

УДК 620.9:504

Є.В. ЩЕРБИНА, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-1565-4547

Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

## ОЦІНКА ЛЕТУЧИХ ВИКИДІВ У ГАЗОВІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ З ВРАХУВАННЯМ УТОЧНЕНЬ 2019 Р. ДО КЕРІВНИХ ПРИНЦИПІВ МГЕЗК 2006 Р. З НАЦІОНАЛЬНИХ ІНВЕНТАРИЗАЦІЙ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ

*Досліджено стан викидів парникових газів у газовій галузі відповідно до Національного кадастру антропогенних викидів з джерел і абсорбції поглиначами парникових газів в Україні. Проаналізовано формування показників летучих викидів метану і двоокису вуглецю в останньому Національному кадастрі згідно Керівних принципів інвентаризацій парникових газів МГЕЗК 2006 р. Розробка Уточнень 2019 р. до Керівних принципів МГЕЗК 2006 р. призвела до необхідності вивчення і застосування змін у методах і практиках для національних інвентаризацій антропогенних викидів та абсорбції парникових газів, які застосовуються при формуванні національних кадастрів. Оцінено летучі викиди у газовій галузі України за 2019 р. з врахуванням Уточнень 2019 р. і зроблено порівняльний аналіз отриманих результатів з показниками Національного кадастру.*

*К л ю ч о в і с л о в а:* газова галузь, викиди парникових газів, метан, двоокис вуглецю, кадастр.

Зміна клімату, що пов'язана з викидами парникових газів (ПГ), є однією з найгостріших проблем нашої планети. Для оцінки ризиків та можливих наслідків антропогенної зміни клімату у 1988 р. створено Міжурядову групу експертів з питань змін клімату (МГЕЗК). Доповіді МГЕЗК вважаються найбільш авторитетною науковою оцінкою зміни клімату і використовуються в роботі країн-сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (РКЗК ООН).

У складі МГЕЗК працює цільова група з національних кадастрів парникових газів. Вона займається розробкою, узагальненням і уточненням методів і практик для національних інвентаризацій антропогенних викидів та абсорбції ПГ, які застосовують країни-сторони РКЗК ООН при формуванні кадастрів. У 2006 р. групою були розроблені «Керівні принципи національних інвентаризацій парникових газів МГЕЗК» [1] (далі – Керівні принципи-2006), які використовуються при створенні національних кадастрів ПГ, зокрема і Україною як стороною РКЗК ООН.

Згідно Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990–2019 рр. [2] (далі – Кадастр-2021) найбільші викиди ПГ в Україні здійснюються у секторі «Енергетика». У 2019 р. частка цього сектору становила близько

66% загальних викидів парникових газів. Якщо приблизно 78% викидів у енергетичному секторі припадає на викиди у категорії від спалювання палива, то майже 22% – це летучі викиди від поводження з викопними паливами (випадкові та технологічні або планові вивільнення парникових газів при розвідці, видобуванні, підготовленні до транспортування, транспортуванні та зберіганні, розподіленні і споживанні викопних видів палива, а також факельне спалювання).

Частка летучих викидів від поводження з паливами (вугіллям, нафтою, газовим конденсатом, природним газом) у загальних викидах ПГ в енергетичному секторі у період 1990–2000 рр. поступово зростала – з 17,6% у 1990 р. до 28,7% – у 2000 р., що пояснюється старінням інфраструктури та промислового капіталу країни. З 2001 р. частка летучих викидів поступово зменшувалась у зв'язку з діяльністю у сфері енергоефективності, заміни джерел енергії, скорочення обсягів видобування, транспортування та споживання природного газу і досягла відмітки 21,9% у 2019 р.

Згідно даних Кадастру-2021 [2], викиди у категорії «Летучі викиди від палива» у 2019 р. становили 47,93 млн т CO<sub>2</sub>-екв., з них 12,68 млн т (26,45%) у підкатегорії «Тверді палива» і 35,26 млн т (73,55%) у підкатегорії «Нафта та природний газ». При цьому 95% летучих викидів ПГ припадає на газову галузь (33,3 млн т CO<sub>2</sub>-екв. у 2019 р.) і лише 5% – на діяльність з нафтою, що

© Є.В. ЩЕРБИНА, 2021

обумовлено незначними обсягами її видобування і транспортування. Загалом 70% летучих викидів від палива (вугілля, нафта і природний газ) виникає завдяки діяльності газової галузі України.

