

# ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ENVIRONMENTAL SAFETY AND NATURAL RESOURCES

УДК 502

**Stepan Shapoval**, Doctor of Technical Science, Professor, Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Institute of Civil Engineering and Engineering Systems  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-49-7015> **e-mail:** [stepan.p.shapoval@lpnu.ua](mailto:stepan.p.shapoval@lpnu.ua)

**Stepan Mysak**, PhD in engineering, senior lecturer at a higher education institution  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2064-7015> **e-mail:** [stepan.y.mysak@lpnu.ua](mailto:stepan.y.mysak@lpnu.ua)

**Marta Kuznetsova**, PhD in engineering, Associate Professor, Deputy Director for Research and Teaching at the Institute of Energy and Control Systems  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0492-2243> **e-mail:** [marta.y.kuznetsova@lpnu.ua](mailto:marta.y.kuznetsova@lpnu.ua)

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

## IMPLEMENTATION OF EUROPEAN TRENDS REGARDING THE REDUCTION OF AIR POLLUTANTS IN UKRAINE

**Abstract.** *The paper analyses European trends in reducing emissions of harmful substances and carbon dioxide. Today, the problem of increasing CO<sub>2</sub> is an acute one, and thus the task of decarbonising the planet is an important task for the global community. Along with this, the negative impact of other pollutants, such as NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub>, on the environmental situation in Ukraine and the world as a whole is also important.*

*In order to reduce the amount of polluting gases in the air of Ukraine, it was decided to turn to the experience and practice of the European Union (EU) countries and analyse what has already been done, as well as what is planned to be done in this direction in the coming decades. To this end, we analysed the actual data on the reduction of CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, and SO<sub>2</sub> emissions by European countries and compared their plans for further emission reductions in the coming years.*

*The theoretical data of the study on the actual reduction of air pollutant and carbon dioxide emissions by European countries, as well as their plans for further reduction of these emissions, are of practical importance, as they show global trends in this problem of global importance and should be applied in all future energy plans both in Ukraine and other countries where this is not taken into account. Therefore, an effective and scientifically based plan for energy saving, clean energy production, and diversification of energy resources is needed to accelerate the transition to clean energy, increase energy independence from unreliable suppliers and unstable supplies of imported fossil fuels (in particular, accelerated phase-out of russian fossil fuels by 2030, which are used by the aggressor as an economic and political weapon), and help solve the climate crisis.*

**Keywords:** *energy efficiency; renewable energy sources; National energy strategy; climate plans; economical development.*

С.П. Шаповал, С.Й. Мисак, М.Я. Кузнецова

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

## ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ТЕНДЕНЦІЙ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ

***Анотація.** Робота присвячена аналізу європейських тенденцій щодо зменшення викидів шкідливих речовин та вуглекислого газу. Сьогодні гострою є проблема збільшення CO<sub>2</sub>, а отже завдання декарбонізації планети є важливим завданням світової спільноти. Поряд з цим важливим є негативний вплив на екологічну ситуацію в Україні і світі загалом інших забруднюючих речовин, зокрема таких як NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>.*

*Для зменшення кількості забруднюючих газів у повітрі України було прийнято рішення звернутись до досвіду та практики країн Європейського Союзу (ЄС) та проаналізувати, що вже зроблено, а також, що планується зробити в цьому напрямку в майбутні десятиліття. Для цього здійснено аналіз фактичних даних щодо досягнення зниження викидів CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> країнами Європи, а також зіставлено між собою плани щодо подальшого зниження викидів в найближчі роки цими країнами.*

*Теоретичні дані проведеного дослідження щодо фактичного зменшення викидів шкідливих речовин в повітря та вуглекислого газу європейськими країнами, а також їх плани щодо подальшого скорочення викидів зазначених речовин мають практичне значення, оскільки показують світові тенденції щодо цієї проблеми світового значення та мають бути застосовані в усіх подальших енергетичних планах як України, так і інших країн, де це не враховується. Тому потрібний ефективний і науково обґрунтований план економії енергії, виробництва чистої енергії, диверсифікації енергоресурсів, мета якого полягає в пришвидшеному переході на чисту енергію, підвищенні енергетичної незалежності від ненадійних постачальників і нестабільного постачання імпортного викопного палива (зокрема, пришвидшена відмова від російських викопних видів палива до 2030 р., які використовуються агресором як економічна і політична зброя), а також в допомозі в розв'язанні проблеми кліматичної кризи.*

***Ключові слова:** енергетична ефективність; відновлювані джерела енергії; Національна енергетична стратегія; кліматичні плани; економічний розвиток.*

