



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

DOI: <http://doi.org/10.32702/2307-2105.2026.2.24>

УДК 338.26+621.1

О. М. Теліженко,

д. е. н., професор, головний науковий співробітник кафедри економічної кібернетики, Сумський державний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9864-4098>

М. І. Сотник,

д. т. н., професор, завідувач кафедри прикладної гідроаеромеханіки, Сумський державний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4761-8161>

Д. О. Смоленніков,

к. е. н., доцент, доцент кафедри управління імені Олега Балацького, Сумський державний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8418-051X>

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОЄКТІВ РОЗПОДІЛЕНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА МУНІЦИПАЛЬНОМУ РІВНІ¹

¹ Стаття підготовлена в рамках виконання наукового гранту IZURZ1_224119, що фінансується Швейцарським національним науковим фондом (SNNF).

O. Telizhenko,

Doctor of Economic Science, Professor, Chief Scientist, Department of Economic Cybernetics, Sumy State University

M. Sotnyk,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Hydro-Aeromechanics, Sumy State University

D. Smolennikov

PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management named after Oleg Balatsky, Sumy State University

**INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT FOR THE ASSESSMENT
AND FORECASTING OF ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC
INDICATORS OF DISTRIBUTED ENERGY SUPPLY PROJECTS AT THE
MUNICIPAL LEVEL**

Стаття присвячена розробці аналітичного інструментарію для оцінювання еколого-економічного впливу проєктів розподіленої генерації енергії в українських муніципалітетах в умовах воєнних загроз. Розроблено трьохетапну методичну базу оцінки еколого-економічних показників, що передбачає розрахунок валових викидів забруднюючих речовин в атмосферу, прогнозування екологічного податку та оцінку еколого-економічного збитку від забруднення атмосферного повітря. Встановлено аналітичні залежності питомих еколого-економічних збитків від теплової потужності для різних типів обладнання в умовах Сумської області. Розраховані обсяги питомих еколого-економічних збитків та розміри екологічного податку для типових установок. Розроблене інформаційно-аналітичне забезпечення надає органам місцевого самоврядування та енергокомпаніям практичні інструменти для обґрунтування проєктів розподіленої генерації, розроблення місцевих енергетичних планів та порівняння альтернативних варіантів енергозабезпечення.

The research addresses the challenge of developing analytical tools for evaluating environmental and economic impacts of distributed generation projects in Ukrainian municipalities under wartime conditions. A three-stage methodological framework has been developed for assessing environmental and economic indicators: calculating gross emissions of pollutants into the atmosphere; forecasting environmental tax obligations; estimating environmental and economic damage from air pollution. The study derives practical relationships between equipment thermal capacity and specific environmental and economic losses using industry standard techniques and Ukraine's Tax Code requirements.

Analytical dependencies of specific environmental and economic losses on thermal power have been established for different equipment types in Sumy oblast. For gas reciprocating cogeneration units (140–700 kW), an exponential relationship has been obtained ($R^2 = 0,9545$), while for low-power units (40–120 kW) a logarithmic relationship is demonstrated ($R^2 = 0,724$). Block-modular boiler houses (486–1458 kW) demonstrate the highest approximation accuracy with a logarithmic dependency ($R^2 = 0,9772$). Calculation results for real projects show that specific environmental and economic losses for cogeneration units range from 136 to 160 UAH/kW, while for boiler houses from 99 to 126 UAH/kW. Environmental tax liability for a typical 600 kW cogeneration unit reaches approximately 42,9 thousand UAH per heating season.

The research encompasses cogeneration units, block-modular boiler houses, and gas generators for various facility categories including heat supply points, medical institutions, and residential buildings. The developed information-analytical support provides practical tools for municipal authorities and energy companies to substantiate distributed generation projects, develop local energy plans, and compare alternative energy supply scenarios. Future research directions include expanding equipment analysis to renewable energy sources, integrating spatial placement analysis using GIS technologies, developing socio-economic impact assessment methodologies, and creating unified information platforms for municipal energy planning.

Ключові слова: розподілена генерація енергії, еколого-економічне оцінювання, когенераційні установки, екологічний податок, аналітичні залежності, енергетична безпека.

Keywords: distributed energy generation, environmental and economic assessment, cogeneration units, environmental tax, analytical dependencies, energy security.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. В умовах воєнних загроз особливого значення набуває розподілена генерація, яка має розглядатись як комплексна стратегія, що забезпечує економічну ефективність, енергетичну безпеку та екологічність. Вона дає громадам можливість знизити залежність від централізованих мереж, зменшити витрати на енергоресурси, забезпечити стабільність у критичних ситуаціях, знизити викиди CO_2 та забезпечити досягнення кліматичних цілей [1]. Слід зазначити, що тенденція розвитку систем розподіленої генерації є загальноєвропейською. Так станом на 2024 рік розмір європейського ринку розподіленої генерації енергії оцінювався у 132,4 млрд. доларів США, а в 2025 році, – 216,6 млрд. доларів США. Прогнозується, що середньорічний темп зростання в період з 2025 року по 2033 рік становитиме 5,62% [2]. Такі тенденції, зокрема в країнах Європейського Союзу, багато в чому, стали можливими завдяки прийняттю Директиви 2003/54 ЄС [3].

З прийняттям нормативно-правових актів [4 - 6] суттєво спрощено процедури проектування, будівництва, передачі електричної енергії, надання послуг з диспетчерського (оперативно-технічного) управління, врегулювання небалансів електричної енергії та ін. Вказані нормативні документи передбачають розробку техніко-економічного обґрунтування проєктів розподіленої генерації, розробку відповідних комплексних цільових програм та місцевих енергетичних планів [7].

В роботі [8] нами були запропоновані методичні підходи до формування інформаційно-аналітичної системи оцінювання та прогнозування інвестицій в проекти децентралізованого виробництва енергії на основі когенераційних установок. Були отримані залежності питомих капітальних витрат від встановленої електричної потужності та технологічних характеристик енергогенеруючого обладнання для різних об'єктів, зокрема, газопоршневих когенераційних установок, блочно-модульних котелень для відокремлених (локальних) муніципальних котелень, лікувальних закладів та багатоповерхових житлових будинків.

