

Аналіз питомих викидів парникових газів при виробництві електричної енергії на атомних електростанціях України

Борис Литвиненко, студент¹ (ORCID: 0009-0001-7791-9221)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

АНОТАЦІЯ

У роботі проведено аналіз питомих викидів парникових газів при виробництві електроенергії на атомних електростанціях (АЕС) України. Розглянуто етапи життєвого циклу викидів, порівняно рівень викидів АЕС із традиційними та відновлюваними джерелами енергії. Визначено, що атомна енергетика є одним із найефективніших низьковуглецевих джерел, що сприяє досягненню цілей декарбонізації та енергетичної незалежності України.

Ключові слова: атомна енергетика, парникові гази, питомі викиди, декарбонізація, енергоефективність.

1. ВСТУП

Атомна енергетика відіграє ключову роль у забезпеченні енергетичної безпеки України. На відміну від теплових електростанцій, які спалюють викопне паливо, атомні електростанції використовують ядерне паливо, не створюючи прямих викидів CO₂ під час роботи реактора. Це робить АЕС важливим елементом стратегії скорочення викидів парникових газів та досягнення кліматичних цілей держави.

В Україні функціонує чотири атомні електростанції — Запорізька, Рівненська, Южно-Українська та Хмельницька, які сумарно виробляють понад 50% електроенергії країни. Такий внесок робить атомну енергетику основою національної системи електропостачання.

2. МЕТА РОБОТИ

Метою дослідження є визначення рівня питомих викидів парникових газів при виробництві електричної енергії на атомних електростанціях України, аналіз життєвого циклу цих викидів та порівняння їх з іншими джерелами енергії для оцінки ролі АЕС у процесі декарбонізації енергетичного сектору.

3. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Питомі викиди парникових газів (ПВГ) — це показник, який характеризує кількість викидів у перерахунку на одиницю виробленої електричної енергії. Зазвичай цей показник виражається в грамах CO₂-еквівалента на кіловат-годину (г CO₂-екв/кВт·год) і дає змогу порівнювати різні технології виробництва енергії за ступенем їхнього впливу на клімат [1].

Розрахунок питомих викидів враховує як прямі викиди (що виникають безпосередньо під час виробництва електроенергії), так і непрямі — пов'язані з видобутком палива, транспортуванням, будівництвом, технічним обслуговуванням і виведенням з експлуатації об'єктів.

Для оцінки використовують методологію, розроблену Міжурядовою групою експертів з питань змін клімату (IPCC [1]), яка визначає стандартні коефіцієнти викидів для різних типів джерел енергії.

У випадку атомних електростанцій питомі викиди формуються переважно на допоміжних етапах — наприклад, під час виробництва ядерного палива або утилізації відходів. Проте навіть з урахуванням цих факторів їхній рівень залишається у 40–80 разів нижчим, ніж у теплових станцій.

Середній показник питомих викидів для українських АЕС становить 10–15 г CO₂-екв/кВт·год, що відповідає найнижчому рівню серед існуючих джерел енергії. Це дозволяє віднести атомну енергетику до категорії низьковуглецевих технологій, які є ключовими для виконання Паризької кліматичної угоди [2].

Життєвий цикл атомної електростанції охоплює низку етапів, на кожному з яких можливі певні викиди парникових газів. Хоча під час безпосередньої роботи реактора CO₂ практично не утворюється, існують непрямі джерела, що формують повний вуглецевий слід.

Видобуток та збагачення урану передбачає енергомісткі процеси буріння, транспортування руди та хімічного збагачення. Викиди залежать від типу родовища й технології переробки. В середньому — до 30% загального вуглецевого сліду АЕС.

Виробництво бетону, сталі, кабельних систем і транспортування компонентів супроводжується викидами CO₂. Проте, зважаючи на тривалий термін експлуатації (40–60 років), ці викиди є незначними у перерахунку на кВт·год.

На етапі експлуатації та обслуговування утворюються лише непрямі викиди, пов'язані з витратами енергії на обслуговування систем охолодження, транспортування персоналу, технічні ремонти тощо.

Включає тимчасове зберігання, переробку та транспортування радіоактивних матеріалів. У сучасних українських умовах ці процеси відбуваються з мінімальними викидами завдяки впровадженню герметичних контейнерних систем.

Найменший за внеском етап — демонтаж, очищення території та утилізація будівельних матеріалів. Згідно з оцінками МАГАТЕ, він становить не більше ніж 5% загальних викидів життєвого циклу.

Порівняно з іншими технологіями, повний життєвий цикл атомної генерації має надзвичайно низький вплив на клімат.

4. ПИТОМІ ВИКИДИ АЕС У ПОРІВНЯННІ З ІНШИМИ ДЖЕРЕЛАМИ

Порівняльний аналіз питомих викидів різних типів електростанцій дозволяє чітко оцінити екологічну ефективність атомної енергетики.