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.5-16>

### Вступ

У 2019 р. відповідно до цілей Європейського зеленого курсу (European Green Deal) було прийнято пакет “Чиста енергія для всіх європейців” (Clean energy for all Europeans package) – набір енергетичних правил для імплементації в законодавство країн-членів, який ознаменував значний крок до реалізації Стратегії енергетичного союзу (Energy Union Strategic Framework), опублікованої в 2015 р. Зокрема, крім визначеної в Угоді про кліматичні та енергетичні рамки Європейського Союзу (ЄС) до 2030 р. (The 2030 climate and energy framework) цілі щодо скорочення викидів парникових газів (ПГ) щонайменше на 40% порівняно з рівнем 1990 р. (кінцева мета – скоротити на 80–95% до 2050 р.), найбільш важливими є: згідно з Директивою ЄС 2018/2002 про енергетичну ефективність – підвищення енергоефективності понад

поточний рівень щонайменше на 32,5% до 2030 р., згідно з Директивою ЄС 2018/2001 “Про заохочення використання енергії з відновлюваних джерел” – частка енергії з відновлюваних джерел у валовому кінцевому енергоспоживанні на рівні 32% до 2030 р., згідно з Регламентом про управління Енергетичним союзом та кліматичні дії (ЄС) 2018/1999 – здійснення управління через Інтегровані національні енергетичні та кліматичні плани на 2021–2030 рр. і довгострокові Стратегії низьковуглецевого розвитку країн-членів ЄС.

Тому в серпні 2021 р. було представлено пакет законодавчих ініціатив “Fit for 55”, що мають забезпечити досягнення цілей ЄС, зазначених в Європейському законі про клімат (European Climate Law), з переглядом чинного законодавства держав-членів та загалом сприяти реалізації European Green Deal. Зокрема, до 2030 р., крім зменшення парникових газів, в енергетичному секторі було запропоновано збільшити з 32% до 40% частку виробленої енергії з відновлювальних джерел енергії, скоротити частку первинного енергоспоживання до 39–41%, а кінцевого енергоспоживання – до 36–37%, здійснити реформування Схеми торгівлі викидами ЄС (EU ETS) та ін.

У зв’язку з повномасштабним вторгненням 24 лютого 2022 р. Росії в Україну і руйнуванням світового енергетичного ринку Єврокомісія затвердила REPowerEU [1] – план економії енергії, виробництва чистої енергії, диверсифікації енергоресурсів, мета якого полягає в пришвидшеному переході на чисту енергію, підвищенні енергетичної незалежності країн-членів ЄС від ненадійних постачальників і нестабільного постачання імпортного викопного палива (зокрема, пришвидшена відмова від російських викопних видів палива до 2030 р., які використовуються агресором як економічна і політична зброя), а також в допомозі розв’язання проблеми кліматичної кризи.

Цей план до 2030 р. пропонує:

- підвищити частку на рівні 40–45% енергії з відновлюваних джерел у валовому кінцевому енергоспоживанні до 2030 р. за рахунок активнішого розвитку вітрових та сонячних електростанцій;
- рекомендації щодо зменшення енергоспоживання та підвищення загальноєвропейського цільового показника ефективності з 9% до 13%;
- зобов’язати встановлювати сонячні панелі на дахах нових споруджених будинків;
- збільшити виробництво біометану і прискорити розвиток низьковуглецевої водневої енергетики з будівництвом нових електролізерів, які забезпечать промисловість власним виробництвом 10 млн т відновлювального водню, а також вирішення проблем його транспортування і споживання.

Усі ці зміни країни-члени ЄС повинні опрацювати в своїх національних планах для вироблення політики впровадження поставлених цілей союзу і, згідно з European Climate Law, подати оновлені національні плани на розгляд Єврокомісії.

Метою цивілізованих країн є реформування своєї економіки для усунення негативних наслідків зміни клімату шляхом вдосконалення державної політики для досягнення сталого розвитку держави, створення правових та інституційних передумов щодо забезпечення переходу до низьковуглецевого розвитку з дотриманням економічної, енергетичної та екологічної безпеки, підвищення добробуту громадян та ефективного використання теплогенеруючих установок [2] і відновлювальних джерел енергії [3, 4].

## Результати дослідження

Тривалий час економічний розвиток України супроводжувався незбалансованим використанням природних ресурсів, небережним, безвідповідальним ставленням до захисту навколишнього середовища, що унеможливило досягнення збалансованого (сталого) розвитку. Але, зважаючи на зміни в українському суспільстві, тверде прагнення розбудови демократичної, вільної, справедливої держави з верховенством права і конкурентоспроможною сучасною економікою, бажання інтегруватися в цивілізовані міжнародні структури, на сьогодні перед українським урядом стоять амбітні цілі щодо якнайшвидшої імплементації вимог, які передбачені Угодою про Асоціацію України з ЄС. Питання захисту довкілля та клімату є одними з ключових у переговорному процесі до повноцінного членства України в ЄС. Але, не зважаючи на збільшення викидів парникових газів та інших забруднюючих речовин через військову агресію північного сусіда, стратегічна ціль повоєнного відновлення української держави – чисте та безпечне довкілля, подальший рух Європейським зеленим курсом (European Green Deal) та відбудова економіки за принципами сталого розвитку.