Стосовно врахування еколого-економічних обмежень будівництва об'єктів розподіленої генерації існуючі нормативно-правові документи містять певні особливості. Так, визначення необхідності оцінки впливу на довкілля для об'єктів та видів діяльності, має здійснюватися суб'єктом господарювання з урахуванням вимог [9]. В додатку 1 (пункт 2) до вказаної Постанови зазначається: «Оцінці впливу на довкілля не підлягає планована діяльність, визначена пунктами 1-21 частини другої та пунктами 1-13 частини третьої статті 3 Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» [10], у разі, коли вона спрямована виключно на забезпечення оборони та *енергетичної безпеки держави*, ліквідацію наслідків надзвичайних ситуацій, наслідків військової агресії російської федерації проти України, а саме діяльність з:

1⁻¹) будівництва повітряних ліній електропередачі напругою 220 кВ і більше та підстанцій напругою 330 кВ і більше у період воєнного стану, а також *розміщення у період воєнного стану мобільних генеруючих установок ...*».

Разом з тим, в пункті 3 Постанови [5] зазначається: «Суб'єктам господарювання, що здійснили будівництво та/або розміщення газопоршневих та газотурбінних установок, зокрема когенераційних, блочно-модульних котелень, дизельних/бензинових та газових генераторів, ... протягом 24 місяців після завершення такого будівництва та/або розміщення, але не пізніше ніж через шість місяців після припинення чи скасування

воєнного стану забезпечити ... розроблення та затвердження проектної документації, отримання звіту про результати проведення експертизи проектної документації на будівництво об'єкта, сертифіката про прийняття в експлуатацію закінченого будівництвом об'єкта відповідно до законодавства». Слід, також, звернути увагу на урядовий проєкт Закону [11], яким передбачається вилучити положення про можливість реалізовувати проєкти без належних екологічних процедур.

Закон [12] відкоригував положення Податкового Кодексу України. Так, з 1 січня 2022 року по 31 грудня того року, в якому буде припинено чи скасовано воєнний стан, не нараховується та не сплачується екологічний податок його платниками, які зареєстровані (взяті на облік) за місцем розміщення стаціонарних джерел забруднення [13].

Наведені правові норми актуалізують задачу еколого-економічної оцінки проєктів впровадження розподіленої генерації враховуючи, перш за все, з урахуванням фактору безпосереднього розміщення таких установок в зонах житлової забудови.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Слід погодитися з авторами роботи [14], які зазначають, що системний аналіз економічних та екологічних оцінок впровадження проєктів когенераційних установок, які використовуються в житлових, комерційних та промислових будівлях, в науковій літературі відсутній. Автори, на основі дослідження роботи релевантних когенераційних систем, що встановлені в різних будівлях, запропонували комплексний підхід до їх оцінки з економічної та екологічної точок зору.

Загальні науково-методичні підходи до оцінки та прогнозування розвитку відновлюваної енергетики України в умовах війни наведені в роботі [15]. Автори, на системному рівні, визначають ключові стратегії та сценарії післявоєнної відбудови енергетичного сектору з акцентом на «зелені» технології в тому числі на основі концепції розподіленої генерації.

Слід зазначити, що у науковій літературі досліджуються окремі еколого-економічні аспекти впровадження розподіленої генерації: використання різних видів палива, зменшення викидів парникових газів, питання просторового розміщення об'єктів розподіленої генерації, вплив технологічних параметрів (гібридні системи) на навколишнє середовище.

Так, поряд з питаннями управління регулюванням напруги та вирішення проблем якості електроенергії, автори роботи [16] досліджують проблему визначення оптимальних місць для встановлення установок розподіленої генерації у населених пунктах. В роботі [17] наведені результати енергетичної, економічної та екологічної оцінки когенераційних установок на основі біомаси, які інтегровані в систему централізованого теплопостачання. В роботі [18] оцінюється доцільність та ефективність гібридної системи відновлюваної енергії (HRES). Досліджувана система включає фотоелектричну електростанцію, вітрові турбіни, дизельний генератор, гідроакумулятор та систему акумуляторного накопичення енергії. Автори вказують, що різні конфігурації системи забезпечують значні екологічні переваги, зменшуючи викиди CO_2 в порівнянні з системою на основі дизельного палива. Автори роботи [19] зазначають, що розподілені енергетичні системи набувають популярності в різних країнах завдяки їх перспективному застосуванню в енергетичній та екологічній сферах, особливо з огляду на сучасні імперативи енергозбереження, скорочення викидів та впровадження відповідної політики.

У цій статті наведено ретроспективний аналіз останніх досліджень, проводиться систематичний класифікований та статистичний огляд впроваджень, а також містяться ґрунтовні рекомендації щодо перспективи розвитку розподілених енергетичних систем.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Розробка інформаційно-аналітичного забезпечення оцінки потенційного впливу на навколишнє середовище систем розподіленої генерації (когенераційні установки, блочно-модульні котельні, газові електрогенератори) та оцінки

потенційного еколого-економічного збитку від забруднення атмосферного повітря при експлуатації вказаних джерел.

Виклад основного матеріалу дослідження. Оцінка еколого-економічних показників проєктів розподіленої генерації складається із трьох взаємопов'язаних етапів: оцінка викидів забруднюючих речовин; прогнозування екологічного податку; прогнозування еколого-економічного збитку.

Оцінка викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Оцінка викидів здійснюється у відповідності до «Галузевої методики...» [20], у відповідності до п. 4 якої визначення валових викидів забруднюючих речовин при спалюванні газу в котлах комунального сектору здійснюється на основі розрахунку показника емісії забруднюючої речовини. Показник емісії характеризує масову кількість забруднюючої речовини, яка викидається теплосиловою установкою в атмосферне повітря разом з димовими газами, віднесено до одиниці енергії, що виділяється під час згоряння палива.

Валовий викид j -ї забруднюючої речовини E_j , t , що надходить у атмосферу з димовими газами теплосилової установки за проміжок часу P , визначається як сума валових викидів цієї речовини під час спалювання різних видів палива, у тому числі під час їх одночасного спільного спалювання:

$$E_j = \sum_i E_{ji} = 10^{-6} \cdot \sum_i k_{ji} \cdot B_i \cdot (Q_i^r)_i, \quad (1)$$

де E_{ji} – валовий викид j -ї забруднюючої речовини під час спалювання i -го палива за проміжок часу P , t ; k_{ji} – показник емісії j -ї забруднюючої речовини для i -го палива, $г/ГДж$; B_i – витрата i -го палива за проміжок часу P , t ; $(Q_i^r)_i$ – нижча робоча теплота згоряння i -го палива, $МДж/кг$ (для природного газу – $45,47 МДж/кг$).