Основними ПГ, що виникають при розвідці, видобуванні, підготовленні до транспортування, транспортуванні та зберіганні, розподіленні та споживанні природного газу, є двоокис вуглецю і метан. Згідно даних П'ятої оціночної доповіді МГЕЗК [3], потенціал глобального потепління 100-річного часового горизонту для метану становить 28, тобто у 28 разів перевищує показники двоокису вуглецю і в 84 рази – за 20-річний період. Очікується, що у Шостій оціночній доповіді МГЕЗК, яка планується у 2022 р., ці показники можуть збільшитись. Згідно даних Кадастру-2021 [2], викиди метану у газовій галузі України у 2019 р. становили приблизно 1,26 млн т, а двоокису вуглецю – 1,8 млн т. Але з використанням потенціалу глобального потепління (у Кадастрі-2021 використовується попереднє значення потенціалу 25) у перерахунку до CO<sub>2</sub>-еквіваленту викиди метану у газовій галузі дають найбільший вклад у загальні викиди ПГ і становлять 35,25 млн т CO<sub>2</sub>-екв. (95% всіх викидів у галузі). Найбільші витоки метану, за даними Кадастру-2021, у 2019 р. відбувались при видобуванні (21,3%), розподіленні (55,6%) і споживанні (18,3%) газу, що обумовлено низьким технічним станом газорозподільних мереж, їх неоптимальною структурою, відсутністю обліку втрат.

Основними джерелами летучих викидів парникових газів у газовій галузі є витоки устаткування видобувних підприємств, випадкові і неконтрольовані викиди свердловин та протікання, викиди з місць з'єднань, клапанів магістральних газопроводів, їх продувка, викиди при введенні в експлуатацію, виведенні з експлуатації та поточному ремонті газоперекачувальних агрегатів, витоки через фланці, сполучні деталі трубопроводів і різного типу клапани газорозподільних мереж. Викиди і витоки метану є як організованими, що обумовлено особливостями технологічних процесів у газовій галузі, так і неорганізованими, що виникають внаслідок аварій і зносу обладнання.

Для оцінки летучих викидів парникових газів (витоки, вентилявання, спалювання) у газовій галузі, згідно Керівних принципів-2006 [1], рекомендується розподіляти технологічні процеси на складові шляхом виділення наступних підкатегорій:

- підкатегорія пошуково-розвідувальних робіт включає летучі викиди від діяльності на газовому родовищі до видобування газу;

- підкатегорія видобування газу включає викиди при видобуванні від устя газової свердловини

до входу на газопереробні підприємства або, де переробка не потрібна, до пунктів з'єднання в газотранспортних системах;

- підкатегорія підготовки газу до транспортування включає летучі викиди при обробці газу (на цьому етапі з сировинного газу видаляються газові рідини та різні інші складові, наприклад, сірка, що призводить до утворення газу «якості трубопроводу», який закачується в газотранспортну систему);

- підкатегорія транспортування газу магістральними газопроводами і зберігання у сховищах включає летучі викиди від транспортування підготовленого газу до промислових споживачів (електростанції і хімічні підприємства) та газорозподільних мереж зі зберіганням газу. Також ця підкатегорія включає викиди на станціях зрідженого природного газу (ЗПГ) і на терміналах з імпорту та експорту ЗПГ;

- підкатегорія розподілення газу споживачам газорозподільними мережами включає летучі викиди від розподілу газу через розподільчу мережу до кінцевих споживачів (зі зниженням тиску);

- підкатегорія споживання природного газу житловим і комерційним секторами включає викиди за межами лічильників газу з внутрішніх трубопроводів і пристроїв, наприклад, при опаленні будинків та підігріву води, при роботі газових плит і печей, а також викиди від транспортних засобів, що працюють на газі.

Викиди у кожній підкатегорії визначаються окремо, а потім підсумовуються.

