

Методика розрахунку викидів парникових газів повного життєвого циклу системи централізованого теплопостачання

Володимир Михайлишин, студент ¹ (ORCID: 0009-0005-3508-2856),
 Артем Загорський, студент ¹ (ORCID: 0009-0001-1122-1103)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна,

АНОТАЦІЯ

Дана робота описує визначення коефіцієнтів парникових газів по джерелам при постачанні теплової енергії, для подальшої оптимізації і зменшення викидів парникових газів.

Ключові слова: парникові гази, клімат, централізована система теплопостачання, трубопровід, викиди парникових газів.

1. ВСТУП

Визначення коефіцієнтів викидів парникових газів за джерелами є важливим завданням для оцінки впливу енергетичного сектору на глобальні зміни клімату. Теплоенергетика є одним із основних джерел антропогенних викидів, відіграє ключову роль у формуванні стратегій декарбонізації та сталого розвитку. Визначення коефіцієнтів викидів парникових газів при постачанні теплової енергії дозволяє розробити ефективні заходи для зниження екологічного навантаження, а також оптимізувати постачання теплової енергії.

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Для визначення коефіцієнтів парникових газів, які виникають при постачанні теплової енергії, оберемо умовний трубопровід, умовної вхідної потужності Q_1 , при роботі трубопроводу теплової мережі протягом певного проміжку часу.

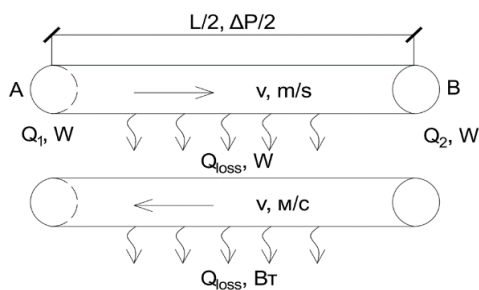


Рисунок 1. Фізична модель

Отже сумарні викиди парникових газів пов'язані з постачанням теплової енергії, будуть складатися:

- $E_{CO_2eq,pump}$ – викиди парникових газів, пов'язані з витратою електричної енергії на роботу двигуна мережевого насоса централізованої системи теплопостачання, кг CO₂-екв.;
- $E_{CO_2eq,heatloss}$ – викиди парникових газів, пов'язані з втратою теплової енергії на ділянці в наслідок

- тепловіддачі від поверхні трубопроводу до навколишнього середовища, кг CO₂-екв.;
- $E_{CO_2eq,fuel}$ – викиди парникових газів, пов'язані з генерацією теплової енергії на джерелі централізованої системи теплопостачання, кг CO₂-екв. (враховуються лише для розрахунків абсолютних значень викидів ПГ)
- $E_{CO_2eq,log}$ – викиди парникових газів, пов'язані зі спалюванням палива транспортними засобами при доставці труб, кг CO₂-екв.;
- $E_{CO_2eq,manuf}$ – викиди парникових газів, пов'язані з первинними процесами виробництва сталі (в даному дослідженні не включені викиди від прокату), кг CO₂-екв.

Викиди парникових газів, пов'язані з витратою електричної енергії на роботу двигуна насоса централізованої системи теплопостачання можуть бути представлені наступним чином:

$$E_{CO_2eq,pump} = FC_{pump} \cdot EF_{CO_2eq,el} \tag{1}$$

де FC_{pump} – витрата електричної енергії на роботу двигуна насоса, кВт·год;

$EF_{CO_2eq,el}$ – коефіцієнт викидів парникових газів пов'язаний зі спалюванням палива для виробництва електричної енергії.

Для фізичної моделі, поданої на Рис. 1 за [1,2,3] а також за [4,5,6] формула (1) може бути трансформована наступним чином:

$$E_{CO_2eq,pump} = \frac{\pi \cdot L \cdot \rho}{72.7 \cdot \eta} \Delta_E^{0.25} \cdot \tau \cdot 10^{-3} \cdot EF_{CO_2eq,el} \cdot v^3 \cdot d^{0.75} \cdot d^{0.75} \tag{2}$$

де η – ККД насоса (включно з ефективністю всіх його елементів), %;

τ – час роботи системи (припущенням є постійність витрати теплоносія протягом часу τ , або ж робота системи в діапазоні з якісним регулюванням відпуску теплової енергії), год;

d – діаметр трубопроводу системи теплопостачання на ділянці, м;

v – швидкість руху теплоносія на ділянці, м/с;

ρ – густина теплоносія, кг/м³;

L – довжина ділянки трубопроводу, м;

Δ_E – еквівалента абсолютна шорсткість (приймається на рівні 0.3 мм), мм.