Витрати природного газу(в тонах) за проміжок часу P (за опалувальний сезон) визначаються по формулі:

$$B_{\text{газ}} = \frac{V \cdot \rho}{1000}, \quad (2)$$

де V – сукупне використання газу на відповідному генеруючому об'єкті (відокремлена котельня, ЦТП, лікувальний заклад, житловий будинок) встановленим обладнанням (газопоршнева когенераційна установка, блочно-модульна газова котельня, газовий генератор), м. куб.; ρ – густина природного газу: 0,723 кг/м³.

В табл. 1 наведені дані про показники емісії забруднюючих речовин при спалюванні природного газу k_{ji} та питомі показники викидів, розраховані на основі формул (1) та (2).

Таблиця 1. Питомі показники викидів забруднюючих речовин в атмосферу при спалюванні природного газу

№	Забруднююча речовина	Показник емісії забруднюючих речовин, г/ГДж	Питомі викиди, т/т спожитого газу
1	Діоксид азоту NO_2	64,311	0,002944
2	Оксид азоту N_2O	0,1	0,0000043
3	Оксид вуглецю CO	248,75	0,01138
4	Метан CH_4	1,0	0,000043
5	Діоксид вуглецю CO_2	58748,13	2,69

Джерело: сформовано на основі [20], авторська розробка.

В табл. 2. наведені розрахунки обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферу, які проводились в рамках техніко-економічного обґрунтування упровадження розподіленої генерації та забезпечення резервування джерелами енергії об'єктів теплоспоживання Сумської міської територіальної громади.

Таблиця 2. Викиди забруднюючих речовин в атмосферу

№	Марка основного та допоміжного обладнання	Використано газу за опалювальний сезон		Викиди забруднюючих речовин в атмосферу, т/за опалювальний сезон				
		м. куб.	тонн	Діоксид азоту NO_2	Оксид азоту N_2O	Оксид вуглецю CO	Метан CH_4	Діоксид вуглецю CO_2
Відокремлені котельні (когенераційні установки)								
1	PowerLink TCG600-NG	665500,0	481,2	1,42	0,0021	5,48	0,021	1289,6
2	PowerLink CG270-NG	316600,0	228,9	0,67	0,00098	2,61	0,0098	615,7
3	PowerLink CG150-NG	181400,0	131,2	0,39	0,00056	1,49	0,0056	352,9
4	PowerLink CG100-NG	130200,0	94,1	0,28	0,00041	1,07	0,0041	253,1
5	PowerLink CG75-NG	93100,0	67,3	0,20	0,00029	0,77	0,0029	181,0
6	PowerLink CG50-NG	65400,0	47,3	0,14	0,00021	0,49	0,0021	127,2
7	PowerLink ACG20S-NG	33400,0	24,1	0,07	0,00010	0,27	0,0010	64,8
Лікувальні заклади (когенераційні установки)								
8	PowerLink CG220-NG	273600,0	171,8	0,51	0,00074	1,96	0,0074	462,1
9	PowerLink CG150-NG	181400,0	131,2	0,39	0,00056	1,49	0,0056	352,9
10	PowerLink CG100-NG	130200,0	94,1	0,28	0,00041	1,07	0,0041	253,1
Лікувальні заклади (блочно-модульні котельні)								
11	Transexpress TE 1350-Б Генератори: Generac SG 028, Generac SG 080	846800,0 ²	612,2	1,80	0,0026	6,97	0,026	1646,8
12	Transexpress TE 675-Б Генератори: Generac SG 028, Generac SG 056	468100,0	346,6	1,02	0,0015	3,94	0,015	932,4
13	Transexpress TE 450-Б Генератори: Generac SG 028, Generac SG 104	360300,0	260,5	0,77	0,0011	2,96	0,011	700,7
14	Transexpress TE 675-Б Генератори: Generac SG 028, Generac SG 056	315000,0	227,7	0,67	0,00098	2,59	0,0098	612,5
Житлові будинки (блочно-модульні котельні) ³								
15	Житловий будинок: 9 поверхів, 11 під'їздів. Transexpress TE 1350-Б Генератор Generac SG 028	752700,0	544,2	1,60	0,0023	6,19	0,023	1463,9
16	Житловий будинок: 5 поверхів, 4 під'їзди. Колві KM-2-600-500Д Генератор Generac SG 028	361900,0	261,7	0,77	0,0011	2,98	0,011	703,9
17	Житловий будинок: 14 поверхів, 1 під'їзд. Transexpress TE 450-Б Генератор Generac SG 028	276600,0	199,9	0,59	0,00086	2,27	0,0086	537,7

Джерело: авторська розробка.

Прогнозування екологічного податку за викиди забруднюючих речовин в атмосферу. Ставки податку за викиди в атмосферне повітря азоту оксидів (NO_2 , N_2O) та вуглецю окису (CO) визначаються на основі п. 243.1, а вуглецю двоокису (CO_2) на основі п. 243.4 «Податкового кодексу України» [21].

² По лікувальних закладах використання газу розраховується як сума = використання газу блочно-модульною котельнею + використання газу технологічним газовим електрогенератором + використання газу резервним газовим електрогенератором).

³ Для забезпечення роботи блочно-модульної котельні в житловому будинку вона комплектується газовим електрогенератором. Вироблена електроенергія використовується суто для технологічних потреб.