Керівні принципи-2006 пропонують три методичні рівні кількісної оцінки викидів:

- рівень 1 застосовує коефіцієнти викидів за замовчуванням до даних про діяльність (коефіцієнти наведені в Керівних принципах-2006 [1]);

- рівень 2 також застосовує коефіцієнти викидів, але національні, які розроблені для певної країни на основі досліджень і аналізу вимірювальних програм;

- рівень 3 заснований на оцінці знизу вгору, починаючи з об'єкта, і включає ідентифікацію джерел викидів для конкретного обладнання, вимірювання викидів, нормування викидів за типом обладнання тощо.

Рівень 3 є найбільш точним, рівень 1 характеризується значною невизначеністю.

Згідно даних Кадастру-2021 [2], оцінки викидів ПГ у розділі «Летучі викиди від палива» у категорії «Нафта та природний газ» виконувались з використанням першого і другого методичних рівнів. Для оцінки летучих викидів при розвідці, видобуванні та підготовленні газу до транспортування, а також від факельного спалювання застосовувались середні значення коефіцієнтів

викидів за замовчуванням рівня 1 для країн, що розвиваються і країн з перехідною економікою (табл. 4.2.5 глави 4 тому 2 Керівних принципів-2006). Дані коефіцієнти наведені у табл. 1.

**Таблиця 1.** Коефіцієнти викидів ПГ за замовчуванням рівня 1 (кг/млн м<sup>3</sup> видобутого газу) [1]

Діяльність	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
Пошуково-розвідувальні роботи	80400	747
Видобування газу	97	12190
Підготовки до транспортування	250	790
Факельне спалювання	3550	2,28

Витоки метану у 2019 р. при споживанні природного газу були розраховані з використанням середніх значень коефіцієнтів за замовчуванням рівня 1 згідно Керівних принципів МГЕЗК 1996 р.: 279,5 т/ПДж – коефіцієнт витоків метану на промислових підприємствах і електростанціях та 139,5 т/ПДж – коефіцієнт витоків метану у побутовому і комерційних секторах. Використовуючи ці коефіцієнти, а також обсяги споживання газу у промисловості (19,3 млрд м<sup>3</sup>) та побутовому і комерційному секторах (9,2 млрд м<sup>3</sup>) у 2019 р., розраховується середньозважений коефіцієнт витоків метану при споживанні природного газу (243,42 т/ПДж). Коефіцієнт витоків CO<sub>2</sub> при споживанні газу (1,2 т/ПДж) розраховується за допомогою коефіцієнта витоків CH<sub>4</sub> і співвідношення об'ємних часток двоокису вуглецю і метану у природному газі у поточному році (відповідно 0,48 і 93,7% у 2019 р. за даними Кадастру-2021).

При формуванні Кадастру-2021 для розрахунків витоків ПГ при транспортуванні та розподіленні природного газу використовуються коефіцієнти рівня 2, які розраховуються за національною методикою (додаток А2.8 Кадастру-2021 [2]). Коефіцієнти витоків метану та двоокису вуглецю при транспортуванні газу розраховуються як відповідні частки CH<sub>4</sub> і CO<sub>2</sub>, що містяться у природному газі (з урахуванням густини CH<sub>4</sub> і CO<sub>2</sub>), від коефіцієнта витоків газу при транспортуванні, який розраховується з форм державної статистичної звітності як втрати при транзиті та технологічні витрати на неенергетичні цілі. Аналогічним чином розраховуються коефіцієнти витоків метану і двоокису вуглецю при розподіленні газу – на основі коефіцієнту витоків природного газу в газорозподільчих мережах, який також формується з форм державної звітності як втрати газу при споживанні та технологічні потреби на неенергетичні цілі при споживанні газу.

Аналіз національних коефіцієнтів рівня 2 показує, що коефіцієнти витоків при транспортуванні газу дуже наближені до коефіцієнтів рівня 1 за замовчуванням з Керівних принципів-2006 (коливання в межах 10% від мінімальних значень коефіцієнтів рівня 1). У той же час національні коефіцієнти витоків при розподіленні газу значно перевищують коефіцієнти рівня 1 за замовчуванням. Так, національний коефіцієнт витоків CO<sub>2</sub> при розподіленні газу перевищує середнє значення коефіцієнта за замовчуванням у 4 рази (384,42 і 95,5 кг/млн м<sup>3</sup> відповідно), а національний коефіцієнт витоків CH<sub>4</sub> більше середнього значення аналогічного коефіцієнта за замовчуванням майже в 14 разів (25 і 1,8 т/млн м<sup>3</sup> відповідно). Це вказує на те, що кількісні показники летучих викидів на магістральних газопроводах відповідають міжнародній практиці, в той час як у газорозподільчих мережах значно перевищені, що свідчить про їх низький технічний стан та відсутність належного обліку втрат.