Згідно з редакцією від 21.09.2022 проєкту “Про Національний план дій з розвитку відновлюваної енергетики на період до 2030 р.” в Україні основна увага приділяється таким джерелам відновлюваної енергетики, як енергія біомаси, вітрова енергія, сонячна енергія, гідроенергія, геотермальна енергія та енергія навколишнього природного середовища з використанням теплових насосів.

Наразі в Україні діє Енергетична стратегія України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”. Ця стратегія, всупереч європейським планам, передбачає зростання споживання енергетичних ресурсів. Прогнози щодо збільшення енергоспоживання видаються хибними, бо не спрямовані на заощадження паливно-енергетичних ресурсів та підвищення енергоефективності. Також в діючій стратегії не зазначено конкретних цілей з розвитку джерел відновлюваної енергії у валовому кінцевому енергоспоживанні, а лише вказано цілі у загальному постачанні первинної енергії (ЗППЕ). Проблему декарбонізації та скорочення викидів забруднюючих речовин в документі пропонується вирішувати за рахунок зниження енергоємності ВВП країни, скорочення обсягів ЗППЕ, впровадження обмежень для найбільших джерел забруднення атмосфери і системи торгівлі квотами на викиди ПГ, виведення з експлуатації застарілих ТЕС, законодавчого забезпечення механізмів фінансування інвестиційних проєктів з будівництва газоочисного обладнання.

Критики також заслуговує Стратегія низьковуглецевого розвитку України на період до 2050 року, що була затверджена урядом у 2018 р. Згідно із зверненням ГО “Центр екологічних ініціатив “Екодія” до уряду, цей документ не містить жодного сценарію, який би передбачав скорочення викидів ПГ у секторах “Енергетика” та “Промисловість”, що йде в розріз з метою Паризької кліматичної угоди.

Тому в даній статті для оцінки прогнозованих викидів ПГ розглядається “Звіт щодо визначення другого національного визначеного внеску України до Паризької кліматичної угоди” (НВВ2) [5].

Національна енергетична стратегія кожної країни враховує декілька сценаріїв розвитку, які визначають план заходів досягнення цілей в залежності від економічної ситуації в країні та світі, один з яких вважається основним.

Скорочення викидів ПГ і забруднюючих речовин, %, від рівня 1990 р. визначалися як різниця між рівнем викидів у 1990 р., прийнятим за 100%, і рівнем викидів, %, у наступні роки за формулою:

$$P = \frac{C}{C_{1990}} \cdot 100, \%$$

де  $P$  – скорочення викидів ПГ і забруднюючих речовин, %;

$C$  – рівень викидів ПГ і забруднюючих речовин після 1990 р., тис. т н.е.;

$C_{1990}$  – рівень викидів ПГ і забруднюючих речовин у 1990 р., тис. т н.е.

Фактичні значення – це значення викидів, які спостерігалися державними службами моніторингу в минулі роки.

Прогнозовані значення – це теперішні та майбутні значення викидів на основі прийнятої моделі розвитку державної енергетичної політики, які вказані в таблицях жирним шрифтом.

При визначенні скорочень викидів ПГ і забруднюючих речовин не враховувалися викиди від сектору землекористування, зміни у землекористуванні та лісовому господарстві (ЗЗЛГ).

Спочатку було проаналізовано здійснене та планове скорочення викидів ПГ порівняно з 1990 р. (табл. 1).

Таблиця 1. Відносне скорочення викидів парникових газів, %, в Україні та країнах ЄС від рівня 1990 р.

Країна	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Нідерланди	100,0	104,4	98,9	96,5	96,2	87,6	74,5	<b>66,7</b>	<b>55,0</b>	-	-	-	<b>5,0</b>
Німеччина	100,0	89,8	83,5	79,5	75,3	72,3	58,7	<b>59,1</b>	<b>35,2</b>	<b>23,7</b>	<b>12,0</b>	<b>3,9</b>	-
Франція	100,0	98,6	100,9	101,3	93,3	84,2	77,2	<b>67,0</b>	<b>57,0</b>	<b>47,0</b>	<b>37,0</b>	<b>27,0</b>	<b>14,7</b>
Польща	100,0	94,0	83,4	84,8	86,5	82,0	80,7	<b>76,4</b>	<b>70,7</b>	<b>62,0</b>	<b>57,0</b>	-	-
Україна	100,0	59,3	44,4	46,8	43,0	33,7	34,8	<b>34,8</b>	<b>34,8</b>	-	-	-	-

Для Нідерландів, Німеччини, Франції та Польщі фактичні викиди ПГ були отримані з [6], прогнозовані – з [7–10] відповідно. Для України фактичні значення викидів для 1990–2015 рр. були отримані з [11], для 2020 р. – з [12], а прогнозовані значення – з [5].