Розрахункове значення податку на викиди забруднюючих речовин наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Розрахункове значення податку на викиди забруднюючих речовин в атмосферу

№	Марка основного та допоміжного обладнання	Ставка податку на викиди азоту оксидів (NO_2 , N_2O): 2574,43, грн./т		Ставка податку на викиди вуглецю окису (CO): 96,99, грн./т		Ставка податку на викиди вуглецю двоокису (CO_2): 30,0, грн./т		Сумарний податок, грн.
		Викиди, т	Податок, грн.	Викиди, т	Податок, грн.	Викиди, т	Податок, грн.	
Відокремлені котельні (когенераційні установки)								
1	PowerLink TCG600-NG	1,42210	3661,1	5,48	531,5	1289,6	38688,0	42 880,6
2	PowerLink CG270-NG	0,67098	1727,4	2,61	253,1	615,7	18471,0	20 452,5
3	PowerLink CG150-NG	0,39056	1005,0	1,49	144,5	352,9	10587,0	11 736,5
4	PowerLink CG100-NG	0,28041	721,9	1,07	103,8	253,1	7593,0	8 418,7
5	PowerLink CG75-NG	0,20029	515,6	0,77	74,7	181,0	5430,0	6 020,3
6	PowerLink CG50-NG	0,14021	360,9	0,49	47,5	127,2	3816,0	4 224,4
7	PowerLink ACG20S-NG	0,07010	180,5	0,27	26,2	64,8	1944,0	2 150,7
Лікувальні заклади (когенераційні установки)								
8	PowerLink CG220-NG	0,51074	1314,9	1,96	190,1	462,1	13863,0	15 368,0
9	PowerLink CG150-NG	0,39056	1005,5	1,49	144,5	352,9	10587,0	11 736,5
10	PowerLink CG100-NG	0,28041	721,9	1,07	103,8	253,1	7593,0	8 418,7
Лікувальні заклади (блочно-модульні котельні)								
11	Transexpress TE 1350-Б Генератори: Generac SG 028, Generac SG 080	1,8026	4640,7	6,97	676,0	1646,8	49404,0	54 720,7
12	Transexpress TE 675-Б Генератори: Generac SG 028, Generac SG 056	1,0215	2629,8	3,94	382,1	932,4	27972,0	30 983,9
13	Transexpress TE 450-Б Генератори: Generac SG 028, Generac SG 104	0,7711	1985,1	2,96	287,1	700,7	21021,0	23 293,2
14	Transexpress TE 675-Б Генератори: Generac SG 028, Generac SG 056	0,6710	1727,4	2,59	251,2	612,5	18375,0	20 353,6
Житлові будинки (блочно-модульні котельні)								
15	Житловий будинок: 9 поверхів, 11 під'їздів. Transexpress TE 1350-Б Генератор Generac SG 028	1,6023	4125,0	6,91	670,2	1463,9	43917,0	48 712,2
16	Житловий будинок: 5 поверхів, 4 під'їзди. Колві KM-2-600-500Д Генератор Generac SG 028	0,7711	1985,2	2,98	289,0	703,9	21117,0	23 391,2
17	Житловий будинок: 14 поверхів, 1 під'їзд. Transexpress TE 450-Б Генератор Generac SG 028	0,5909	1521,2	2,27	220,2	537,7	16131,0	17 872,4

Джерело: авторська розробка.

Експрес-метод оцінки еколого-економічного збитку від забруднення атмосферного повітря. Для стаціонарних джерел викидів забруднюючих речовин або суміші таких речовин, розмір відшкодування шкоди у вартісній формі розраховується за формулою:

$$B = Y \cdot k, \quad (3)$$

де B – розмір відшкодування шкоди, грн.; Y – розмір еколого-економічного збитку, заподіяного порушенням законодавства про охорону атмосферного повітря, грн.; k – коефіцієнт, що визначає частку відшкодування заподіяного еколого-економічного збитку, ($k = 0 \dots 1$).⁴

Оцінка еколого-економічного збитку від забруднення атмосферного повітря експрес-методом визначається за формулою:

$$Y = k_{\text{інд}} \cdot \sum_{j=1}^m y_j \cdot m_j, \quad (4)$$

де y_j – питомий еколого-економічний збиток від забруднення атмосфери, грн. /ум. т (показники питомого збитку на 1 умовну тонну забруднюючої речовини приведені в табл. 4); j – число найменувань забруднюючих речовин ($j = 1 \dots m$); m_j – приведена маса викидів забруднюючих речовин, умовні тонни; $k_{\text{інд}}$ – коефіцієнт індексації питомого еколого-економічного збитку (приймається на основі офіційних даних Кабінету Міністрів України).

Перерахунок натуральних фізичних тонн забруднюючих речовин в умовні здійснюється за формулою:

$$m_j = M_j \cdot A_j \quad (5)$$

де M_j – маса викиду j -ої забруднюючої речовини, т; A_j – коефіцієнт відносної агресивності j -ої забруднюючої речовини, безрозмірний (приймається у відповідності до табл. 5).

⁴ Встановлюється органами державного управління в галузі охорони атмосферного повітря, а саме, спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології і природних ресурсів, спеціально уповноваженими центральними органами виконавчої влади з питань охорони здоров'я, Радою міністрів Автономної Республіки Крим, місцевими державними адміністраціями, іншими центральними і місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування.

Таблиця 4. Показники питомого еколого-економічного збитку (y_j) від забруднення атмосферного повітря в розрахунку на одиницю викиду (база розрахунків – 01.01.2026 р.)

Область	Питомий збиток на одиницю викиду, грн / ум. т	Область	Питомий збиток на одиницю викиду, грн / ум. т
АР Крим	1480,0	Миколаївська	1517,0
Вінницька	992,0	Одеська	2977,0
Волинська	1165,0	Полтавська	1837,0
Дніпропетровська	2517,0	Рівненська	1074,0
Донецька	1542,0	Сумська	1378,0
Житомирська	1320,0	Тернопільська	984,0
Закарпатська	927,0	Харківська	1468,0
Запорізька	1960,0	Херсонська	1837,0
Івано-Франківська	804,0	Хмельницька	1230,0
Київська	5010,0	Черкаська	1271,0
Кіровоградська	1230,0	Чернівецька	1361,0
Луганська	1509,0	Чернігівська	1591,0
Львівська	1230,0		

Джерело: авторська розробка.

Таблиця 5. Коефіцієнт відносної агресивності (A_j) найбільш розповсюджених забруднюючих речовин для енергогенеруючих установок

№ п/п	Найменування забруднюючої речовини	Коефіцієнт відносної агресивності
Тверді домішки (аерозолі)		
1	Зола донецького вугілля	1,85
2	Пил графітовий, вуглець технічний, сажа	1,80
3	Пил кам'яновугільний	1,80
Рідкі та газоподібні домішки		
4	Азоту двоокис, недиференційовані оксиди азоту	3,10
5	Метан	0,70
6	Вуглеводні, недиференційовані за складом	0,50
7	Вуглецю оксид	0,06
8	Азоту оксид	0,83

Джерело: сформовано на основі [20]

З використанням формул (4) та (5) на основі інформації, наведеної в табл. 2, 4 були проведені розрахунки еколого-економічних збитків при впровадженні газопоршневих когенераційних установок та блочно-модульних котелень для окремих об'єктів Сумської територіальної громади. В якості прикладу застосування експрес-методу розрахунку були враховані викиди діоксиду азоту та діоксиду вуглецю, як такі, які в найбільшій мірі впливають на формування еколого-економічних збитків (табл. 6).