У 2017–2019 рр. цільова група МГЕЗК з національних кадастрів ПГ розробила Уточнення до Керівних принципів національних інвентаризацій ПГ 2006 р. [4] (далі – Уточнення-2019), які були прийняті як методологічна доповідь на 49-й сесії МГЕЗК у травні 2019 р. [5]. Розробка Уточнень-2019 обумовлена удосконаленням існуючих і появою нових технологій у світовій економіці, що привело до необхідності оновлення параметрів викидів та врахування нових джерел і поглиначів викидів. Уточнення-2019 є актуалізацією Керівних принципів-2006 у сучасних умовах і розвивають підходи, які використовуються в основному документі, а саме, в основі оцінки викидів лежить принцип балансу маси, за яким значення потоку антропогенних викидів та абсорбції ПГ розраховуються як добуток об'єму діяльності і відповідного цьому виду діяльності коефіцієнта викиду (абсорбції) на одиницю діяльності.

Метою даної роботи є вивчення і застосування змін у методах оцінки летучих викидів у газовій галузі України з урахуванням Уточнень-2019 і проведення порівняльного аналізу отриманих результатів з показниками Кадастру-2021.

Уточнення-2019 слід розглядати як оновлену редакцію Керівних принципів-2006. Зміни торкнулися оцінки викидів лише у тих категоріях, в яких за останній час відбулися технологічні зміни, з'явилися нові наукові дані або нові види діяльності. Це зумовило необхідність розробки додаткових методик і практик.

У секторі «Енергетика» вдосконалена методологія оцінки викидів ПГ при видобутку викопних палив, а також оновлені коефіцієнти викидів за видами діяльності та додані коефіцієнти викидів для

нових технологічних операцій видобутку нафти і природного газу (технології гідророзриву пластів) і нових підкатегорій (закриті і ліквідовані свердловини). На відміну від Керівних принципів-2006, де коефіцієнти викидів задаються в широкому діапазоні (мінімальні і максимальні значення), у новому документі пропонується єдине значення для коефіцієнтів за замовчуванням. Також на відміну від Керівних принципів-2006, де пропонувалися коефіцієнти за замовчуванням окремо для розвинутих країн та країн, що розвиваються і країн з перехідною економікою, Уточнення-2019 пропонують єдині для всіх країн коефіцієнти за категоріями. Також в Уточненнях-2019 присутня більша кількість підкатегорій, що відповідають різним видам технологій.

В Уточненнях-2019 коефіцієнти викидів за замовчуванням рівня 1 пропонуються для різних одиниць виміру діяльності. Їх можна обрати залежно від наявних даних виміру діяльності: кількість свердловин або об'єм видобутого газу для розвідки і видобування, об'єм видобутого або підготовленого газу для підготовки для транспортування, об'єм спожитого газу або протяжність трубопроводів для транспортування і розподілу газу. Для оцінки викидів при споживанні газу з'явилися питомі коефіцієнти викидів для одиниці транспортного засобу, що працює на газі, та одиниці устаткування у побутовому і комерційному секторах.

В Уточненнях-2019 у підкатегорії пошуково-розвідувальних робіт на відміну від документа 2006 р. коефіцієнти не розбиваються на буріння, випробування та обслуговування свердловин, а застосовується єдиний коефіцієнт для пошуково-розвідувальних робіт. Також у новому документі доступні коефіцієнти викидів як для традиційної наземної розвідки газу, так і коефіцієнти для нетрадиційної розвідки з гідророзривом пластів. За можливістю пропонується розділяти дані про викиди при нетрадиційній та традиційній розвідках. Коефіцієнти викидів для нетрадиційної розвідки доступні у двох варіантах – без факельного спалювання або уловлювання газу та з ним. Дані про викиди при розвідці на морському шельфі відсутні та вважаються дуже незначними.

