

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2025-287-1-39-45>

УДК 621

## ВИКИДИ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ВІД СИСТЕМИ ГЕНЕРУВАННЯ ЕНЕРГІЇ НА ВИКОПАНОМУ ПАЛИВІ

Мелконова І.В., Мелконов Г.Л.

## GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM FOSSIL FUEL-BASED POWER GENERATION SYSTEMS

Melkonova I.V., Melkonov H.L.

Глобальне потепління є визнаною загрозою для стабільності клімату Землі. Єдиний шлях контролювати глобальне потепління означає контролювати концентрацію парникових газів у атмосфера. Є лише два способи зробити це: замінити паливо з високим вмістом вуглецю на паливо з низьким вмістом вуглецю або безвуглецеве паливо; виробляти та використовувати енергію більш ефективно.

Концентрація вуглекислого газу в атмосфері вперше в історії людства досягла максимального рівня, а 67% викидів парникових газів спричиняє саме енергетика і спалювання викопних видів палива. Великий рівень концентрації вуглекислого газу спостерігався близько 3 – 5 млн років тому, коли температура на Землі була на кілька градусів вища, ніж зараз. Зокрема у 2018 році цей показник становив 405,5 ppm. Зазвичай кількість CO<sub>2</sub> змінюється в залежності від пори року, найбільші показники фіксуються у північній півкулі навесні та на початку літа. Проте середньорічна концентрація CO<sub>2</sub> неухильно збільшується. Вчені пов'язують це з використанням твердих видів палива, адже 67% викидів парникових газів спричинено саме енергетикою та спалюванням викопних видів палива, що призводить до підвищення середньої глобальної температури.

З огляду на нагальну потребу посилення екологічного контролю за станом повітря, та пошуків шляхів зниження концентрації CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі необхідні пошуки нових шляхів вирішення цієї ситуації та розробки систем моніторингу контролю атмосферних викидів. Ці заходи дадуть змогу значно зменшити обсяги викидів в атмосферу.

Прямі викиди від виробництва електроенергії базуються на національних даних або розраховуються на основі джерел виробництва

електроенергії та коефіцієнтів викидів бази даних. Коефіцієнти викидів визначаються для країни і основних технологій, джерел палива, тому можуть не відображати реальні характеристики палива, зміни ефективності виробництва електроенергії, різні підходи до розподілу викидів у випадку когенерації та деякі інші фактори. Результати розрахунку залишкових коефіцієнтів для європейських країн публікуються щорічно. Залишкові коефіцієнти викидів для електроенергії можуть розраховуватися і на рівні окремих країн.

**Ключеві слова:** екологія, вуглекислий газ, викопне паливо, електроенергія, гази, викиди.

**Вступ.** Глобальна концентрація CO<sub>2</sub> в атмосфері значно зросла після індустріалізації, піднявшись з 280 ppm до промислової революції [1] до 419,3 ppm у 2023 році, з поточним темпом зростання 2–3 ppm на рік. Збільшення глобальної концентрації вуглекислого газу в атмосфері в основному викликано викидами від діяльності людини [2], причому приблизно половина цих викидів походить від великих установок, таких як електростанції, транспортний сектор і важка промисловість [3]. Глобальні викиди CO<sub>2</sub>, пов'язані з енергетикою, досягли нового максимуму в 36,8 Гт у 2023 році [4]. Отже, встановлено, що збільшення викидів вуглецю суттєво впливає на глобальну зміну клімату, створюючи загрозу у вигляді екстремальних погодних явищ, стихійних лих та значних економічних і соціальних втрат [4]. За даними Океанографічного інституту Скрипса, минулого року концентрація вуглекислого газу