Таблиця 6. Показники еколого-економічних збитків від забруднення атмосферного повітря

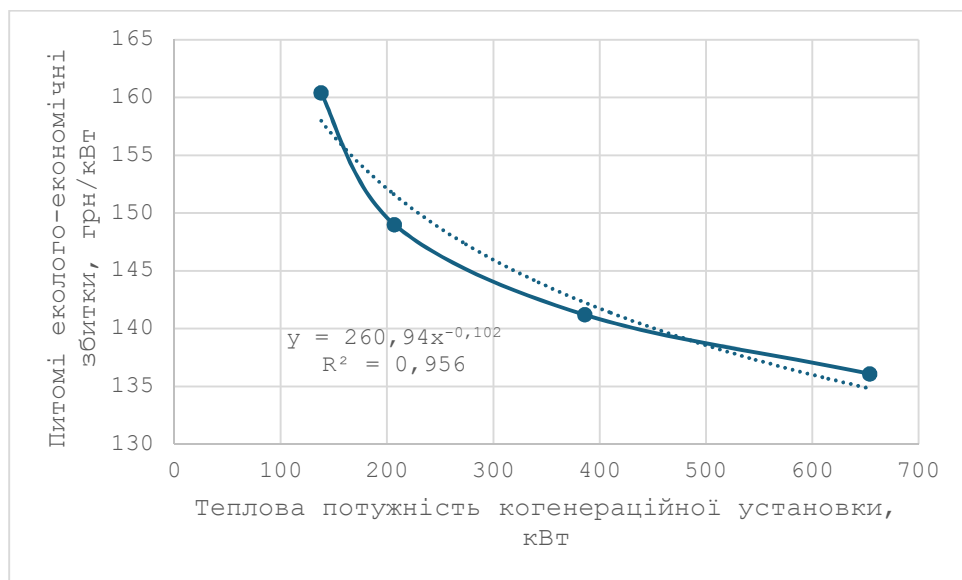
№	Марка основного та допоміжного обладнання	Показники		Викиди забруднюючих речовин в атмосферу за опалувальний сезон				Еколого-економічні збитки, грн/опал. сезон
		Теплова потужність, кВт	Питомі збитки, грн/кВт	Діоксид азоту NO_2		Діоксид вуглецю CO_2		
				т	ум. т	т	ум. т	
Відокремлені котельні (когенераційні установки)								
1	PowerLink TCG600-NG	654,0	136,1	1,42	4,40	1289,6	77,38	106634,0
2	PowerLink CG270-NG	386,0	141,2	0,67	2,60	615,7	36,94	54486,1
3	PowerLink CG150-NG	207,0	149,0	0,39	1,21	352,9	21,17	30839,6
5	PowerLink CG100-NG	138,0	160,4	0,28	0,87	253,1	15,19	22130,7
6	PowerLink CG75-NG	106,0	149,2	0,20	0,62	181,0	10,86	15819,4
8	PowerLink CG50-NG	73,0	152,1	0,14	0,43	127,2	7,63	11106,7
9	PowerLink ACG20S-NG	46,0	123,1	0,07	0,22	64,8	3,89	5633,6
Лікувальні заклади (блочно-модульні котельні)								
10	Transexpress TE 1350-Б Генератори: Generac SG 028, Generac SG 080	1458,0	98,6	1,80	5,58	1646,8	98,8	143835,6
11	Transexpress TE 675-Б Генератори: Generac SG 028, Generac SG 056	725,0	112,3	1,02	3,16	932,4	55,98	81439,8
12	Transexpress TE 450-Б Генератори: Generac SG 028, Generac SG 104	486,0	125,8	0,77	2,34	700,7	42,0	61169,4
13	Transexpress TE 675-Б Генератори: Generac SG 028, Generac SG 056	486,0	125,8	0,67	2,34	612,5	42,0	61169,4

Джерело: авторська розробка.

На основі даних, наведених в табл. 6 були отримані аналітичні залежності питомих еколого-економічних збитків від теплової потужності енергогенеруючих установок (рис. 1 – 3) які можуть бути використані при оцінці еколого-економічних показників впровадження проєктів розподіленої генерації в громадах, розробці цільових комплексних програм енергозабезпечення та ін.

На основі проведених розрахунків встановлено аналітичні залежності питомих еколого-економічних збитків від теплової потужності енергогенеруючих установок. Для когенераційних установок потужністю 140–700 кВт отримана експоненціальна залежність ($R^2 = 0,9545$), для малопотужних установок (40–120 кВт) — логарифмічна ($R^2 = 0,724$). Найбільш точну апроксимацію забезпечують блочно-модульні котельні потужністю 486–1458 кВт з логарифмічною залежністю ($R^2 = 0,9772$).

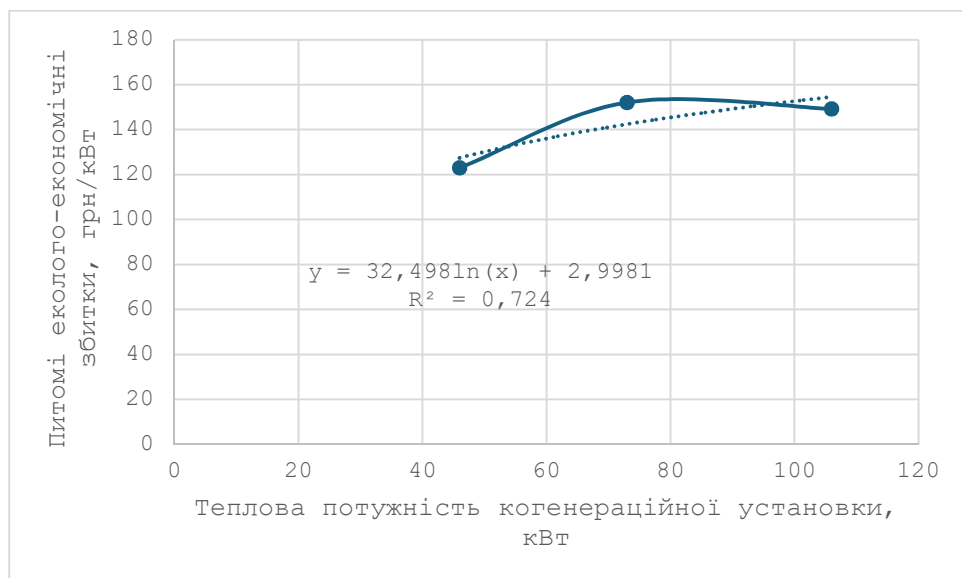
Досліджені залежності дозволяють надійно прогнозувати еколого-економічні показники і обґрунтовувати інвестиційні рішення щодо впровадження децентралізованих енергетичних систем.