Згідно з табл. 1, з 1990 р. до 2020 р. найбільше скорочення викидів ПГ було зафіксовано в Україні. Основними причинами цього зменшення були занепад промислового виробництва після краху СРСР, економічні кризи та військова агресія Росії. За даними [5], у 2030 р. національна ціль щодо скорочення викидів ПГ складає 34,8% від рівня 1990 р. На період від 2020 р. до 2030 р. прогнозується постійний рівень викидів забруднюючих газів з незначним підвищенням енергоспоживання в економіці. Міжнародні експерти стверджують, що якщо, крім впровадження змін до чинного законодавства, не відбудеться значних структурних змін в енергетиці та промисловості,

завершення бойових дій, то значного подальшого скорочення не відбуватиметься. Через це національно визначена ціль ними оцінюється як недостатня і тому суперечить Паризькій кліматичній угоді.

Найкращі показники скорочення ПГ в довгостроковій перспективі плануються в Німеччині, яка, за даними [8], завдяки рішучим заходам в енергетиці, прогнозує в 2030 р. скоротити викиди на 65%, в 2040 р. – на 88% та досягнути кліматичної нейтральності до 2045 р., забезпечуючи викиди ПГ на рівні 3,9% від обсягу в 1990 р. Франція до 2030 р. планує скорочення забруднюючих газів на 43%, до 2040 р. – на 63% і стати кліматично нейтральною країною до 2050 р., викидаючи в атмосферу 14,7% від обсягу викидів ПГ у 1990 р.

Зменшення викидів ПГ у Нідерландах відбувається подібно до французького кліматичного плану. Уряд, згідно з прийнятим у 2019 р. Законом про клімат (Climate Action Act), декларує, що економіка стане безвуглецевою у 2050 р., але поки що ні в [13], ні в [7] детально не прогнозується рівень викидів після 2030 р. Очікується, що у 2030 р. буде зменшено викиди ПГ на 39–50% порівняно з 1990 р. Отже, наразі не передбачається виконання завдання уряду країни щодо скорочення викидів на 55%, яке також пропонує “Fit for 55”, тому що це вимагає швидшої реалізації заходів щодо скорочення викидів та жорсткішої політики, яка ще детально не запропонована в [7].

Польща до 2000-х років була одним з лідерів зі скорочення викидів ПГ, досягнувши рівня викидів 16,6% від обсягу 1990 р. Це, як і в Україні, було пов’язано з великим скороченням економіки в пострадянський період. Але у зв’язку зі значним економічним зростанням після вступу в ЄС, що призвело до збільшення промислового виробництва та енергоспоживання, скорочення викидів сповільнилось і навіть почалося їх зростання, досягнувши 13,5% у 2010 р. За прогнозами [10], Польща залишатиметься лідером з викидів ПГ, згідно з принципами сталого розвитку, плануючи їх скорочення на 29,3% у 2030 р. і на 43% у 2040 р., що в основному пов’язано зі значним використанням вугілля та природного газу в енергетиці.

Результати аналізу здійсненого та планового скорочення викидів CO<sub>2</sub> порівняно з 1990 р. наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Відносне скорочення викидів CO<sub>2</sub>, %, в Україні та країнах ЄС від рівня 1990 р.

Країна	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Нідерланди	100,0	106,3	105,5	109,0	111,8	101,1	85,0	<b>74,8</b>	<b>60,2</b>	-	-	-
Німеччина	100,0	89,2	85,5	82,3	79,1	75,6	60,8	<b>59,3</b>	<b>48,3</b>	<b>36,8</b>	<b>25,2</b>	<b>4,0</b>
Франція	100,0	98,6	104,1	106,8	97,1	85,7	72,6	<b>69,0</b>	<b>56,3</b>	<b>39,2</b>	-	-
Польща	100,0	96,3	84,3	85,8	88,9	83,2	80,5	<b>75,8</b>	<b>71,1</b>	<b>63,3</b>	<b>55,5</b>	-
Україна	100,0	55,2	39,6	44,4	41,6	31,7	29,3	<b>28,6</b>	<b>28,6</b>	-	-	-

Фактичні дані викидів CO<sub>2</sub> для Нідерландів, Німеччини, Франції та Польщі були виписані з [6]. Прогнозовані дані для Нідерландів, Франції та Польщі були отримані з [7, 9, 10] відповідно, а для Німеччини, у зв’язку з відсутністю таких даних, вони були визначені як відповідні дані викидів ПГ з [8]

множенням на 0,85 (середня частка CO<sub>2</sub> в ПГ за останні роки). Для України фактичні значення для 1990–2015 рр. були отримані з [11], для 2020 р. – з [12], а прогнозовані значення – з [5].