У підкатегорії видобування газу Уточнення-2019 пропонують коефіцієнти викидів для видобутку газу на суші, видобутку метану з вугільних пластів, систем збирання газу та для видобутку газу на морі. У Керівних принципах-2006 пропонувалися лише два коефіцієнти (летучі викиди та спалювання) для категорії видобування газу. Коефіцієнти викидів при видобуванні газу на суші (крім метану з вугільних пластів) представлені в одиницях як тони на свердловину, так

і в тонах на мільйон кубометрів видобутого газу. Експерти МГЕЗК вважають, що кількість видобувних свердловин кращим чином відображає викиди від видобутку газу і при наявності точних і повних даних підрахунку свердловин слід застосовувати саме їх. Пропонується два варіанти коефіцієнтів викидів залежно від використання технологій і практик – високо-емісійних або низько-емісійних, наприклад, якщо застосовується система виявлення і усунення витоків LDAR (leak detection and repair).

У підкатегорії підготовки газу до транспортування в Уточненнях-2019 коефіцієнти викидів пропонуються для обсягів як підготовленого газу, так і для видобутого газу. Також доступні коефіцієнти викидів для різних технологій – для випадків з використанням програм LDAR і не менше 50% відцентрових компресорів з сухим ущільненням та випадків, коли така інформація невідома, або обмежені (відсутні) програми LDAR і менше половини компресорів мають сухі ущільнення. Якщо відбувається видалення кислого газу, в Уточненнях-2019 пропонується відповідний коефіцієнт викидів, який слід застосовувати до частини газу, обробленого із видаленням кислих газів. У Керівних принципах-2006 пропонувалися коефіцієнти викидів ПГ при підготовленні газу до транспортування для різних видів газу і устаткування (для нейтрального газу, для високосірчистого нафтового газу, для глибокого видалення) та підсумкові зважені показники за замовчуванням.

У підкатегорії транспортування і зберігання газу коефіцієнти викидів представлені як в тонах на мільйон кубометрів спожитого газу, так і в тонах на кілометр газопроводу. На думку експертів МГЕЗК, довжина газопроводу краще відображає викиди при транспортуванні газу, і тому при доступності даних про довжину газопроводів краще використовувати саме їх і відповідний коефіцієнт. В Уточненнях 2019 р. пропонується два варіанти коефіцієнтів викидів – для випадку, коли обмежені або відсутні програми LDAR або менше 50% відцентрових компресорів мають сухі ущільнення, та для випадку використання програм LDAR і більше половини компресорів мають сухі ущільнення. Для коефіцієнтів викидів при зберіганні газу (застосовуються окремо) також пропонується два варіанти – для випадків з обмеженими системами LDAR або використанням високо-емісійних технологій і практик та для випадків широкого застосування LDAR або низько-емісійних технологій. На відміну від Керівних принципів 2006 р., у новому документі запропоновано коефіцієнти викидів при зберіганні та імпорту/експорту зрідженого природного газу (в тонах на станцію).

У підкатегорії розподіл газу коефіцієнти викидів представлені як в тонах на мільйон кубометрів спожитого газу, так і в тонах на кілометр трубопроводу. Як зазначено в Уточненнях-2019, довжина газорозподільного трубопроводу краще відображає викиди при розподіленні газу і тому, якщо ці дані є в наявності, слід їх застосовувати. Пропонується два варіанти коефіцієнтів викидів – для випадку, коли менше половини трубопроводів з пластику або обмежені або відсутні програми LDAR, та для випадку, коли застосовуються програми LDAR і більше 50% пластикових трубопроводів. В Уточненнях 2019 р. пропонуються коефіцієнти викидів при короткостроковому поверхневому зберіганні газу під час розподілу. Маються на увазі штучні наземні складські сховища середніх розмірів (сферичні та трубні резервуари, інші контейнери низького тиску), які допомагають задовільнити і врівноважити швидкі коливання попиту газу. Так як міський газ за складом відрізняється від природного, у новому документі запропоновані окремі коефіцієнти викидів для міського газу.

