних заходів з урахуванням нових екологічних обмежень, а саме граничний обсяг викидів CO<sub>2</sub> та граничні питомі викиди CO<sub>2</sub> на одиницю ВВП у 2030 р. Констатовано, що тенденції зміни питомих викидів вуглекислого газу і паливоємності ВВП не співпадають, що обумовлено як підвищенням ефективності використання палива, так і зміною у структурі споживання палива. Збільшення частки використання видів палива з відносно низькими чи нульовими викидами CO<sub>2</sub> дозволяє суттєво знизити викиди парникових газів.

#### Посилання

1. Розробка та розвиток наукових основ комплексної оцінки енергозберігаючих заходів, прогнозування економічно доцільних потенціалів енергозбереження в Україні: Звіт про НДР (заключний). Ін-т загальної енергетики НАН України. № ДР0104U003065. Київ, 2006. 240 с.
2. Guidelines for preparing the industrial investment project profile UNIDO. 1991. 85 р.
3. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів від 01.06.1995 № 162/698.
4. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від 29.05.1995 № 157/693.
5. Методика визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства від 05.05.1998 № 285/2725.
6. Білодід В.Д., Маляренко О.С., Станиціна В.В. Показники енергетичної ефективності для оцінки інновацій у промислових технологіях. *Проблеми загальної енергетики*. 2009. Вип. 2(20). С. 45—50. URL: <https://systemre.org/index.php/journal/issue/archive/3> (дата звернення: 10.07.2023).

7. ДСТУ 3682-98 (ГОСТ 30583-98). Методика визначення повної енергоємності продукції, робіт та послуг. Київ: Держстандарт України, 1998. 11 с. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=55050](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=55050) (дата звернення: 10.07.2023).
8. Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В. Удосконалений методичний підхід до визначення економічно доцільного потенціалу енергозбереження в енергоємних видах економічної діяльності. *Проблеми загальної енергетики*. 2015. Вип. 3(42). С. 23—30. <https://doi.org/10.15407/page2015.03.023>
9. Екологічний податок. *Податковий кодекс*. Розділ VIII. URL: <https://tax.gov.ua/nk/rozdil-viii--ekologichniy-poda/> (дата звернення: 10.07.2023).
10. Судариков О. Аналітичний огляд міжнародних документів, що ратифіковані в Україні, та національних вимог до функціонування устаткування, що спалює органічне паливо. *Traditional and innovative approaches to scientific research: theory, methodology, practice: Scientific monograph*. Riga: Baltija Publishing, 2022. P. 135—151. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-241-8>
11. Паризька кліматична угода. *GreenDeal*. URL: <https://greendeal.org.ua/paryzka-klimatychna-ugoda/> (дата звернення: 10.07.2023).
12. Про Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок: розпорядження Кабінету Міністрів України від 08.11.2017 р. № 796-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/796-2017-%D1%80#Text> (дата звернення: 10.07.2023).
13. Європейський зелений курс. *Представництво України при ЄС*. URL: <https://ukraine-eu.mfa.gov.ua/posolstvo/galuzeve-spivrobotnictvo/klimat-yevropejska-zelena-ugoda> (дата звернення: 10.07.2023).
14. Проект Плану відновлення України. Матеріали робочої групи «Екологічна безпека». URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/environmental-safety-assembly.pdf> (дата звернення: 10.07.2023).
15. Про схвалення Оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди: розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.07.2021 р. № 868-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/868-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 10.07.2023).
16. Як Україна прагне скоротити викиди парникових газів на 65 % до 2030 року. Огляд. URL: <https://interfax.com.ua/news/greendeal/789109.html> (дата звернення: 10.07.2023).
17. Hsu A., Zomer A. Environmental Performance Index. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat03789.pub2>
18. Маляренко О.Є., Судариков О.А. Показники екологічної та енергетичної ефективності на рівні країни та їх взаємозв'язок. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті. *Матеріали XXIV міжнародної науково-практичної конференції (18–19 травня 2023, м. Київ)*. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2023. С. 147—148. <https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023>
19. Про міжнародні стандарти та системи екологічного менеджменту. *Офіс сталих рішень*. URL: <https://ukraine-oss.com/pro-mizhnarodni-standarty-ta-systemy-ekologichnogo-menedzhmentu/> (дата звернення: 10.07.2023).
20. Оцінка впливу на довкілля. *Сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України*. URL: <https://merp.gov.ua/diyalnist/otsinka-vplyvu-na-dovkillya/> (дата звернення: 10.06.2023).
21. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря: затверджено наказом Міністерства енергетики та захисту довкілля України від 28.04.2020 р. № 277. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0414-20#Text> (дата звернення: 10.07.2023).
22. Типова методика визначення питомих викидів від основних виробництв по галузях промисловості. Основні положення: затверджена заступником Міністра екології та природних ресурсів України М. Стеценком 25.12.2000 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/n0002556-00#Text> (дата звернення: 10.07.2023).
23. Подолець Р.З., Дячук О.А. Стратегічне планування у паливно-енергетичному комплексі на базі моделі «TIMES-Україна»: наук. доп. Київ: Ін-т екон. та прогнозів. НАН України, 2011. 150 с. ISBN 978–966–02–5987–4.
24. Дячук О.А., Подолець Р.З., Серебренніков Б.С., Зеленюк Т.А. Ефективність і екологічність використання енергетичних ресурсів у світі та Україні. *Економічний аналіз*: зб. наук. праць. Тернопільський національний економічний університет. (за ред. В.А. Дерія). Тернопіль: Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету «Економічна думка», 2014. Том 15. № 1. С. 59—75.
25. Панченко Г.Г. Методика визначення повної вуглецевої продукції, робіт та послуг. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2012. Вип. 263. С. 107—112.
26. Oktay Ö., Obekra H. O., Alola A. A. Examining the nexus of energy intensity, renewables, natural resources, and carbon intensity in India. *Energy & Environment*. 2023. <https://doi.org/10.1177/0958305X231169706>
27. Goldemberg J. The evolution of the energy and carbon intensities of developing countries. *Energy Policy*. 2020. Vol. 137. 111060. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111060>
28. Ahmad M., Wu Y. Natural resources, technological progress, and ecological efficiency: does financial deepening matter for G-20 economies? *Resour Policy*. 2022. Vol. 77. 102770. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102770>