За даними Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ) [3] та Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату (IPCC [4]), середні питомі викиди для основних джерел енергії мають такі значення:

Вугільні теплоелектростанції (ТЕС) — 820–1000 г CO₂-екв/кВт·год. Основна причина — пряме спалювання вугілля, яке викидає великі обсяги CO₂, а також супутні викиди метану (CH₄) та оксиду азоту (N₂O).

Газові електростанції — 400–500 г CO₂-екв/кВт·год. Хоча природний газ є «чистішим» за вугілля, він залишається викопним паливом, і викиди метану під час видобутку збільшують загальний кліматичний вплив.

Біоенергетика (біомаса) — 50–200 г CO₂-екв/кВт·год. Незважаючи на вуглецеву нейтральність у теорії, біоенергетика супроводжується викидами через транспортування, сушіння та спалювання сировини.

Сонячні електростанції — 30–100 г CO₂-екв/кВт·год. Основні викиди формуються під час виробництва кремнієвих панелей і систем зберігання енергії.

Вітрові електростанції — 10–20 г CO₂-екв/кВт·год. Найнижчий рівень викидів серед відновлюваних джерел, проте залежність від погодних умов обмежує стабільність генерації.

Гідроелектростанції — 4–48 г CO₂-екв/кВт·год, залежно від типу водосховища. При цьому можуть утворюватися біогенні викиди метану з мулових відкладів.

Для атомних електростанцій, за даними МАГАТЕ, середній показник становить 12 г CO₂-екв/кВт·год, що ставить їх у ряд із вітровими станціями за рівнем вуглецевої чистоти.

Навіть з урахуванням усіх етапів життєвого циклу — від видобутку урану до зняття з експлуатації — АЕС залишається одним із найменш вуглецевоємних способів виробництва електроенергії у світі.

Крім того, атомна генерація має низку додаткових переваг над відновлюваними джерелами:

1. Стабільність базового навантаження. На відміну від сонячних і вітрових станцій, АЕС можуть працювати безперервно 24/7.

2. Висока щільність енергії. Один грам урану-235 містить енергетичний потенціал, еквівалентний приблизно 3 тоннам вугілля.

3. Мінімальна потреба у площі. Для виробництва тієї ж кількості енергії АЕС потребує в 50–100 разів менше землі, ніж сонячна станція.

5. РОЛЬ АЕС У ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІЙ БЕЗПЕЦІ УКРАЇНИ

Атомна енергетика є стратегічною складовою енергетичного балансу України. Вона не лише забезпечує понад половину національного виробництва електроенергії, а й сприяє скороченню парникових викидів більш ніж на 60 млн тонн CO₂ щорічно у порівнянні з еквівалентною генерацією з вугілля [5].

У контексті Європейського зеленого курсу та зобов'язань України щодо кліматичної нейтральності до

2050 року, розвиток АЕС стає одним із головних інструментів декарбонізації енергетичного сектору [6].

Крім екологічних переваг, атомна енергетика забезпечує: високу стабільність енергопостачання — на відміну від відновлюваних джерел, не залежить від погодних умов; енергетичну незалежність — поступове розширення власного паливного циклу зменшує імпорتنу залежність; економічну ефективність — собівартість електроенергії з АЕС залишається однією з найнижчих у структурі енергетики України [7–9].

Згідно зі стратегією Міненерго України до 2050 року, передбачено [6]:

- добудову енергоблоків ХАЕС-3 та ХАЕС-4;
- впровадження малих модульних реакторів (SMR) — як інноваційного напрямку розвитку;
- інтеграцію АЕС у європейську систему ENTSO-E.

Список літератури

- [1] Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів URL: https://www.ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2008/452/metod.htm
- [2] Аналітичний звіт. Вплив ядерної галузі на розвиток України, 2020. URL: <https://ukrms.org/wp-content/uploads/2023/02/analitichnij-zvit-ukryat-2020.pdf>
- [3] Climate Change and Nuclear Power 2020. URL : https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1911_web.pdf
- [4] IPCC WGI Interactive Atlas URL : <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>
- [5] Екодія. Декарбонізація секторів економіки України. URL: <https://ecoaction.org.ua/dekarbonizatsia-ekonomiky-ua.html>
- [6] Міненерго України. Стратегія розвитку атомної енергетики України до 2050 року. Київ, 2024. URL: <https://mev.gov.ua/reforma/enerhetychna-stratehiya-0>
- [7] Енергетичний перехід :вебсайт. URL: <https://energytransition.in.ua/do-2050-roku-ukrayina-mozhe-otrymuvaty-91-ener/>
- [8] Енергетичний перехід :вебсайт. URL: <https://energytransition.in.ua/do-2050-roku-ukrayina-mozhe-otrymuvaty-91-ener/>
- [9] Energyx. Роль атомної енергетики у декарбонізації. URL: <https://energyx.com.ua/%D1%80%D0%BE%D0%BB%D1%8C-%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D1%97-%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8-%D1%83-%D0%B4%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%B1%D0%BE%D0%BD%D1%96%D0%B7/>

ⁱ Робота виконана під керівництвом канд. техн. наук, доц. Михайло Кириченко