в атмосфері вперше в історії людства сягнула найвищого рівня – 415,26 ppm. Такий рівень концентрації вуглекислого газу спостерігався близько 3 - 5 млн років тому, коли температура на Землі була на кілька градусів вищою, ніж тепер. Зокрема, у 2018 році цей показник становив 405,5 ppm. Зазвичай кількість CO<sub>2</sub> сильно коливається в залежності від пори року, досягаючи максимуму в північній півкулі навесні та на початку літа. Однак, середньорічна концентрація CO<sub>2</sub> продовжує неухильно зростати. Вчені пов'язують цей факт зі спалюванням твердих видів палива, адже 67% викидів парникових газів спричиняє саме енергетика та спалювання викопних видів палива, які й призводять до зростання глобальної середньої температури. За попередніми прогнозами, забруднення атмосфери у 2019 році значно прискориться.

Як відомо, вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>) утворюється в результаті спалювання викопних видів палива, зокрема вугілля. За даними наукових досліджень, навіть невелика кількість вуглекислого газу може бути токсичною та викликати біохімічні зміни в крові людини, біль у суглобах, слабкість, порушення кислотно-лужного балансу, зниження імунітету, стати причиною захворювань нирок та серцево-судинної системи.

У результаті у світі почала формуватися кліматична політика, спрямована на боротьбу зі змінами клімату та декарбонізації економіки, яка знайшла своє відображення у "Європейській зеленій угоді" та Паризькій угоді 2015 року.

Європейський Союз поставив за мету: щоб до 2050 року Європа стала першим континентом, економіка якого не шкодить природі. Україна готова стати невід'ємною частиною цієї успішної історії. У січні 2020 року Міністр енергетики та захисту довкілля України Олексій Оржель презентував проект Концепції «зеленого» енергетичного переходу України до 2050 року, який зумовлений трансформацією підходів до розвитку енергетики у світі та особливою увагою до проблем боротьби зі зміною клімату. Концепцією передбачено повне заміщення вугільної генерації та перехід економіки України, що базується на використанні викопних видів палива - вугілля, нафти, газу, до кліматично нейтральної економіки у довгостроковій перспективі.

Наразі Міністерство енергетики та захисту довкілля України опрацьовує комплекс рішень, які знайдуть відображення у Концепції

реформування державного сектору вугільної галузі.

**Постановка проблеми.** З огляду на нагальну потребу посилення екологічного контролю за станом повітря, та пошуків шляхів зниження концентрації CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі необхідні пошуки нових шляхів вирішення цієї ситуації та розробки систем моніторингу контролю атмосферних викидів. Ці заходи дадуть змогу значно зменшити обсяги викидів в атмосферу.

**Метою роботи** є аналіз причин та статистики викидів CO<sub>2</sub> спричинених генерацією електричної енергії викопного палива та шляхи пошуку рішень поліпшення екологічної обстановки у зв'язку з даною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Щоб зменшити тиск на баланс вуглецевого циклу, спричинений постійним зростанням концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері, у всьому світі були докладені зусилля щодо прийняття заходів пом'якшення антропогенних викидів вуглецю [5]. Паризька кліматична угода, прийнята в 2015 році [6], вимагає, щоб кожна країна-підписант точно звітувала про свої викиди парникових газів і скорочувала майбутні викиди після визначення свого національно визначеного внеску. Супутники дистанційного зондування, як ключовий інструмент для спостереження Землі, служать важливою платформою для надійного та реалістичного виявлення антропогенних викидів вуглецю у великому масштабі та протягом тривалого часового ряду, як зазначено у звіті Об'єднаного дослідницького центру (JRC) [39]. База даних про викиди глобальних атмосферних досліджень (EDGAR) (Об'єднаний дослідницький центр [Європейська комісія] та ін., 2023 р.) вказує на те, що серед основних секторів, що генерують викиди, енергетична промисловість незмінно займає найвищі позиції за викидами CO<sub>2</sub> з 1990 року. Тому вдосконалення методів оцінки викидів CO<sub>2</sub> на одиницю від вугільних електростанцій має важливе значення для забезпечення висхідного аналізу. дані про викиди для країн з неадекватною системою звітності [7]. Наразі в різних країнах використовуються три основні методи моніторингу викидів CO<sub>2</sub> від електростанцій: (1) моделювання знизу вгору на основі даних про споживання палива та коефіцієнтів викидів, (2) прямий моніторинг викидів CO<sub>2</sub> від димових газів із труби та (3) моделювання зверху вниз на основі оцінених