29. Holdren J. P., Ehrlich P. R. Human population and the global environment: population growth, rising per capita material consumption, and disruptive technologies have made civilization a global ecological force. *American Scientist*. 1974. 62. P. 282—292.
30. York R., Rosa E. A., Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*. 2003. Vol. 46. Iss. 3. P. 351—365. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5)
31. Pesaran M. H., Shin Y., Smith R. J. Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*. 2001. Vol. 16. Iss. 3. P. 289—326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
32. Iwata H., Okada K., Samreth S. Empirical study on the determinants of CO2 emissions: evidence from OECD countries. *Applied Econometrics*. 2012. Vol. 44. Iss. 27. P. 3513—3519. <https://doi.org/10.1080/00036846.2011.577023>
33. Solarin S. A. Tourist arrivals and macroeconomic determinants of CO2 emissions in Malaysia. *Anatolia*. 2014. Vol. 25. Iss. 2. P. 228—241. <https://doi.org/10.1080/13032917.2013.868364>
34. Ali H. S., Abdul-Rahim A. S., Ribadu M. B. Urbanization and carbon dioxide emissions in Singapore: evidence from the ARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017. Vol. 24. Iss. 2. P. 1967—1974. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7935-z>
35. Baloch M. A., Suad S. Modeling the impact of transport energy consumption on CO2 emission in Pakistan: evidence from ARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. Vol. 25. Iss. 10. P. 9461—9473. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1230-0>
36. Neves S. A., Marques A. C., Patricio M. Determinants of CO2 emissions in European Union countries: does environmental regulation reduce environmental pollution? *Economic Analysis and Policy*. 2020. Vol. 68. P. 114—125.
37. Rahman H. U., Ghazali A., Bhatti G. A. Role of economic growth, financial development, trade, energy and FDI in environmental Kuznets curve for Lithuania: evidence from ARDL bounds testing approach. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*. 2020. Vol. 31. Iss. 1. P. 39—49. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.31.1.22087>
38. Adebayo T. S., Kalmaz D. B. Determinants of CO2 emissions: empirical evidence from Egypt. *Environmental and Ecological Statistics*. 2021. Vol. 28. Iss. 5. P. 239—262. <https://doi.org/10.1007/s10651-020-00482-0>
39. Hatmanu M., Cautisanu C., Iacobuta A. O. On the relationships between CO2 emissions and their determinants in Romania and Bulgaria. An ARDL approach. *Applied Economics*. 2022. Vol. 54. Iss. 22. P. 2582—2595. <https://doi.org/10.1080/00036846.2021.1998328>
40. Jordan S., Philips A. Q. Cointegration testing and dynamic simulations of autoregressive distributed lag models. *The Stata Journal Promoting communications on statistics and Stata*. 2018. Vol. 18. Iss. 4. P. 1—22. <https://doi.org/10.1177/1536867X1801800409>
41. National Inventory Submissions 2022. *United Nations Climate Change*. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/national-inventory-submissions-2022> (дата звернення: 10.07.2023).
42. Національні рахунки. Головне управління статистики у Харківській області. URL: <http://kh.ukrstat.gov.ua/index.php/natsionalni-rakhunky-stat> (дата звернення: 30.07.2023).
43. Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Горський В.В. Прогноз споживання палива та вугілля в Україні до 2040 р. за комплексним методом прогнозування енергоспоживання. *Проблеми загальної енергетики*. 2021. Вип. 3(66). С. 28—35. <https://doi.org/10.15407/pge2021.03.028>
44. Кулик М.М., Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Станиціна В.В., Куц Г.О. Енергоефективність та прогнозування енергоспоживання на різних ієрархічних рівнях економіки: методологія, прогнозні оцінки до 2040 року. Київ, «Наукова думка», 2021. 234 с. ISBN 978-966-00-1739-9.