У 2030 р. Німеччина прогнозує скоротити викиди CO<sub>2</sub> на 51,7%, у 2040 р. – на 74,8%, у 2050 р. – на 96% порівняно з 1990 р.

Франція планує скоротити викиди CO<sub>2</sub> на 43,7% у 2030 р. та на 61,8% у 2035 р. від обсягу в 1990 р.

Оскільки економіка Польщі не така сильна, як у розвинутих європейських держав, керуючись принципами сталого розвитку, країна не може собі дозволити радикальні заходи з оновлення промислових, енергетичних об'єктів, будівництво нових об'єктів виробництва чистої енергії. Тому прогнозується зменшення викидів CO<sub>2</sub> на 29,9% у 2030 р. і на 35,5% у 2040 р. від рівня в 1990 р.

Результати аналізу здійсненого та планового скорочення викидів NO<sub>x</sub> порівняно з 1990 р. наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Відносне скорочення викидів NO<sub>x</sub>, %, в Україні та країнах ЄС від рівня 1990 р.

Країна	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Нідерланди	100,0	85,2	72,2	64,2	53,0	42,4	31,5	<b>34,9</b>	<b>38,2</b>	-	-
Німеччина	100,0	77,0	66,7	57,5	51,0	47,4	34,5	<b>28,1</b>	<b>22,4</b>	-	-
Франція	100,0	91,0	82,9	71,8	55,1	45,8	31,6	<b>24,8</b>	<b>18,0</b>	-	-
Польща	100,0	96,4	77,5	76,4	74,3	59,4	52,6	<b>46,5</b>	<b>40,3</b>	<b>36,9</b>	<b>33,4</b>
Україна	100,0	50,6	34,0	36,3	31,2	22,9	13,9	-	-	-	-

Для Нідерландів, Німеччини, Франції та Польщі фактичні викиди NO<sub>x</sub> були отримані з [14], прогнозовані викиди – з [13, 15, 9, 10] відповідно. Для України фактичні викиди у 1990–2015 рр. отримані з [11], у 2020 р. – з [16], а прогнозовані викиди, які би враховували всі галузі економіки, крім ЗЗЗЛГ, є відсутні.

Прогнозовані значення викидів NO<sub>x</sub> для Нідерландів є в Інтегрованому національному енергетичному і кліматичному плані 2021–2030 рр., в якому, згідно з даними [13, табл. 5.2], без врахування викидів від ЗЗЗЛГ, у 2016 р. були 297,7 тис. т, а в 2030 р. прогноуються 256 тис. т. Це значно більше від фактичних значень в Eurostat, де, згідно з [14], в 2015 р. викиди були 283,6 тис. т, а в 2020 р. – 210,8 тис. т. Тому помітна стрибкоподібна зміна викидів NO<sub>x</sub>, які з 2015 р. до 2020 р. зменшуються на 10,9%, а в наступні 10 років збільшуються на 6,7%.

Найбільші зменшення викидів NO<sub>x</sub> у своїх кліматичних планах прогноують Німеччина та Франція, які в 2030 р. планують скоротити викиди на 77,6% і 82% відповідно від обсягів у 1990 р.

Україна продемонструвала хороші показники скорочення викидів NO<sub>x</sub>, у 2020 р. встановивши найбільше за 30 років зменшення – 86,1%. З 1990 р. до 1995 р. під час глибокої економічної кризи з падінням промислового виробництва та енергоспоживання відбулося скорочення викидів цього забруднювача майже вдвічі.

Найгірша динаміка скорочення викидів NO<sub>x</sub> спостерігається в Польщі, де значна частина енергетики і промисловості отримує енергію від спалювання вугілля та рідких вуглеводнів. З 2000 р. до 2010 р. рівень викидів забруднювача був сталим і становив 74–77% порівняно з 1990 р. Далі після впровадження європейських директив з енергозбереження та енергоефективності відбулося поступове зменшення викидів на 40,6% до 2015 р. і 47,4% до 2020 р. Дотримуючись сталого розвитку держави, Польща, модернізуючи економіку згідно із своїм інтегрованим національним енергетичним і кліматичним планом, до 2025 р. планує скоротити викиди NO<sub>x</sub> на 53,5%, до 2030 р. – на 59,7%, до 2035 р. – на 63,1%, до 2040 р. – на 66,6% від рівня викидів у 1990 р.

Результати аналізу здійсненого та планового скорочення викидів SO<sub>2</sub> порівняно з 1990 р. наведено в таблиці 4.

Таблиця 4. Відносне скорочення викидів SO<sub>2</sub>, %, в Україні та країнах ЄС від рівня 1990 р.