концентрацій газу або потоків від окремих установок. Інвентаризація викидів обмежена наявністю та точністю статистичних даних. Моделювання «знизу вгору» може призвести до пропуску даних з певних електростанцій, що потенційно може призвести до значного заниження викидів. Системи безперервного моніторингу викидів (CEMS) [8] для викидів димових газів рідко включають моніторинг потоків  $\text{CO}_2$ , незважаючи на можливість моніторингу потоків викидів з димової труби від вугільних електростанцій [9]. Розробка технології кількісного дистанційного зондування дозволила ідентифікувати інформацію про викиди з супутникових даних за допомогою моделювання атмосферної дисперсії, забезпечивши новий метод для оцінки викидів  $\text{CO}_2$  з високою часовою та просторовою роздільною здатністю. Цей підхід є менш чутливим до антропогенних і статистичних помилок і пропонує надійні можливості моніторингу викидів  $\text{CO}_2$ , що відповідають політичним вимогам [10].

#### Результати дослідження.

Основними «кіотськими» парниковими газами є  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  і  $\text{N}_2\text{O}$ , які виділяються з обох енергетичні та неенергетичні джерела. Також включені гідрофторвуглеці, перфторвуглеці і гексафторид сірки, які мають відносно високий потенціал глобального потепління, але є викидаються в невеликих обсягах і здебільшого не пов'язані з енергією. Викиди різних газів виражається як еквівалент  $\text{CO}_2$  на основі подібних глобальних потенціал потепління (GW) протягом 100-річного періоду.

Таблиця 1

Потенціали глобального потепління [1]

| Газ                  | Потенціал глобального потепління для різних часових горизонтів |           |           |
|----------------------|----------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
|                      | 20 років                                                       | 100 років | 500 років |
| $\text{CO}_2$        | 1                                                              | 1         | 1         |
| $\text{CH}_4$        | 56                                                             | 21        | 6,5       |
| $\text{N}_2\text{O}$ | 280                                                            | 310       | 170       |
| HFC-23               | 9100                                                           | 11700     | 9800      |
| HFC-32               | 2100                                                           | 650       | 200       |
| SF6                  | 16300                                                          | 23900     | 34900     |

Виходячи з кількості викидного газу та GWP, внесок різних парникових газів до глобального потепління для ЄС у 1990 р. показано на рис. 1. Хоча існує згода між різними джерелами щодо частки окремих парникових газів, значення загальних викидів коливається від 3938 Мт  $\text{CO}_2$ .

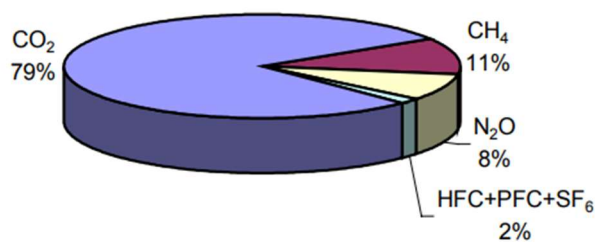


Рис. 1. Викиди на основі GWP за типом газу, ЄС, 1990

Подібним чином рис. 2 відображає ситуацію в США в 1998 році (загальний обсяг 1,8 Гт С, типовий для промислово розвинених регіонів світу).