## **STUDY OF THE RELATIONSHIP OF ENVIRONMENTAL AND ENERGY EFFICIENCY INDICATORS AT THE COUNTRY LEVEL**

**Olena Maliarenko\***, PhD (Engin.), Senior Research Scientist, <https://orcid.org/0000-0001-5882-916X>

**Nataliia Ivanenko**, PhD (Engin.), <https://orcid.org/0000-0001-5438-1556>

**Oleksandr Sudarykov**, <https://orcid.org/0009-0001-1210-1090>

General Energy Institute of NAS of Ukraine, 172, Antonovycha St., Kyiv, 03150, Ukraine

\*Corresponding author: [malyarenlena@gmail.com](mailto:malyarenlena@gmail.com)

**Abstract.** *The world community strives to develop methods of assessing the most important factors of environmental impact, as well as to develop mechanisms for its adjustment in order to reduce greenhouse gas emissions to the minimum possible level. Increasing environmental efficiency should simultaneously contribute to increasing energy efficiency, which in turn can contribute to increasing the general living standard. When choosing energy-saving measures in industrial technologies, the primary fuel savings and*



the economic effect of the implementation of the up-to-date technologies are taken into account. This effect, as a rule, includes the cost of saved energy resources, a reduction in operating costs and a reduction in environmental tax. The ecological restrictions determined by Ukraine in the 2021 National Determined Contribution should be taken into account for forecasting primary fuel consumption. As a result, this consumption is limited by the greenhouse gas emissions, which in 2030 should not exceed 35 % compared to 1990. The purpose of the study is to upgrade the existing methodology of comprehensive assessment of energy-saving measures with new environmental restrictions and improved performance indicators based on the identification and formalization of the relationship between energy and environmental indicators. The analysis of the existing environmental indicators and regulatory environmental documents made it possible to choose the environmental indicator of specific CO<sub>2</sub> emissions per GDP for the methodology of comprehensive assessment at the country level, to study the regression dependence between this indicator and the fuel capacity of GDP. This graphic analysis allows for determining the marginal fuel capacity of GDP in 2030, which will correspond to the accepted environmental restrictions. Thus, the method of comprehensive assessment of energy-saving measures should be developed for different hierarchical levels of the economy and take into account the marginal fuel capacity of GDP under environmental restrictions.