Викиди парникових газів, пов'язані з генерацією теплової енергії на джерелі централізованої системи тепlopостачання можуть бути розраховані згідно залежності:

$$E_{CO_2eq,fuel} = FC_{fuel} \cdot EF_{CO_2eq,fuel}, \quad (3)$$

де FC_{fuel} – витрата палива, ТДж;

$EF_{CO_2eq,fuel}$ – коефіцієнт викидів парникових газів, пов'язаний з генерацією теплової енергії на джерелі централізованої системи тепlopостачання, кг CO₂-екв./ТДж.

Викиди парникових газів, пов'язані з втратою теплової енергії на ділянці внаслідок тепловіддачі від поверхні трубопроводу до навколишнього середовища, кг CO₂-екв. Можуть бути розраховані наступним чином:

$$E_{CO_2eq,heatloss} = FC_{heatloss} \cdot EF_{CO_2eq,heatloss}, \quad (4)$$

де $FC_{heatloss}$ – втрати теплової енергії, ТДж;

$EF_{CO_2eq,heatloss} = EF_{CO_2eq,fuel}$ – коефіцієнт викидів парникових газів пов'язаних з втратами теплової енергії на ділянці, який рівний коефіцієнту викидів парникових газів, пов'язаний з генерацією теплової енергії на джерелі централізованої системи тепlopостачання, кг CO₂-екв./ТДж.

Сумарні викиди парникових газів, пов'язані з доставкою матеріалів лінійних частин трубопроводів на ділянку будівництва можуть бути розраховані наступним чином:

$$E_{CO_2eq,log} = FC_{log} \cdot EF_{CO_2eq,log} \cdot \frac{T}{T}, \quad (5)$$

Для фізичної моделі, поданої на Рис. 1 формула (5) може бути трансформована наступним чином:

$$E_{CO_2eq,log} = \pi \cdot \vartheta \cdot (d + \vartheta) \cdot L \cdot \rho_{steel} \cdot L_{LOG} \cdot EF_{CO_2eq,log} \cdot 10^{-3} \cdot \frac{T}{T}, \quad (6)$$

де $EF_{CO_2eq,log}$ – коефіцієнт викидів парникових газів пов'язаний з транспортуванням труб, кг CO₂екв./тхкм;

L_{LOG} – довжина логістичних маршрутів, км;

T – термін експлуатації теплових мереж централізованого тепlopостачання, років.

$$E_{CO_2eq,manuf} = FC_{manuf} \cdot EF_{CO_2eq,manuf} \cdot \frac{T}{T}, \quad (7)$$

Для фізичної моделі, поданої на Рис. 1 формула (7) може бути трансформована наступним чином:

$$E_{CO_2eq,manuf} = \pi \cdot \vartheta \cdot (d + \vartheta) \cdot L \cdot \rho_{steel} \cdot 10^{-3} \cdot EF_{CO_2eq,manuf} \cdot \frac{T}{T}, \quad (8)$$

де $EF_{CO_2eq,manuf}$ – коефіцієнт викидів парникових газів пов'язаний з первинними процесами виробництва сталі, кг CO₂екв/т;

ϑ – товщина стінки труби, м;

ρ_{steel} – густина сталі, кг/м³.

3. ВИСНОВКИ

Дослідження визначення коефіцієнта парникових газів за джерелами дає можливість для розробки ефективних стратегій зменшення впливу парникових газів на зміну клімату, наприклад впровадження теплових насосів, як екологічна альтернатива тепlopостачання [7],[8], оптимізація теплових мереж.

Список літератури

- [1] Vogelesang, H. (2008). An introduction to energy consumption in pumps. *World pumps*, 2008 (496), 28-31. URL: [https://doi.org/10.1016/S0262-1762\(07\)70434-0](https://doi.org/10.1016/S0262-1762(07)70434-0)
- [2] Константинов Ю. М., Гіжа О. О. Технічна механіка рідини і газу: Підручник. – К.: Вища школа, 2002. – 277с.: іл. – ISBN 966-642-093-7
- [3] Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід: Підручник. – Київ: Фірма «Інкос», Центр навчальної літератури, 2006. – 616с. – ISBN 966-8347-38-2.
- [4] Scala Graduum Caloris. Calorum Descriptiones & Figna. (1700). *Philosophical Transactions (1683-1775)*, 22, 824–829. URL: <http://www.jstor.org/stable/102813>
- [5] Petrosyan, A. Determination of optimal thermal insulation layer thickness of outer structures of buildings according to the load of heating and cooling system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, 698. 022058. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/698/2/022058>
- [6] Başoğul, Yusuf & Demircan, Cihan & Keçebaş, Ali. Determination of optimum insulation thickness for environmental impact reduction of pipe insulation. *Applied Thermal Engineering*. 2016, 101. URL: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.03.010>
- [7] Кулінко, Є. О., Кузицький, І. Т., & Погосов, О. Г. Теплові насоси як джерела низькотемпературного тепlopостачання. *Energy-efficiency in civil engineering and architecture*, 2017, (9), 132-136.
- [8] 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>

ⁱ Робота виконана під керівництвом канд.техн.наук, доц. Олександра Погосова.