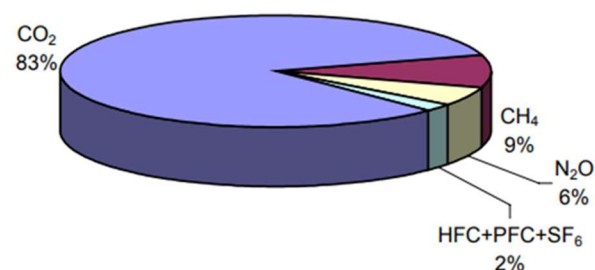


Рис. 2. Викиди на основі GWP за типом газу, США, 1998

З цих цифр чітко видно, що найбільший внесок у парниковий ефект виникає через викиди  $\text{CO}_2$ . Серед інших парникових газів. Викиди метану та закису азоту в останні роки залишаються стабільними або мають тенденцію до цього зниження [2]. Крім того, відповідно до Монреальського протоколу, галогеновмісні гази (HFC, PFC, SF6) поступово припиняються через їх роль у руйнуванні озону.

Двома основними антропогенними (спричиненими діяльністю людини) джерелами викидів  $\text{CO}_2$  у всьому світі є спалювання викопного палива та зміни у землекористуванні, головним чином вирубка лісів.

В даний час приблизно 75% глобальних викидів  $\text{CO}_2$  є результатом спалювання викопного палива на перетворення та використання енергії, хоча частка різна по регіонах [3].

Тому енергетичний сектор слід розглядати як центральну точку будь-яких викидів стратегія скорочення.

Далі увага приділяється особливо викидам в енергетичному секторі наголос на спалюванні викопного палива для діяльності, пов'язаної з енергетикою.

Походження викидів  $\text{CO}_2$  від спалювання викопного палива в ЄС показано на рис. 3.). На виробництво електроенергії та транспорт припадає приблизно одна третина викидів  $\text{CO}_2$  від спалювання викопного палива, хоча їхня залежність від типу палива чітко відрізняється від того, що остання практично виключно покладається на нафту. Тому що викид Джерел у транспорті, промисловості та опаленні багато, розосереджені та малі, тоді як дим газові потоки електростанцій нечисленні та великі, технологічні рішення до зменшення викидів від виробництва електроенергії має більший вплив, ніж в інших секторах.

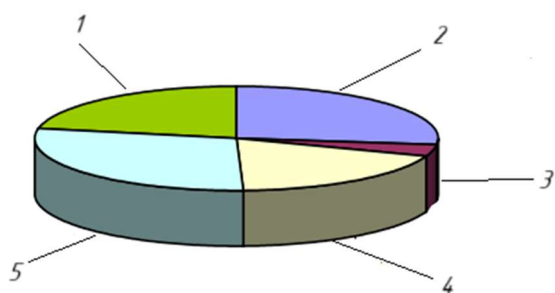


Рис. 3. Викиди  $\text{CO}_2$  за секторами в ЄС у 1997 році:

- 1 – третинний/побутовий 22%;
- 2 – теплова електроенергетика 27%;
- 3 – виробництво теплової енергії 4%;
- 4 – промисловість 19%; 5 – транспорт

Споживання енергії за видами палива для виробництва електроенергії показано на рисунках 4-6. На рисунках 4 і 5 показано частку різних типів палива з точки зору «первинної» енергії одиниці Мтоє (мегатонна нафтового еквівалента), Quad (квадрильйони Btu = 1015 британських теплових одиниць), або Джоуль. Подібна частка видів палива впливає з їх частки в річному виробництві електроенергії, вираженої в ТВт-год. (Відношення споживання первинної енергії до потужності виробництва є (безрозмірним) середнім валовим питомим споживанням палива, тоді як обернена середня ефективність виробництва електроенергії).

На рис.6. показані основні відмінності у векторах енергії для виробництва електроенергії різні регіони світу. Ці відмінності є чітко очікується, що призведе до різної кількості викидів  $\text{CO}_2$ .

Тому що рівні викидів  $\text{CO}_2$  від джерел енергії, не пов'язаних з використанням викопного палива, є низькими походять від самого процесу виробництва або перетворення енергії, а скоріше від будівництва, наступний

розділ зосереджується на викидах від викопного палива рослини.