**Keywords:** GDP energy intensity, specific CO<sub>2</sub> emissions, energy efficiency indicators, ecological restrictions.

## References

1. Development and development of the scientific basis of comprehensive assessment of energy-saving measures, forecasting of economically feasible energy-saving potentials in Ukraine: Report on GDR (final). (2006). General Energy Institute of NAS of Ukraine. DP0104U003065. Kyiv, 240 p. [in Ukrainian].
2. Guidelines for preparing the industrial investment project profile UNIDO. (1991). 85 p.
3. Metodyka rozrakhunku rozmiriv vidshkoduvannia zbytkiv, zapodiianykh derzhavi vnaslidok porushennia zakonodavstva pro okhoronu ta ratsionalne vykorystannia vodnykh resursiv vid 01.06.1995 № 162/698 [in Ukrainian].
4. Metodyka rozrakhunku rozmiriv vidshkoduvannia zbytkiv, yaki zapodiiani derzhavi v rezultati nadnormatyvnykh vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn v atmosferne povitria vid 29.05.1995 № 157/693[in Ukrainian].
5. Metodyka vyznachennia rozmiriv shkody, zumovlenoi zabrudnenniam i zasmichenniam zemelnykh resursiv cherez porushennia pryrodokhoronnoho zakonodavstva vid 05.05.1998 № 285/2725 [in Ukrainian].
6. Bilodid, V.D., Maliarenko, O.Ye., & Stanitsyna, V.V. (2009). Indexes of power efficiency for the estimation of innovations in industrial technologies. *The Problems of General Energy*, 2(20), 45–50. URL: <https://systemre.org/index.php/journal/issue/archive/3> (Last accessed: 10.07.2023) [in Ukrainian].
7. DSTU 3682-98 (GOST 30583-98). Methods of determination of total energy cost of goods, labour and services (1998). Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 11 p. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=55050](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=55050) (Last accessed: 10.07.2023) [in Ukrainian].
8. Maliarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., & Stanytsina, V.V. (2015). Advanced technical approach to identify appropriate energy saving potential in energy-intensive economic activities. *The Problems of General Energy*, 3(42), 23–30 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2015.03.023>
9. Ekolohichni podatok. *Podatkovi kodeks*. Rozdil VIII. URL: <https://tax.gov.ua/nk/rozdil-viii--ekologichniy-poda/> (Last accessed: 10.07.2023) [in Ukrainian].
10. Sudarykov, O. (2022). Analytical review of international documents ratified in Ukraine and national requirements for the operation of equipment that burns organic fuel. *Traditional and innovative approaches to scientific research: theory, methodology, practice: Scientific monograph*. Riga: Baltija Publishing, 135–151 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-241-8>
11. Paris Climate Agreement. *GreenDeal*. URL: <https://greendeal.org.ua/paryzka-klimatychna-ugoda/> (Last accessed: 10.07.2023) [in Ukrainian].
12. Pro Natsionalnyi plan skorochennia vykydiv vid velykykh spaliuvalnykh ustanovok: rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 08.11.2017 r. № 796-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/796-2017-%D1%80#Text> (Last accessed: 10.07.2023) [in Ukrainian].
13. European Green Deal. *Mission of Ukraine to the European Union*. URL: <https://ukraine-eu.mfa.gov.ua/posolstvo/galuzeve-spivrobotnictvo/klimat-yevropejska-zelena-ugoda> (Last accessed: 10.07.2023) [in Ukrainian].
14. Proekt Planu vidnovlennia Ukrainy. Materialy robochoi hrupy "Ekolohichna bezpeka". URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/environmental-safety-assembly.pdf> (Last accessed: 10.07.2023) [in Ukrainian].
15. Pro skhvalennia Onovlenoho natsionalno vyznachenoho vnesku Ukrainy do Paryzkoj uhody: rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30.07.2021 r. № 868-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/868-2021-%D1%80#Text> (Last accessed: 10.07.2023) [in Ukrainian].