В Уточненнях 2019 р. з'явилася нова підкатегорія викидів – закриті та ліквідовані свердловини. Наявна інформація про покинуті (занедбані) свердловини не вказує на чітке розмежування таких нафтових і газових об'єктів, тому запропоновані у цій підкатегорії коефіцієнти викидів дійсні як для нафтових, так і для газових свердловин. Пропонуються коефіцієнти викидів за замовчуванням для метану. Представлені коефіцієнти окремо для наземних і морських свердловин. Занедбані свердловини можна розділити на такі, що належним чином виведенні з експлуатації і ліквідовані відповідно до правил, і такі, що регулярно не перевіряються і не ремонтуються, але не виведені з експлуатації. Для кожного з цих типів свердловин запропоновано окремі коефіцієнти. Для випадку, коли недостатня або відсутня інформація про таке розділення, пропонується коефіцієнт викидів для всіх типів закритих і ліквідованих свердловин. Треба зазначити, що незважаючи на високу невизначеність запропонованих коефіцієнтів, вони мають дуже малі значення. Так, наприклад, значення коефіцієнта для різних типів наземних ліквідованих свердловин дорівнює 12 кг  $\text{CH}_4$  на одну свердловину, в той час як викиди метану при видобуванні газу на одну діючу свердловину згідно Уточнень-2019 складають 7,07 т.

При необхідності розрахувати окремо витки або викиди від вентилювання або факельного спалювання у додатках Уточнень-2019 запропоновані таблиці дезагрегації коефіцієнтів викидів, де представлені відсотки викидів відповідно від

витоків, вентилювання та спалювання у наборах даних, що використовуються для коефіцієнтів за замовчуванням першого рівня.

Автором було виконано порівняльний аналіз оцінок летучих викидів парникових газів у 2019 р. від газової галузі України з урахуванням Уточнень-2019 до Керівних принципів-2006 та оцінок згідно Кадастру-2021. У табл. 2 наведено розрахунки летучих викидів ПГ у газовій галузі у 2019 р. згідно Уточнень-2019. Оцінка викидів розрахована окремо для кожної підкатегорії. Для підкатегорії транспортування та зберігання газу і підкатегорії розподілу газу використовувалися національні коефіцієнти рівня 2. Для інших підкатегорій застосовувалися коефіцієнти за замовчуванням рівня 1 згідно Уточнень-2019 [4] (табл. 4.2.4 глави 4 тому 2). Дані про діяльність застосовані за 2019 р. згідно Кадастру-2021 [2]. Кількість законсервованих і ліквідованих газових свердловин прийнята 3500 згідно даних Державної служби геології та надр України [6].

Треба зазначити, що значну частку (майже 65%) загальних викидів метану дає підкатегорія розподілу газу, незважаючи на використання національних коефіцієнтів рівня 2, які вважаються більш точними, ніж коефіцієнти рівня 1. Порівняння національного коефіцієнту викиду метану при розподілі газу з відповідним коефіцієнтом рівня 1 з Уточнень-2019 показує значну відмінність і перевищення у 8,5 разів (25 т і 2,92 т на млн  $\text{m}^3$  спожитого газу відповідно). Також треба зазначити, що показник викиду метану в новій підкатегорії законсервованих і ліквідованих свердловин дуже незначний і зовсім не впливає на загальний обсяг викидів.

Для порівняльного аналізу отриманих оцінок у табл. 3 наведено розрахунки летучих викидів у газовій галузі за 2019 р. згідно даних Кадастру-2021 [2] (CRF табл. 1.В.2.в), розраховані у відповідності до Керівних принципів-2006. Для підкатегорій транспортування і зберігання газу та розподілу газу застосовуються національні коефіцієнти рівня 2, для всіх інших підкатегорій – коефіцієнти за замовчуванням рівня 1 [1].

Порівняння розрахунків викидів у табл. 2 і 3 вказує на значні розбіжності результатів. Це пояснюється різницею у коефіцієнтах за замовчуванням рівня 1 для пошуково-розвідувальних робіт, видобування газу і підготовки газу до транспортування у Керівних принципах-2006 і в Уточненнях-2019. Поява нової підкатегорії у табл. 2 (законсервовані і ліквідовані свердловини) не впливає на загальні результати через малі значення. Треба зазначити, що найбільші розбіжності в оцінках викидів присутні у підкатегорії пошуково-розвідувальних робіт. Це пов'язано з