$$y = 260,94x^{-0,102}, R^2 = 0,9545 \quad (6)$$

де: y – питомі еколого-економічні збитки, грн/кВт; x – теплова потужність когенераційної установки, кВт.

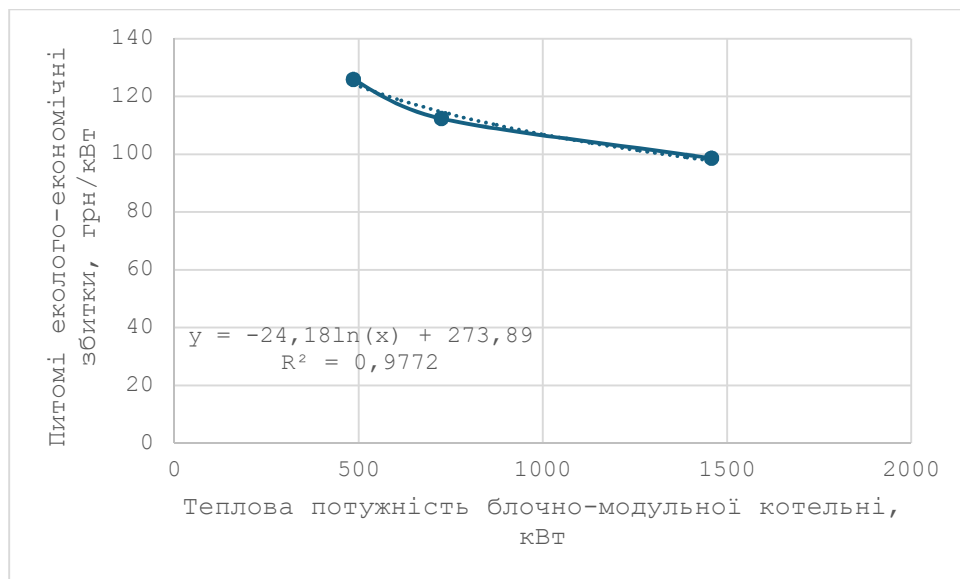
Рис. 1. Залежність питомих еколого-економічних збитків від теплової потужності газопоршневих когенераційних установок в інтервалі 140-700 кВт (для умов Сумської області)



$$y = 32,498 \ln(x) + 2,9981, R^2 = 0,724, \quad (7)$$

де: y – питомі еколого-економічні збитки, грн/кВт; x – теплова потужність когенераційної установки, кВт.

Рис. 2. Залежність питомих еколого-економічних збитків від теплової потужності газопоршневих когенераційних установок в інтервалі 40-120 кВт (для умов Сумської області)



$$y = -24,18 \ln(x) + 273,89, R^2 = 0,9772, \quad (8)$$

де: y – питомі еколого-економічні збитки, грн/кВт; x – теплова потужність блочно-модульної котельні, кВт.

Рис. 3. Залежність питомих еколого-економічних збитків від теплової потужності блочно-модульних котелень (для умов Сумської області)

Висновки та перспективи подальших розвідок у даному напрямі.

Проведене дослідження дозволило розробити комплексне інформаційно-аналітичне забезпечення для оцінювання та прогнозування еколого-економічних показників проєктів розподіленого енергозабезпечення на муніципальному рівні. Встановлено, що оцінка еколого-економічних показників проєктів розподіленої генерації має складатися з трьох взаємопов'язаних етапів: розрахунку валових викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, прогнозування розмірів екологічного податку та оцінки еколого-економічного збитку від забруднення атмосфери.

Розроблено методичну базу для розрахунку викидів забруднюючих речовин при спалюванні природного газу у газопоршневих когенераційних установках, блочно-модульних котельнях та газових електрогенераторах. Виявлено суттєву залежність питомих еколого-економічних збитків від теплової потужності обладнання: для когенераційних установок потужністю 140-700 кВт отримана експоненціальна залежність ($R^2 = 0,9545$), для блочно-модульних котелень – логарифмічна залежність ($R^2 = 0,9772$). Розраховані конкретні показники для проєктів Сумської міської територіальної громади

демонструють, що питомі еколого-економічні збитки для когенераційних установок коливаються в межах 136-160 грн/кВт, а для блочно-модульних котелень – 99-126 грн/кВт.

Встановлено, що екологічний податок за викиди забруднюючих речовин становить значну частину еколого-економічних витрат проєктів: для типової когенераційної установки потужністю 600 кВт він складає близько 42,9 тис. грн за опалувальний сезон. Нормативно-правова база України суттєво спрощує процедури проєктування та розміщення систем розподіленої генерації, однак виявлено суперечливість законодавства щодо екологічних процедур у період воєнного стану та після його припинення. Розроблене інформаційно-аналітичне забезпечення може бути практично застосоване при розробці місцевих енергетичних планів, обґрунтуванні доцільності конкретних проєктів та порівняльному аналізі альтернативних варіантів енергозабезпечення.

Перспективні напрями подальших розвідок включають розширення номенклатури енергогенеруючого обладнання за рахунок відновлювальних джерел енергії, інтеграцію просторового аналізу розміщення установок з використанням ГІС-технологій та розроблення комплексної оцінки соціально-економічного впливу проєктів. Важливим є розроблення прогностичних моделей на основі методів машинного навчання, аналіз ефектів масштабування розподіленої генерації та дослідження міжнародного досвіду регулювання у країнах ЄС та США.

