

## Дослідження карбонового сліду систем централізованого теплопостачання

Володимир Михайлишин, студент<sup>1</sup> (ORCID: 0009-0005-3508-2856)

<sup>1</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

### АНОТАЦІЯ

Дана робота описує дослідження та оцінку карбонового сліду систем централізованого теплопостачання за методологією Міжурядової групи експертів зі змін клімату.

*Ключові слова:* парникові гази, централізовані системи теплопостачання, карбон, паливо, викиди парникових газів.

### 1. ВСТУП

У сучасному світі, де антропогенний вплив на клімат досягає критичних меж, проблема скорочення викидів парникових газів стає одним із ключових викликів для сталого розвитку людства. Згідно даними Міжурядової групи експертів зі змін клімату [1], енергетичний сектор, зокрема система опалення та теплопостачання, є одним з основних джерел емісії вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) та інших парникових газів, що сприяють глобальному потеплінню.

Централізовані системи теплопостачання, які забезпечують теплом великі населені пункти, промислові об'єкти та житлові райони, відіграють значну роль у енергетичному балансі багатьох країн, особливо з холодним кліматом. Однак їх експлуатація, це високе споживання вичопного палива, та має значний карбоновий слід – сумарного обсягу викидів CO<sub>2</sub>-еквіваленту протягом усього життєвого циклу системи [2]. У цій тезі розглядають три методи оцінки викидів, запропоновані Міжурядовою групою експертів зі змін клімату, які забезпечують різний рівень точності та складності дослідження емісії CO<sub>2</sub> та інших парникових газів.

### 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Дослідження та оцінку викидів карбону можна здійснити за трьома підходами згідно [3].

В першому підході, викладено методику розрахунку, яка вимагає найменше даних і відповідно дає найменш точну оцінку викидів. У випадку коли потрібно дати більш точну оцінку викидів, потрібно переходити до другого та третього підходу котрі вимагають значно більше даних у порівнянні з першим методом.

Перший метод [3] для оцінки викидів, передбачає наявність даних про кількість спаленого палива відповідної категорії джерела та коефіцієнт викидів парникових газів, та представлений наступною формулою:

$$E_{GHG, fuel} = FC_{fuel} \cdot EF_{GHG, fuel} \quad (1)$$

де  $E(Emissions)_{GHG, fuel}$  – викиди парникових газів «GHG» від палива типу «fuel»;

$FC(Fuel Consumption)_{fuel}$  – кількість спожитого палива;

$EF(Emission Factor)_{GHG, fuel}$  – коефіцієнт викидів парникових газів.

Отримані значення за формулою (1) сумуємо, та знаходимо значення загальних викидів парникових газів «GHG» від палива типу «fuel»:

$$Emissions_{GHG} = \sum_{fuels} Emission_{GHG, fuel} \quad (2)$$

На відміну від першого методу, другий вимагає дані про кількість спожитого палива відповідної категорії джерела, та коефіцієнт викидів парникових газів країни для якої проводиться оцінка.

Тобто коефіцієнт викидів парникових газів обирається саме для країни, де проводиться оцінка викидів. Для обраної країни він може бути ідентичним коефіцієнту за замовчуванням чи відрізнятися від нього. Обираючи значення за країною, зменшується діапазон невизначеності, що дає більш точні результати в порівнянні з першим методом.

Третій метод [3] дає кращу оцінку парникових викидів, та потребує більший перелік даних:

1. Тип спожитого палива;
2. Технологія спалювання;
3. Умови експлуатації;
4. Технологія управління;
5. Якість обслуговування;
6. Вік обладнання, що використовується.

У цьому підході береться до уваги використання коефіцієнтів викидів, які визначаються на основі статистичних даних про споживання палива, розподілених за різними категоріями. Це демонструє, як змінні та параметри залежать від конкретної технології – тобто від будь-якого обладнання, процесу використання чи властивостей самого палива, що можуть впливати на викиди, та описується наступною формулою:

$$E_{GHG, technology} = FC_{fuel, technology} \cdot EF_{GHG, fuel, technology} \quad (3)$$

де  $E(Emissions)_{GHG, technology}$  – викиди парникових газів «GHG» від палива типу «fuel» за певним видом технології;

$FC(Fuel Consumption)_{fuel, technology}$  – кількість спожитого палива за певним видом технології;

$EF(Emission Factor)_{GHG, fuel, technology}$  – коефіцієнт викидів парникових газів за певним видом технології.

За [2] якщо кількість спаленого палива невідома, її можна визначити за допомогою моделей:

$$FC_{fuel, technology} = FC_{fuel} \cdot Penetration_{technology} \quad (4)$$

де  $Penetration_{technology}$  – частка, яку займає технологія серед усіх джерел, може бути визначена на основі вихідних даних, наприклад, обсягу виробленої електроенергії. Це дозволяє коректно врахувати відмінності у використанні різних технологій.