16. Іак Україна прагне скоротити викиди парникових газів на 65 % до 2030 року. Огляд. URL: <https://interfax.com.ua/news/greendeal/789109.html> (Last accessed: 10.07.2023) [in Ukrainian].
17. Hsu, A., & Zomer, A. Environmental Performance Index. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat03789.pub2>
18. Maliarenko, O.Ye., & Sudarykov, O.A. (2023, May 18–19). Indicators of environmental and energy efficiency at the country level and their relationship. Renewable energy and energy efficiency in the XXI century. *Materials of the XXIV international scientific and practical conference*. Kyiv: Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine, 147–148 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023>
19. Про міжнародні стандарти та системи екологічного менеджменту. *Ofis stalykh rishen*. URL: <https://ukraine-oss.com/pro-mizhnarodni-standarty-ta-systemy-ekologichnogo-menedzhmentu/> (Last accessed: 10.07.2023) [in Ukrainian].
20. Оtsinka vplyvu na dovkillia. *Sait Ministerstva zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy*. URL: <https://mepr.gov.ua/pro-nas/> (Last accessed: 10.06.2023) [in Ukrainian].
21. Metodyka rozrakhunku rozmiriv vidshkoduvannya zbytkiv, yaki zapodiiani derzhavi v rezultati nadnormatyvnykh vykydiv zabrudniuchykh rehovyn v atmosferne povitria: zatverdzheno nakazom Ministerstva enerhetyky ta zakhystu dovkillia Ukrainy vid 28.04.2020 r. № 277 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0414-20#Text> (Last accessed: 10.07.2023) [in Ukrainian].
22. Typova metodyka vyznachennia pytomykh vykydiv vid osnovnykh vyrobnytstv po haluziakh promyslovosti. Osnovni polozhennia: zatverdzhena zastupnykom Ministra ekolohii ta pryrodnykh resursiv Ukrainy M. Stetsenkom 25.12.2000 r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/n0002556-00#Text> (Last accessed: 10.07.2023) [in Ukrainian].
23. Podolets, R.Z., & Dyachuk, O.A. (2011). Stratehichne planuvannya u palyvno-enerhetychnomu kompleksi na bazi modeli "TIMES-Ukraina": nauk. dop. Kyiv: Institute for economics and forecasting of NAS of Ukraine, 150 p. ISBN 978-966-02-5987-4 [in Ukrainian].
24. Diachuk, O.A., Podolets, R.Z., Serebrennikov, B.S., & Zeleniuk, T.A. (2014). Efektyvnist i ekolohichnist vykorystannia enerhetychnykh resursiv u sviti ta Ukraini. *Ekonomichnyi analiz: zb. nauk. prats. Ternopil'skyi natsionalnyi ekonomichnyi universytet*. (za red. V.A. Deriia). Ternopil: Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr Ternopil'skoho natsionalnoho ekonomichnoho universytetu "Ekonomichna dumka", 15(1), 59–75 [in Ukrainian].
25. Panchenko, H.H. (2012). Metodyka vyznachennia povnoi vuhletsevoiemnosti produktsii, robot ta posluh. *Scientific works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute.*, 263, 107–112 [in Ukrainian].
26. Oktay, Ö., Obekpa, H. O., & Alola, A. A. (2023). Examining the nexus of energy intensity, renewables, natural resources, and carbon intensity in India. *Energy & Environment*. <https://doi.org/10.1177/0958305X231169706>
27. Goldemberg, J. (2020). The evolution of the energy and carbon intensities of developing countries. *Energy Policy*, 137, 111060. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111060>
28. Ahmad, M., & Wu, Y. (2022). Natural resources, technological progress, and ecological efficiency: does financial deepening matter for G-20 economies? *Resour Policy*, 77, 102770. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102770>
29. Holdren, J. P., & Ehrlich, P. R. (1974). Human population and the global environment: population growth, rising per capita material consumption, and disruptive technologies have made civilization a global ecological force. *American Scientist*, 62, 282–292.
30. York, R., Rosa, E. A., & Dietz, T. (2003). STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*, 46(3), 351–365. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5)
31. Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289–326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
32. Iwata, H., Okada, K., & Samreth, S. (2012). Empirical study on the determinants of CO2 emissions: evidence from OECD countries. *Applied Econometrics*, 44(27), 3513–3519. <https://doi.org/10.1080/00036846.2011.577023>
33. Solarin, S. A. (2014). Tourist arrivals and macroeconomic determinants of CO2 emissions in Malaysia. *Anatolia*, 25(2), 228–241. <https://doi.org/10.1080/13032917.2013.868364>
34. Ali, H. S., Abdul-Rahim, A. S., & Ribadu, M. B. (2017). Urbanization and carbon dioxide emissions in Singapore: evidence from the ARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(2), 1967–1974. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7935-z>
35. Baloch, M. A., & Suad, S. (2018). Modeling the impact of transport energy consumption on CO2 emission in Pakistan: evidence from ARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(10), 9461–9473. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1230-0>
36. Neves, S. A., Marques, A. C., & Patrício, M. (2020). Determinants of CO2 emissions in European Union countries: does environmental regulation reduce environmental pollution? *Economic Analysis and Policy*, 68, 114–125.
37. Rahman, H. U., Ghazali, A., & Bhatti, G. A. (2020). Role of economic growth, financial development, trade, energy and FDI in environmental Kuznets curve for Lithuania: evidence from ARDL bounds testing approach. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 31(1), 39–49. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.31.1.22087>
38. Adebayo, T. S., & Kalmaz, D. B. (2021). Determinants of CO2 emissions: empirical evidence from Egypt. *Environmental and Ecological Statistics*, 28(5), 239–262. <https://doi.org/10.1007/s10651-020-00482-0>