Країна	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Нідерланди	100,0	69,2	39,7	34,3	18,2	15,7	9,9	<b>10,8</b>	<b>11,7</b>	-	-
Німеччина	100,0	31,9	11,8	8,7	7,4	6,1	4,3	<b>3,8</b>	<b>3,0</b>	-	-
Франція	100,0	72,9	47,9	35,6	20,9	11,8	7,4	<b>6,9</b>	<b>6,4</b>	-	-
Польща	100,0	78,3	50,8	43,3	32,1	25,1	16,1	<b>14,0</b>	<b>11,9</b>	<b>13,0</b>	<b>14,1</b>
Україна	100,0	64,3	30,7	36,8	38,2	34,4	28,2	-	-	-	-

Для Нідерландів, Німеччини, Франції та Польщі фактичні значення викидів SO<sub>2</sub> були виписані з [14], а прогнозовані значення викидів – з [13, 15, 9, 10] відповідно. Для України фактичні значення викидів у 1990–2015 рр. були отримані з [11], у 2020 р. – з [16], а прогнозовані значення викидів, які би враховували всі галузі економіки, крім ЗЗЗЛГ, є відсутні.

Франція і Німеччина у 2020 р. досягли значного скорочення викидів SO<sub>2</sub> – 93,1% і 96,2% в порівнянні з 1990 р. відповідно завдяки майже повному припиненню роботи вугільних електростанцій. Війна в Україні змусила уряди цих країн переглянути це рішення і задля задоволення своїх енергетичних потреб тимчасово відновити їх роботу. Очевидно такі рішення затримають досягнення екологічних цілей, але сприятимуть значному розвитку чистої енергетики. Тому прогнози у інтегрованих енергетичних і кліматичних планах цих країн можуть виявитися необ’єктивними і будуть переглянуті найближчим часом.

Нідерланди, хоча і закрили останню вугільну електростанцію “Хемвер” в Амстердамі наприкінці 2019 р., у 2020 р. загалом скоротили викиди SO<sub>2</sub> на 90,1%. Агресія північного сусіда в Україну на початку 2022 р. змусила країну через дефіцит природного газу в Європі майже вдвічі збільшити видобуток цього викопного палива з родовища Гронінген, яке з причини шквалу сейсмічної активності поетапно планували закрити у квітні 2022 р. Це не вплине на скорочення викидів SO<sub>2</sub>, але збільшить викиди NO<sub>x</sub>, тому що до цього низькокалорійного газу додають азот. У 2025 р. Нідерланди прогнозують зменшення викидів SO<sub>2</sub> на 89,2%, а у 2030 р. – на 88,3% порівняно з викидами в 1990 р.



Польща у 2020 р. загалом скоротила викиди  $\text{SO}_2$  на 83,9% від рівня 1990 р., у 2025 р. планує загальне скорочення на 86%, у 2030 р. – на 88,1%, у 2035 р. – на 87% і у 2040 р. – на 85,9%.

В Україні, незважаючи на скорочення економіки після розпаду СРСР, рівень викидів  $\text{SO}_2$  залишається найвищим і у 2020 р. становив 28,2% від обсягу викидів у 1990 р. Згідно з Енергетичною стратегією України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”, поточний рівень викидів забруднюючих речовин ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , пилю) перевищує нормативи ЄС в середньому в 7–80 разів залежно від їх типу. Ці викиди планується зменшити до європейського рівня за  $\text{SO}_2$  і пилом до 2028 р., а за  $\text{NO}_x$  – до 2033 р.

### **Висновки та перспективи подальших досліджень**

На основі аналізу теоретичних даних можна стверджувати, що зменшення викидів  $\text{NO}_x$  для України – найбільше. У 2020 р. країна скоротила викиди на 86,1% від рівня у 1990 р., тоді як німецька і французька економіки планують досягти подібного зменшення – на 77,6% і 82% відповідно – тільки до 2030 р. порівняно з 1990 р. Польща, у зв'язку зі значним використанням викопного палива, прогнозує скорочення викидів на 59,7% у 2030 р. і на 66,6% в 2040 р., Нідерланди – на 61,8% у 2030 р.

Країни ЄС здійснили рішучі заходи щодо значного зменшення викидів  $\text{SO}_2$  до 2020 р., в порівнянні з обсягами викидів у 1990 р. Німеччина скоротила викиди діоксиду сірки на 95,7%, Франція – на 92,6%, Нідерланди – на 90,1%, Польща – на 83,9%. У 2030 р. Німеччина прогнозує скорочення викидів на 97%, Франція – на 93,6%, Нідерланди – на 88,3%, Польща – на 88,1% і у 2040 р. – на 88,3%.

Україна є лідером зі скорочення викидів  $\text{CO}_2$  порівняно з рівнем у 1990 р. і прогнозує подальше скорочення на 71,4% у 2030 р.

Успіхи України у зменшенні викидів ПГ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  в основному пов'язані зі скороченням промислового виробництва та енергоспоживання в часи глибоких економічних криз, а не зі значними структурними змінами в економіці, спрямованими на енергозбереження та енергоефективність.