Щоб розрахувати викиди парникових газів для категорій джерел, результат формули (3) необхідно підсумувати для всіх технологій:

$$E_{GHG, fuel} = \sum FC_{fuel, technology} \cdot EF_{GHG, fuel, technology} \quad (5)$$

Тобто застосування третього методу, дає можливість отримання якісної оцінки викидів парникових газів «GHG» від палива типу «fuel».

Часто немає потреби застосовувати третій метод для оцінки викидів CO<sub>2</sub>, адже ці викиди не залежать від способу спалювання. Проте інформація про викиди на рівні окремих підприємств стає все доступнішою й викликає зростаючий інтерес у контексті торгівлі квотами на викиди.

Нижче наведена порівняльна характеристика значень розрахункових коефіцієнтів викидів парникових газів, із даними значеннями з [4] бази даних парникових викидів МГЗК.

Таблиця 1: Порівняльна таблиця питомих коефіцієнтів викидів CO<sub>2</sub>

	Розрахункові локальні	МГЗК
Теплова енергія $\frac{\text{кгCO}_2_{\text{екв}}}{\text{Гкал}}$ / $\frac{\text{кгCO}_2_{\text{екв}}}{\text{ТДж}}$	771/184185	410
Тепловтрати $\frac{\text{кгCO}_2_{\text{екв}}}{\text{Гкал}}$ / $\frac{\text{кгCO}_2_{\text{екв}}}{\text{ТДж}}$	771/184185	410
Електроенергія $\frac{\text{кгCO}_2_{\text{екв}}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$	0,3	0,3-0,9
Мануфактура $\frac{\text{кгCO}_2_{\text{екв}}}{\text{т}}$	1806	1600
Перевезення $\frac{\text{кгCO}_2_{\text{екв}}}{\text{тхкм}}$	0,147	0,183

### 3. ВИСНОВКИ

Дослідження карбонового сліду систем центрального тепlopостачання є актуальною темою, так як глобальні зобов'язання за паризькою угодою та Європейським зеленим курсом (European Green Deal) вимагають від країн скорочення викидів на 55% до 2030 року порівняно з 1990 роком [5].

Україна, як асоційований член ЄС, активно інтегрується в ці процеси, приймаючи національні стратегії з декарбонізації енергетики, та націлена знизити викиди CO<sub>2</sub> на 65% до 2030 року від рівня 1990 року [6]. Також в Україні працюють системи центрального тепlopостачання збудовані за радянських часів, котрі низько ефективні, зі значними втратами тепла в мережах.

Отже дослідження карбонового сліду систем центрального тепlopостачання за допомогою трьох методів оцінки викидів демонструє гнучкість цих підходів до різних сценаріїв. Перший метод забезпечує швидку загальну

оцінку на основі стандартних коефіцієнтів, другий метод враховує регіональні особливості, а третій метод пропонує найточніші розрахунки з використанням детальних даних. Інтеграція цих методів у національні стратегії сприятиме досягненню цілей Паризької угоди та сталого розвитку, підкреслюючи необхідність подальших досліджень для оптимізації систем тепlopостачання [7, 8].

### Список літератури

- [1] IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023 pp. 35-115., URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- [2] Елькін, Ю. Г., & Воїнов, О. П.. Про вплив на екологічну ефективність централізованих систем тепlopостачання. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, 2022, No 3-4(11-12), 39-44. URL: <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2022.03.07>
- [3] Ukraine's Greenhouse Gas Inventory 1990-2022. Annual National Inventory Report for Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Paris Agreement. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. Kyiv. 2024. URL: [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Ukraine\\_NIR\\_2024.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Ukraine_NIR_2024.pdf)
- [4] EFDB - Main Page. IPCC - Task Force on National Greenhouse Gas Inventories. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php> (date of access: 13.05.2025).
- [5] Кулінко, С. О., Кузицький, І. Т., & Погосов, О. Г. (2017). Теплові насоси як джерела низькотемпературного тепlopостачання. *Energy-efficiency in civil engineering and architecture*, (9), 132-136.
- [6] Pohosov, O., Pasichnyk, P., Kulinko, Y., Koziachyna, B., Melnychenko, O., & Osypov, V.. Devising a methodology for assessing seasonal thermal energy generation by a combined heat source. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2025, 133(8). URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.323755>
- [7] Lars Björnebo, Sabrina Spatari, Patrick L. Gurian, A greenhouse gas abatement framework for investment in district heating, *Applied Energy*, 2018, Volume 211, p. 1095-1105. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.003>
- [8] Dongwoo Kim, Jae Yong Lee, Hyunwoo Tak, Hyung Joon Kim. Optimization of Centralized-Distributed cooperative heat pump systems for Performance, Costs, and environmental benefits in electrified buildings, *Applied Thermal Engineering*, 2025, Volume 272, p.126464. URL: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.126464>

<sup>i</sup> Робота виконана під керівництвом канд. техн. наук, доц. Олександра Погосова.