Результати дослідження мають важливе практичне значення для розвитку розподіленої генерації енергії в Україні в умовах воєнних загроз та структурної трансформації енергетичного сектору. Розроблене інформаційно-аналітичне забезпечення надає органам місцевого самоврядування та енергокомпаніям науково обґрунтовані інструменти для прийняття рішень щодо впровадження децентралізованих систем енергозабезпечення, які поєднують економічну ефективність, енергетичну безпеку та екологічну відповідальність.

Література

1. Розподілена генерація – основа енергетично незалежних громад / Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <https://saee.gov.ua/news/rozpodilena-heneratsiia-osnova-enerhetychno-nezalezhnykh-hromad> (дата звернення: 26.01.2026).
2. Europe Distributed Energy Generation Market Report URL: <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/europe-distributed-energy-generation-market> (дата звернення: 26.01.2026).
3. Directive 2003/54/EC of the European Parliament and of the Council of 26 June 2003 concerning common rules for the internal market in electricity and repealing Directive 96/92/EC, Official Journal of the European Union No. L 176, 15.07.2003 P. 0037-0055. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2003/54/oj/eng> (дата звернення: 26.01.2026).
4. Про схвалення Стратегії розвитку розподіленої генерації на період до 2035 року і затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2024 - 2026 роках: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18.07.2024 р. № 713-р. *Офіційний вісник України*. 2024. № 72. Стаття 4366. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/713-2024-%D1%80#Text> (дата звернення: 26.01.2026).
5. Деякі питання будівництва та/або відновлення, та/або реконструкції, та/або розміщення, та/або капітального ремонту газопоршневих та газотурбінних установок, зокрема когенераційних, блочно-модульних котелень, дизельних/бензинових та газових генераторів, об'єктів газосховищ, нафтогазовидобування, деяких об'єктів газотранспортної системи та ліній електропередачі системи передачі, на період воєнного стану: Постанова Кабінету Міністрів України від 7.12.2023 р. № 1320. *Офіційний вісник України*. 2024. № 8. С. 54, стаття 376. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1320-2023-%D0%BF#Text> (дата звернення: 26.01.2026).

6. Про внесення змін до деяких постанов НКРЕКП: Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 13.01.2026 р. № 49. <https://www.nerc.gov.ua/acts/pro-vnesennya-zmin-do-deyakh-postanov-nkrekp-58> (дата звернення 26.01.2026).

7. Про затвердження Методики розроблення місцевих енергетичних планів: Наказ Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України від 21.12.2023 р. № 1163. *Офіційний вісник України*. 2024. № 22. С. 265, стаття 1458. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0245-24#Text> (дата звернення 26.01.2026).

8. Теліженко О. М., Сотник М. І., Смоленніков Д. О. Інформаційно-аналітична система оцінювання та прогнозування капіталовкладень у проекти розподіленого енергозабезпечення на муніципальному рівні. *Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2025. № 2 (205). С. 123-139. <http://eee.khpi.edu.ua/issue/view/19184>.

9. Про затвердження критеріїв визначення планованої діяльності, яка не підлягає оцінці впливу на довкілля, та критеріїв визначення розширень і змін діяльності та об'єктів, які не підлягають оцінці на довкілля: Постанова Кабінету Міністрів України від 13.12.2017 р. № 1010. *Офіційний вісник України*. 2018. № 3. С. 23, стаття 115. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1010-2017-%D0%BF>. (дата звернення 26.01.2026).

10. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України. *Офіційний вісник України*. 2017. № 50. С. 5, стаття 1549. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>. (дата звернення 26.01.2026).

11. Проект Закону про внесення змін до деяких законів України щодо імплементації законодавства Європейського Союзу у сфері відновлюваних джерел енергії. Номер, дата реєстрації: 14271 від 03.12.2025 р. URL: <https://itd.rada.gov.ua/billinfo/Bills/Card/59237>. (дата звернення 26.01.2026).

12. Про внесення змін до Податкового кодексу України та інших законодавчих актів України щодо вдосконалення законодавства на період воєнного стану: Закон України. *Офіційний вісник України*. № 32. С. 34, стаття 1693. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2142-20#Text>. (дата звернення 26.01.2026).

13. Звільнення від сплати екоподатку: що змінив Закон № 2142-IX URL: https://buh.ligazakon.net/news/210437_zvlnennya-vd-splati-ekopodatku-shcho-zmniv-zakon--2142-kh. (дата звернення 26.01.2026).

14. Siu Shing Man , Wilson Ka Ho Lee, Alan Hoi Shou Chan and Steve Ngai Hung Tsang The Economic and Environmental Evaluations of Combined Heat and Power Systems in Buildings with Different Contexts: A Systematic Review. 2023. *Applied Sciences*. Vol. 13, Issue 6. Article number: 3855. <https://doi.org/10.3390/app13063855>.

15. Мельник, Л., Карінцева, О., Пархоменко, Д., Кубатко, О., Завдов'єва, Ю. Еколого-економічні аспекти переходу України на «зелену» енергетику в умовах воєнного стану. *Київський економічний науковий журнал*. 2025. № 8. С. 173-182. <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2025-8-23>.

16. Vivek Saxena, Saibal Manna, Saurabh Kumar Rajput, *et al.* Navigating the complexities of distributed generation: Integration, challenges, and solutions. *Energy Reports*. 2024. Vol. 12. Pages 3302-3322. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.09.017>.

17. Mateusz Świerzewski, Paweł Gładysz Environmental and economic assessment of a biomass-based cogeneration plant: Polish case. 2017. *Mazowsze, Studia Regionalne*. № 22. Pages 97-114. <https://doi.org/10.21858/msr.22.07>.

18. Samatar, A. M., Lekbir, A., Mekhilef, S. *et al.* Techno-economic and environmental analysis of a fully renewable hybrid energy system for sustainable power infrastructure advancement. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15, Article number: 12140. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-96401-z>.

19. Qun Cheng, Zhaonan Zhang, Yanwei Wang and Lidong Zhang A Review of Distributed Energy Systems: Technologies, Classification, and Applications. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, Issue 4. 1346. <https://doi.org/10.3390/su17041346>.

20. Галузева методика розрахунку шкідливих викидів, які надходять від теплогенеруючих установок комунальної теплоенергетики України: Наказ Мінбуду України від 16.03.2006 р. № 67. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=6593. (дата звернення 26.01.2026).