У порівнянні з Україною ЄС запроваджує жорсткі правила щодо скорочення викидів ПГ, встановлюючи високі податки на викиди вуглецю і реформує свою Схему торгівлі викидами (EU ETS), з метою дати промисловості стимул модернізуватися. Гнучка система кредитування (гранти для покриття частини витрачених коштів на закупівлю енергоефективного обладнання або оптимізації технологічних процесів), підтримка європейської ініціативи “зеленого переходу” (European Green Deal) дозволяють країнам-членам залучити фінансування на вигідних умовах.

З метою виправлення ситуації в Україні наразі необхідно доопрацювати Кліматичний закон України, який охоплюватиме всі напрямки у сфері формування та реалізації кліматичної політики; за підтримки міжнародних партнерів розробляти нові документи в цій сфері і здійснювати постійний контроль за їх виконанням; визначити конкретні механізми фінансування кліматичних заходів, які б стимулювали модернізацію української енергетики та промисловості.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. European Commission. (2019). REPowerEU: affordable, secure and sustainable energy for Europe. Retrieved from [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowerEU-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowerEU-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en)
2. Pistun, Y., Mysak, S., Kovalenko, T., Lys, S. (2017). Development of the analytical method for determining the armor wear of the drum ball mill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(1-89), 45-50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109629>
3. Venhryn, I., Shapoval, S., Voznyak, O., Datsko, O., Gulai, B. (2021). Modelling of optical characteristics of the Thermal Photovoltaic Hybrid Solar Collector. *2021 IEEE 16th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, Lviv, Ukraine, 2021, pp. 255-258. <https://doi.org/10.1109/CSIT52700.2021.9648738>
4. Mysak, Y., Pona, O., Shapoval, S., Kuznetsova, M., Kovalenko, T. (2017). Evaluation of energy efficiency of solar roofing using mathematical and experimental research. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(8-87), 26-32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.103853>
5. Центр економічного відновлення. (2021). Звіт щодо визначення другого національного визначеного внеску України до Паризької кліматичної угоди. Retrieved from [https://ubta.com.ua/files/20210713/Annex\\_1.pdf](https://ubta.com.ua/files/20210713/Annex_1.pdf)
6. Eurostat. (2023). Greenhouse gas emissions by source sector (source: EEA). Retrieved from [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV\\_AIR\\_GGE\\_\\_custom\\_4885837/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AIR_GGE__custom_4885837/default/table?lang=en)
7. PBL Planbureau voor de Leefomgeving. (2022). Klimaat-en Energieverkenning 2022. PBL-publicatienummer: 4838.
8. UNFCCC. (2022). Update to the long-term strategy for climate action of the Federal Republic of Germany. Retrieved from <https://unfccc.int/documents/620935>
9. European Commission. (2020). Integrated National Energy and Climate Plan for France. Retrieved from [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-08/fr\\_final\\_necp\\_main\\_en.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-08/fr_final_necp_main_en.pdf)
10. Ministry of Climate and Environment. (2021). Energy Policy of Poland until 2040. Appendix 2. Conclusions from forecast analyses for the energy sector. Retrieved from <https://www.gov.pl/web/climate/energy-policy-of-poland-until-2040-epp2040>
11. UNFCCC. (2018). Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Ukraine's Greenhouse Gas Inventory 1990-2016. Retrieved from <https://unfccc.int/documents/106947>
12. Ritchie, H., Roser, M., Rosado P. (2020). CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions. *OurWorldInData.org*. Retrieved from. <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
13. European Commission. (2019). Integrated National Energy and Climate Plan 2021-2030 The Netherlands. Retrieved from [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-03/nl\\_final\\_necp\\_main\\_en\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-03/nl_final_necp_main_en_0.pdf)
14. Eurostat. (2023). Air pollutants by source sector (source: EEA). Retrieved from [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV\\_AIR\\_EMIS\\_\\_custom\\_4885966/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AIR_EMIS__custom_4885966/default/table?lang=en)
15. European Commission. (2019). Integrated National Energy and Climate Plan. Germany. Retrieved from [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-08/de\\_final\\_necp\\_main\\_en.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-08/de_final_necp_main_en.pdf)
16. Держстат України. (2022). Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря України. Retrieved from [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fukrstat.gov.ua%2Foperativ%2Foperativ2020%2Fns%2Fns\\_rik%2Fvzr\\_apU\\_90\\_20\\_ue.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fukrstat.gov.ua%2Foperativ%2Foperativ2020%2Fns%2Fns_rik%2Fvzr_apU_90_20_ue.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK)

Стаття надійшла до редакції 16.08.2023 і прийнята до друку після рецензування 24.11.2023