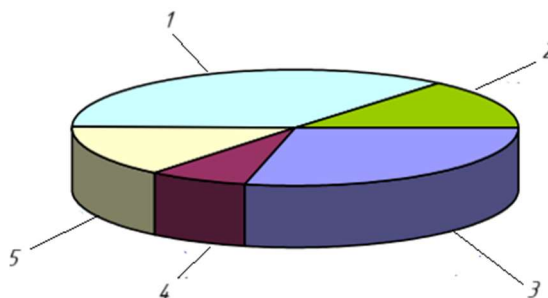


Рис. 4. Витрати енергії на виробництво електроенергії паливом в ЄС у 1997 році:

- 1 – ядерні 35%;
- 2 – відновлювані джерела енергії 14%;
- 3 – вугілля 29%; 4 – масло 9%;
- 5 – природний газ 15%

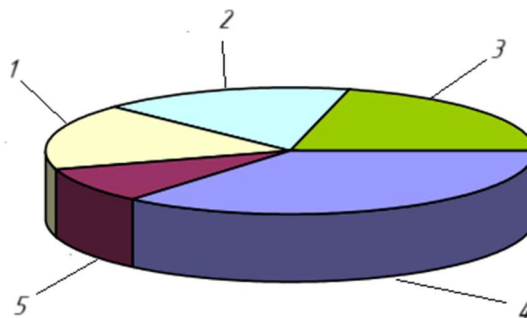


Рис. 5. Витрати енергії на виробництво електроенергії паливом в світ у 1997 році:

- 1 – ядерні 17%;
- 2 – відновлювані джерела енергії 21%;
- 3 – вугілля 36%; 4 – масло 7%;
- 5 – природний газ 17%

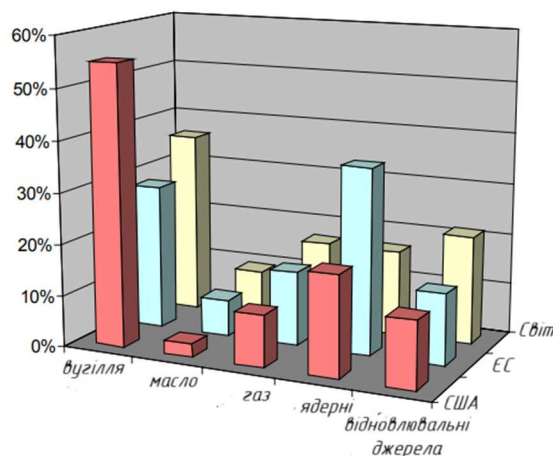


Рис. 6. Витрати енергії на виробництво електроенергії за видами палива у 1997р.

За прогнозами, використання природного газу для виробництва електроенергії буде одним із найшвидших зростаючі сегменти світового енергетичного ринку. У всьому світі очікується, що природний газ виросте з 27% викопного палива, спожитого для виробництва електроенергії в 1997 році, до 37 % у 2025 році [3]. Хоча прогнозується, що вугілля залишиться домінуючим паливом для електростанцій, прогнози значних запасів природного газу та відносно низьких цін зробив його кращим паливом для багатьох виробників електроенергії в усьому світі. У промислово розвинених країнах, за помітним винятком Японії та Франції, прогнозована тенденція відходить від ядерної електроенергії та природного газу. У країнах, що розвиваються, вугілля все ще демонструє найбільше збільшення між 1997 і 2020 роками, але очікується, що використання природного газу для виробництва електроенергії збільшити втричі [3]

Зміни у споживанні енергії для виробництва електроенергії за допомогою викопного палива між 1997 р і 2024 для світу та ЄС показано на рис. 7. Вони враховуючи лише внесок виробництва теплової енергії.