**Таблиця 2.** Летучі викиди ПГ у газовій галузі України за 2019 р., розраховані згідно Уточнень-2019

Підкатегорія	Діяльність			Коефіцієнти викидів (т/одиницю діяльності)		Викиди (тис. т)	
	Опис	Одиниці виміру	Значення	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
Пошуково-розвідувальні роботи	Видобутий газ	млн м <sup>3</sup>	21995,51	0,06	0,05	1,32	1,10
Видобування газу	Видобутий газ	млн м <sup>3</sup>	21995,51	4,09	1,45	89,96	31,89
Підготовлення до транспортування	Підготовлений газ	млн м <sup>3</sup>	21995,51	1,83	0,12	40,25	2,64
Транспортування і зберігання газу	Транспортований газ	млн т	98,52	268,22	6,186	26,42	0,61
Розподіл газу	Спожитий газ	млн м <sup>3</sup>	28010	25,00	0,384	700,30	10,76
Споживання газу	Спожитий газ	ПДж	981,86	234,42	1,2	230,17	1,18
Законсервовані та ліквідовані свердловини	Кількість	шт.	3500	0,012	–	0,042	–
Разом						1088,46	48,18

тим, що у Керівних принципах-2006 для оцінки летучих викидів при пошуково-розвідувальних роботах у нафтогазовій галузі в цілому пропонується коефіцієнти рівня 1 в тонах на тисячу м<sup>3</sup> видобутої нафти без розподілу на нафтові та газові свердловини, а в Кадастрі-2021 ці коефіцієнти застосовуються для оцінки викидів при розвідці як нафти в тонах на тисячу м<sup>3</sup> видобутої нафти, так і газу в тонах на млн м<sup>3</sup> видобутого газу, що здається некоректним. Це значно завищує показники летучих викидів при пошуково-розвідувальних роботах і в газовій галузі взагалі.

При порівняльному аналізі викидів при видобуванні газу та підготовленні газу до транспортування у табл. 2 і 3 слід враховувати, що викиди від факельного спалювання в табл. 3 виділені окремо і для коректного порівняння з результатами табл. 2 необхідно до коефіцієнтів викидів при видобуванні і підготовленні до транспортування з табл. 3 додати коефіцієнти викидів при спалюванні, що присутні в табл. 3 окремим рядком. Для метану цей коефіцієнт не значний (2,28E-03 т на млн м<sup>3</sup>) і майже не впливає на коефіцієнти викидів 12,19 т і 0,79 т для видобування і підготовлення газу від-

**Таблиця 3.** Летучі викиди ПГ у газовій галузі України за 2019 р. згідно Кадастру-2021 [1]

Підкатегорія	Діяльність			Коефіцієнти викидів (т/одиницю діяльності)		Викиди (тис. т)	
	Опис	Одиниці виміру	Значення	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
Пошуково-розвідувальні роботи	Видобутий газ	млн м <sup>3</sup>	21995,51	0,747	80,40	16,43	1768,44
Видобування газу	Видобутий газ	млн м <sup>3</sup>	21995,51	12,19	0,097	268,13	2,13
Підготовлення до транспортування	Підготовлений газ	млн м <sup>3</sup>	21995,51	0,79	0,25	17,38	5,50
Транспортування і зберігання газу	Транспортований газ	млн т	98,52	268,22	6,186	26,42	0,61
Розподіл газу	Спожитий газ	млн м <sup>3</sup>	28010	25,00	0,384	700,30	10,76
Споживання газу	Спожитий газ	ПДж	981,86	234,42	1,2	230,17	1,18
Спалювання газу <sup>1</sup>	Видобутий газ	млн м <sup>3</sup>	21995,51	2,28E-03	3,55	0,05	78,08
Разом						1258,88	1866,70

<sup>1</sup> Мається на увазі факельне спалювання під час видобування газу і підготовлення до транспортування.