## REFERENCES

1. European Commission. (2019). REPowerEU: affordable, secure and sustainable energy for Europe. Retrieved from [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowerEU-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowerEU-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en)
2. Pistun, Y., Mysak, S., Kovalenko, T., Lys, S. (2017). Development of the analytical method for determining the armor wear of the drum ball mill. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(1-89), 45-50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109629>
3. Venhryn, I., Shapoval, S., Voznyak, O., Datsko, O., Gulai, B. (2021). Modelling of optical characteristics of the Thermal Photovoltaic Hybrid Solar Collector. *2021 IEEE 16th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, Lviv, Ukraine, 2021, pp. 255-258. <https://doi.org/10.1109/CSIT52700.2021.9648738>
4. Mysak, Y., Pona, O., Shapoval, S., Kuznetsova, M., Kovalenko, T. (2017). Evaluation of energy efficiency of solar roofing using mathematical and experimental research. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(8-87), 26-32. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.103853>
5. Center for economic recovery. (2021). Report on the determination of the second national determined contribution of Ukraine to the Paris Climate Agreement. Retrieved from [https://ubta.com.ua/files/20210713/Annex\\_1.pdf](https://ubta.com.ua/files/20210713/Annex_1.pdf)
6. Eurostat. (2023). Greenhouse gas emissions by source sector (source: EEA). Retrieved from [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV\\_AIR\\_GGE\\_\\_custom\\_4885837/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AIR_GGE__custom_4885837/default/table?lang=en)
7. PBL Planbureau voor de Leefomgeving. (2022). Klimaat-en Energieverkenning 2022. PBL-publicatienummer: 4838.
8. UNFCCC. (2022). Update to the long-term strategy for climate action of the Federal Republic of Germany. Retrieved from <https://unfccc.int/documents/620935>
9. European Commission. (2020). Integrated National Energy and Climate Plan for France. Retrieved from [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-08/fr\\_final\\_necp\\_main\\_en.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-08/fr_final_necp_main_en.pdf)
10. Ministry of Climate and Environment. (2021). Energy Policy of Poland until 2040. Appendix 2. Conclusions from forecast analyses for the energy sector. Retrieved from <https://www.gov.pl/web/climate/energy-policy-of-poland-until-2040-epp2040>
11. UNFCCC. (2018). Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Ukraine's Greenhouse Gas Inventory 1990-2016. Retrieved from <https://unfccc.int/documents/106947>
12. Ritchie, H., Roser, M., Rosado P. (2020). CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions. *OurWorldInData.org*. Retrieved from. <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
13. European Commission. (2019). Integrated National Energy and Climate Plan 2021-2030 The Netherlands. Retrieved from [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-03/nl\\_final\\_necp\\_main\\_en\\_0.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-03/nl_final_necp_main_en_0.pdf)
14. Eurostat. (2023). Air pollutants by source sector (source: EEA). Retrieved from [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV\\_AIR\\_EMIS\\_\\_custom\\_4885966/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AIR_EMIS__custom_4885966/default/table?lang=en)
15. European Commission. (2019). Integrated National Energy and Climate Plan. Germany. Retrieved from [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-08/de\\_final\\_necp\\_main\\_en.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-08/de_final_necp_main_en.pdf)
16. State Statistics Service of Ukraine. (2022). Emissions of pollutants into the atmospheric air of Ukraine. Retrieved from [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fukrstat.gov.ua%2Foperativ%2Foperativ2020%2Fns%2Fns\\_rik%2Fvzr\\_apU\\_90\\_20\\_ue.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fukrstat.gov.ua%2Foperativ%2Foperativ2020%2Fns%2Fns_rik%2Fvzr_apU_90_20_ue.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK)

*The article was received 16.08.2023 and was accepted after revision 24.11.2023*

**Шаповал Степан Петрович**

доктор технічних наук, професор, професор кафедри теплогазопостачання і вентиляції Інституту будівництва та інженерних систем, Національний університет «Львівська політехніка»

**Адреса робоча:** 79013 Україна, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-49-7015> **e-mail:** [stepan.p.shapoval@lpnu.ua](mailto:stepan.p.shapoval@lpnu.ua)

**Мисак Степан Йосифович**

кандидат технічних наук, старший викладач закладу вищої освіти, Національний університет «Львівська політехніка»

**Адреса робоча:** 79013 Україна, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2064-7015> **e-mail:** [stepan.y.mysak@lpnu.ua](mailto:stepan.y.mysak@lpnu.ua)

**Кузнецова Марта Ярославівна**

кандидат технічних наук, доцент, заступник директора з науково-педагогічної роботи Інституту енергетики та систем керування, Національний університет «Львівська політехніка»

**Адреса робоча:** 79013 Україна, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0492-2243> **e-mail:** [marta.y.kuznetsova@lpnu.ua](mailto:marta.y.kuznetsova@lpnu.ua)