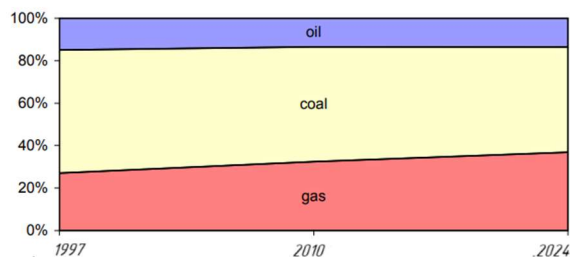


Рис. 7. Еволюція частки виду палива у виробництві електроенергії в світі

Підвищення ефективності впливає як на технологію перетворення, так і на кінцеве використання, увага тут приділяється лише стороні пропозиції, тобто підвищенню ефективності процес перетворення. Тому запропоновані підходи до скорочення викидів на стороні пропозиції включають декілька пунктів: [4]

- більш ефективне перетворення викопного палива (1% підвищення ефективності = 2,5% зниження CO<sub>2</sub> викиди, рис. 8),
- перехід на низьковуглецеве паливо (заміна вугілля природним газом: до 50% зменшення, див. таблицю 2 і рис. 14),
- декарбюрізація димових газів і палива (зниження до 85%),
- зберігання CO<sub>2</sub>,

- перехід на атомну енергетику (фактична ліквідація),
- перехід на відновлювані джерела енергії (фактична елімінація).

Кожен із цих варіантів має власні унікальні риси, які визначають економічну ефективність, а також соціальну та політичну підтримку. Слід враховувати як витрати, так і вплив на довкілля, базуючись на повному аналізі життєвого циклу (рис.9).

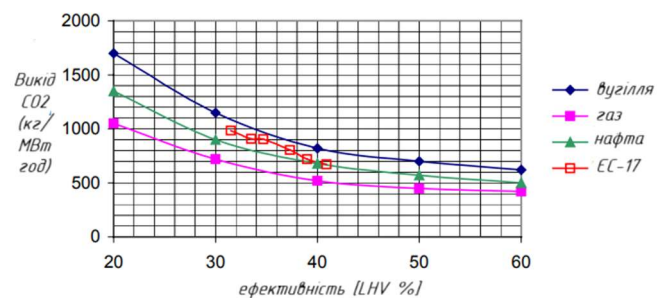


Рис. 8. Викиди CO<sub>2</sub> проти ефективності

Незамкнені символи на рис. 8 представляють тенденцію, отриману з еволюції загальних викидів CO<sub>2</sub> та середньої ефективності виробництва теплової енергії в ЄС-17 (ЄС-15). за період 1970-1996 (дані вимірювань) та прогнози на 2000 та 2010 роки (останні два пункти) [16]. Ці дані яскраво демонструють заслуга підвищення ефективності виробництва теплової енергії для скорочення викидів CO<sub>2</sub>.

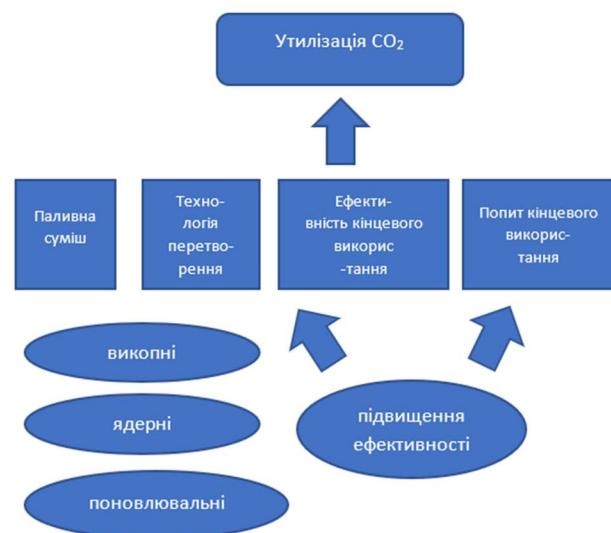


Рис. 9. Схематичне зображення можливостей зменшення CO<sub>2</sub>

Огляд потенційного внеску варіантів скорочення викидів CO<sub>2</sub> від усіх секторів показано на рисунку 10 [6]. На цьому графіку