21. Податковий кодекс України: Закон України. *Офіційний вісник України*. 2010. № 92. Том 1, С. 9, стаття 3248. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#n5993>. (дата звернення 26.01.2026).

References

1. The official site State Agency for Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine (2025), “Distributed generation is the foundation of energy-independent communities” available at: <https://saee.gov.ua/news/rozpodilena-heneratsiia-osnova-enerhetychno-nezaleznykh-hromad> (Accessed 26 January 2026).

2. The official site Marcet Data Forecast (2025), “Europe Distributed Energy Generation Market Report” available at: <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/europe-distributed-energy-generation-market> (Accessed 26 January 2026).

3. European Parliament and the Council (2003), Directive “2003/54/EC Concerning common rules for the internal market in electricity and repealing Directive 96/92/EC” available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2003/54/oj/eng> (Accessed 26 January 2026).

4. Cabinet of Ministers of Ukraine (2024), Order “On approval of the Distributed Generation Development Strategy for the period until 2035 and approval of the operational plan of measures for its implementation in 2024 –

2026” available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/713-2024-%D1%80#Text>. (Accessed 26 January 2026).

5. Cabinet of Ministers of Ukraine (2024), Resolution “Some issues of construction and/or restoration, and/or reconstruction, and/or placement, and/or overhaul of gas piston and gas turbine installations, in particular cogeneration, block-modular boiler houses, diesel/gasoline and gas generators, gas storage facilities, oil and gas extraction, some facilities of the gas transportation system and power transmission lines of the transmission system, for the period of martial law” available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1320-2023-%D0%BF#Text> (Accessed 26 January 2026).

6. National Commission for State Regulation in the Energy and Utilities Sectors (2026), Resolution “On amendments to some resolutions of the National Energy and Public Utilities Commission” available at: <https://www.nerc.gov.ua/acts/pro-vnesennya-zmin-do-deyakih-postanov-nkrekp-58> (Accessed 26 January 2026).

7. Ministry of Community, Territorial and Infrastructure Development of Ukraine (2023), Order “On approval of the Methodology for developing local energy plans” available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0245-24#Text> (Accessed 26 January 2026).

8. Telizhenko, O.M. Sotnyk, M.I. and Smolennikov, D.O. (2025), “Information and analytical system for evaluating and forecasting capital investments in distributed energy supply projects at the municipal level”, *Enerhozberezhennia. Enerhetyka. Enerhoaudyt*, [Online], vol. 2 (205), pp. 123-139, available at: <http://eee.khpi.edu.ua/issue/view/19184>. (Accessed 26 January 2026).

9. Cabinet of Ministers of Ukraine (2017), Resolution “On approval of criteria for determining planned activities that are not subject to environmental impact assessment and criteria for determining expansions and changes to activities and facilities that are not subject to environmental assessment”, available

at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1010-2017-%D0%BF>. (Accessed 26 January 2026).

10. The Verkhovna Rada of Ukraine (2017), The Law of Ukraine “About environmental impact assessment”, available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>. (Accessed 26 January 2026).

11. The official site The Verkhovna Rada of Ukraine (2026), “Draft Law on Amendments to Certain Laws of Ukraine Regarding the Implementation of European Union Legislation in the Field of Renewable Energy Sources” available at: <https://itd.rada.gov.ua/billinfo/Bills/Card/59237>. (Accessed 26 January 2026).

12. The Verkhovna Rada of Ukraine (2026), The Law of Ukraine “On amendments to the Tax Code of Ukraine and other legislative acts of Ukraine regarding the improvement of legislation for the period of martial law”, available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2142-20#Text>. (Accessed 26 January 2026).

13. The official site ACCOUNTANT.UA(2025), “Exemption from paying eco-tax: what changed Law No. 2142-IX” available at: https://buh.ligazakon.net/news/210437_zvlnennya-vd-splati-ekopodatku-shcho-zmniv-zakon--2142-kh. (Accessed 26 January 2026).

14. Siu Shing Man, Wilson Ka Ho Lee, Alan Hoi Shou Chan and Steve Ngai Hung, (2023), “Tsang The Economic and Environmental Evaluations of Combined Heat and Power Systems in Buildings with Different Contexts: A Systematic Review”, *Applied Sciences*, vol. 13, issue 6, Article number: 3855 available at: <https://doi.org/10.3390/app13063855> (Accessed 26 January 2026).

15. Melnyk, L. Karintseva, O. Parkhomenko, D. Kubatko, O. and Zavdovieva, Yu. (2025), “Environmental and economic aspects of Ukraine's transition to “green” energy under martial law”, *Kyivskyi ekonomichnyi naukovi zhurnal*, [Online], vol. 8, pp. 173-182. <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2025-8-23>.

16. Vivek Saxena, Saibal Manna, Saurabh and Kumar Rajput (2024), “Navigating the complexities of distributed generation: Integration, challenges, and

solutions”, *Energy Reports*, [Online], vol. 12, pp. 3302-3322. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.09.017>.

17. Świerzewski, M. and Gładysz P. (2017), “Environmental and economic assessment of a biomass-based cogeneration plant: Polish case”, *Mazowsze, Studia Regionalne*, [Online], vol. 22, pp. 97-114. <https://doi.org/10.21858/msr.22.07>.

18. Samatar, A.M. Lekbir, A. and Mekhilef, S. (2025), “Techno-economic and environmental analysis of a fully renewable hybrid energy system for sustainable power infrastructure advancement”, *Scientific Reports*, [Online], vol. 15, Article number: 12140, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-96401-z>.

19. Qun Cheng, Zhaonan Zhang, Yanwei Wang and Lidong Zhang (2025), “A Review of Distributed Energy Systems: Technologies, Classification, and Applications”, *Sustainability*, [Online], vol. 17, issue 4. Article number: 1346. <https://doi.org/10.3390/su17041346>.

20. Ministry of Community and Territorial Development of Ukraine (2006), Order “Industry methodology for calculating harmful emissions from heat-generating installations of the municipal heat and power industry of Ukraine” available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=6593 (Accessed 26 January 2026).

21. The Verkhovna Rada of Ukraine (2010), “Tax Code of Ukraine”, available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#n5993>. (Accessed 26 January 2026).

Отримано редакцією журналу / Received: 03.02.26

Прорецензовано / Revised: 09.02.26

Схвалено до друку / Accepted: 19.02.26