39. Hatmanu, M., Cautisanu, C., & Iacobuta, A. O. On the relationships between CO2 emissions and their determinants in Romania and Bulgaria. An ARDL approach. *Applied Economics*, 54(22), 2582–2595. <https://doi.org/10.1080/00036846.2021.1998328>
40. Jordan, S., & Philips, A. Q. (2018). Cointegration testing and dynamic simulations of autoregressive distributed lag models. *The Stata Journal Promoting communications on statistics and Stata*, 18(4), 902–923. <https://doi.org/10.1177/1536867X1801800409>
41. National Inventory Submissions 2022. *United Nations Climate Change*. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/national-inventory-submissions-2022>. (дата звернення: 10.07.2023) (Last accessed: 10.07.2023).
42. Natsionalni rakhunky. *Holovne upravlinnia statystyky u Kharkivskii oblasti*. URL: <http://kh.ukrstat.gov.ua/index.php/natsionalni-rakhunky-stat> (Last accessed: 30.07.2023) [in Ukrainian].
43. Maliarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., & Horskyi, V.V. (2021). Forecast of fuel and coal consumption in Ukraine until 2040 by a complex method of forecasting energy consumption. *The Problems of General Energy*, 3(66), 28–35 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2021.03.028>
44. Kulyk, M.M., Maliarenko, O.E., Maistrenko, N.Yu., Stanitsyna, V.V., & Kuts, G.O. (2021). Energy efficiency and forecasting of energy consumption at different hierarchical levels of the economy: methodology, forecast estimates until 2040. Kyiv, "Naukova dumka", 234 p. ISBN 978-966-00-1739-9 [in Ukrainian].

*Надійшла до редколегії:* 14.09.2023