показано кумулятивні світові викиди  $\text{CO}_2$  скорочення, виражені як С-еквіваленти, у період 1990-2100 порівняно з ВАУ (бізнес як зазвичай), який призведе до кумулятивних викидів 1600 Гт С. На рисунку також показано, що для чистого загального очікуваного скорочення приблизно на 1000 Гт С найбільше внесок походить від заміни палива з вищим вмістом С на паливо з низьким вмістом С (в енергетиці генерація, транспорт, опалення та промисловість), а також потенціал скорочення викидів підвищення ефективності (попит і пропозиція разом) приблизно дорівнює відновлювана енергія. Загальне зниження потрапляє в діапазон 800-1100 Гт С, необхідний для сценаріїв ВАУ для досягнення стабілізації  $\text{CO}_2$  на рівні 450 частин на мільйон до 2100 року.

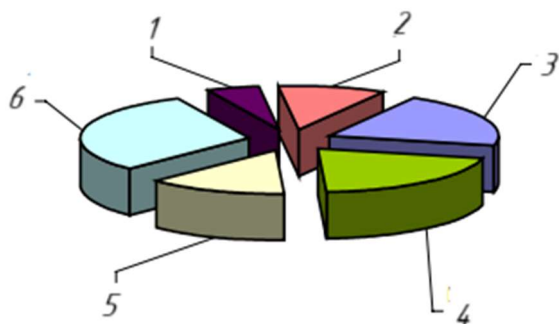


Рис. 10. Варіанти скорочення викидів  $\text{CO}_2$  (загалом 980 Гт С):

- 1 – заліснення 5%;
- 2 – відновлення та зберігання  $\text{CO}_2$  10%;
- 3 – підвищення енерго- та матеріалоефективності 20%;
- 4 – відновлювана енергія 20%;
- 5 – атомна енергетика 13%;
- 6 – перехід на викопне паливо 32%

**Висновки.** Згідно з науковими дослідженнями, навіть незначна кількість вуглекислого газу здатна бути отруйною та спричинити біохімічні зміни в крові людини, біль у суглобах, слабкість, порушення кислотно-лужної рівноваги, зниження імунітету, ставати причиною захворювань нирок та серцево-судинної системи.

У результаті цього в світі почала формуватися кліматична політика, націлена на боротьбу зі змінами клімату та декарбонізацію економіки, що знайшло своє відображення в “Європейській зеленій угоді” та Паризькій угоді 2015 року.

Більше половини скорочення викидів відбувається завдяки використанню екологічно чистої електроенергії, йдеться у звіті. Згідно з галузевими даними, у 2023 році ЄС побудував

рекордну кількість сонячних панелей і вітрових турбін, а також зміг виробляти більше електроенергії з дамб і атомних електростанцій, які постраждали від посухи і ремонтних робіт роком раніше.

Зниження попиту на електроенергію, якому сприяла гарна погода, спричинило 8% скорочення викидів викопного  $\text{CO}_2$ . Скорочення в таких секторах, як промисловість - де високі ціни на газ змусили деякі компанії стати більш ефективними, а інші - виробляти менше товарів - і транспорт склали решту 36%. Ці цифри не включають такі сектори, як сільське господарство, брудні хімічні процеси, такі як виробництво цементу, або інші парникові гази, такі як метан. Аналітики кажуть, що загальні викиди все ще знижуються надто повільно.

### Література

1. IPCC (2022), Emissions Trends and Drivers. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.004
2. Jia, G., E. Shevliakova, P. Artaxo, N. De Noblet-Ducoudré, R. Houghton, J. House, K. Kitajima, C. Lennard, A. Popp, A. Sirin, R. Sukumar, L. Verchot, 2019: Land-climate interactions. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.004>
3. U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2021, (February 2021), [www.eia.gov/aeo](http://www.eia.gov/aeo)
4. R. Dones, X. Zhou, C. Tian, “Life cycle assessment”, in Integrated assessment of sustainable energy systems in China — The China Energy Technology Program, B. Eliasson, Y.Y. Lee (Eds.), Kluwer, 320-444 (2003).
5. J.F. Van de Vate, L. Gagnon, “Greenhouse gas emissions from hydropower — The state of research in 1996”. Energy Policy, 25(1), 7-13 (1997).
6. R. Frischknecht, N. Jungbluth, H.J. Althaus, G. Doka, R. Dones, S. Hellweg, R. Hirschler, T. Nemecek, G. Rebitzer, M. Spielmann, “Overview and Methodology — Data v1.01”, Swiss Centre for Life

- Cycle Inventories, Duebendorf, Switzerland. [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch) (2003).
7. R. Dones, X. Zhou, C. Tian, "Life cycle assessment", in Integrated assessment of sustainable energy systems in China — The China Energy Technology Program, B. Eliasson, Y.Y. Lee (Eds.), Kluwer, 320-444 (2003).

**Melkonova I.V., Melkonov H.L. Greenhouse gas emissions from fossil fuel-based power generation systems**

*Global warming is a recognized threat to the stability of the Earth's climate. The only way to control global warming is to control the concentration of greenhouse gases in the atmosphere. There are only two ways to do this: replace high-carbon fuels with low-carbon or carbon-free fuels; and produce and use energy more efficiently. The concentration of carbon dioxide in the atmosphere has reached its maximum level for the first time in human history, and 67% of greenhouse gas emissions are caused by energy and the burning of fossil fuels. High levels of carbon dioxide were observed about 3-5 million years ago, when the Earth's temperature was several degrees higher than it is now. In particular, in 2018 this figure was 405.5 ppm. Usually the amount of CO<sub>2</sub> varies depending on the season, with the highest values recorded in the northern hemisphere in spring and early summer. However, the average annual concentration of CO<sub>2</sub> is steadily increasing. Scientists attribute this to the use of solid fuels, since 67% of greenhouse gas emissions are caused by energy and the burning of fossil fuels, which leads to an increase in the average global temperature. Given the urgent need to strengthen environmental control over the state of the air, and to find ways to reduce the concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere, it is necessary to find new ways to solve this situation and develop monitoring systems for controlling atmospheric emissions.*

*These measures will allow to significantly reduce the volume of emissions into the atmosphere. Compared with Carbon Brief's emission inventory results, the average percentage difference of our algorithm in China is 22.15 %, while the average percentage difference of the OCO-3 Snapshot Area Mapping Observation Model (SAM) is only 6.11 %. In the U.S., the average percentage difference compared to the hourly emission inventory data EPA (the US Environmental Protection Agency) reaches 16.67 %. This result coincides with the average deviation of 15.1 % in the Gaussian plume model for the U.S. power plants. In the European thermal power plant emission estimates, the average percentage difference is about 25 % lower compared to the proxy emission values. Sensitivity tests on planetary boundary layer heights (PBLH), the derived regional background, and wind speeds suggest our divergence method is quite robust. This has been demonstrated to be a quick and effective method for estimating carbon emissions from coal-fired power plants.*

*Key words: ecology, carbon dioxide, fossil fuels, electricity, gases, emissions.*

**Мелконова Інна Вікторівна** – к.т.н., доц., завідувачка кафедрою електричної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, [melkonova@snu.edu.ua](mailto:melkonova@snu.edu.ua)

**Мелконов Г.Л.** – к.т.н., доц., завідувач кафедрою механізації сільського господарства Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, [g.melkonov@snu.edu.ua](mailto:g.melkonov@snu.edu.ua)

Стаття подана 18.02.2025.