повідно. Коефіцієнти викидів  $\text{CO}_2$  при видобуванні та підготовленні газу до транспортування в табл. 3 (0,097 т і 0,25 т) після додавання коефіцієнтів викидів  $\text{CO}_2$  від спалювання газу значно зростають — 1,497 т і 2,4 т відповідно. Порівняння коефіцієнтів викидів метану при видобуванні газу з табл. 2 і 3 показує, що новий коефіцієнт з Уточнень-2019 втричі менший, ніж попередній з Керівних принципів-2006 (4,09 т і 12,19 т відповідно), що втричі зменшує оцінку викидів  $\text{CH}_4$  при видобуванні у табл. 2. Для викидів двоокису вуглецю коефіцієнти з Уточнень-2019 і з Керівних принципів-2006 з урахуванням коефіцієнту спалювання газу приблизно рівні — 1,45 т і 1,497 т відповідно, що суттєво не змінює обсягів викидів  $\text{CO}_2$  при видобуванні газу при порівнянні результатів табл. 2 і 3. У той же час урахування коефіцієнту викидів  $\text{CO}_2$  від спалювання газу при підготовленні до транспортування згідно Керівних принципів-2006 збільшує показник викидів у табл. 3 майже в 10 разів — викиди  $\text{CO}_2$  при підготовленні газу до транспортування з урахуванням спалювання газу становлять 52,79 тис. т. Цей показник з табл. 2, розрахований відповідно до Уточнень-2019, в 20 разів менший — 2,64 тис. т. Аналіз коефіцієнтів викидів метану при підготовленні газу показує, що коефіцієнт викидів  $\text{CH}_4$  з табл. 2 більш ніж вдвічі перевищує аналогічний коефіцієнт з табл. 3 (1,83 т і 0,79 т відповідно). Аналогічно відрізняються показники викидів метану при підготовленні газу до транспортування, розраховані згідно Уточнень-2019 і відповідно до Керівних принципів-2006 в Кадастрі-2021 — 40,25 тис. т і 17,38 тис. т.

Таким чином порівняння всіх результатів оцінок викидів ПГ з урахуванням Уточнень-2019 (табл. 2) і оцінок згідно Кадастру-2021 антропогенних викидів за 2019 р. у газовій галузі України (табл. 3) показує, що використання Уточнень-2019 при розрахунках летучих викидів дозволяє знизити показники викидів  $\text{CH}_4$  і  $\text{CO}_2$ .

## ВИСНОВКИ

1. Нові коефіцієнти рівня 1 летучих викидів ПГ з Уточнень-2019 більш точні та мають меншу невизначеність порівняно з коефіцієнтами з Керівних принципів-2006, що пропонувалися у дуже широкому діапазоні.

2. Запропоновані в Уточненнях-2019 коефіцієнти викидів для нових технологій у газовій галузі і варіанти коефіцієнтів для різних одиниць ви-

міру діяльності значно розширюють можливості при інвентаризації ПГ.

3. Національні коефіцієнти рівня 2 летучих викидів ПГ при розподілі газу значно перевищують коефіцієнти рівня 1 з Уточнень-2019, що свідчить не тільки про низький технічний стан газорозподільчих мереж, а і про неналежний, завищений облік втрат.

4. Використання Уточнень-2019 для майбутніх інвентаризацій летучих викидів ПГ у газовій галузі України дозволить знизити показники викидів метану і двоокису вуглецю.

5. Запропоновані в Уточненнях-2019 коефіцієнти викидів метану для нової підкатегорії законсервованих і ліквідованих свердловин суттєво не впливають на загальні показники викидів у газовій галузі.

1. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html> (дата звернення: 27.08.2021).

2. Ukraine's Greenhouse Gas Inventory, Annual National Inventory Report for Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol 1990–2019. URL: <https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2021> (дата звернення: 02.09.2021).

3. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Chapter 8 – Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_Chapter08\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf) (дата звернення: 02.09.2021).

4. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html> (дата звернення: 09.09.2021).

5. Decision IPCC-XLIX-9. 49<sup>TH</sup> SESSION OF THE IPCC, 8-19 May 2019, Kyoto, Japan. Adoption and Acceptance of the Methodology Report “2019 Refinement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”. URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/05/IPCC-49\\_decisions\\_adopted.pdf#page=17](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/05/IPCC-49_decisions_adopted.pdf#page=17) (дата звернення: 09.09.2021).

6. Голова Держгеонадр Роман Опімах: Ми робимо революцію. 12 серпня 2020. Державна служба геології та надр України. URL: <https://www.geo.gov.ua/golovaderzhgeonadr-roman-opimakh-mi-robimo-revolyuciyu/> (дата звернення: 27.08.2021).

*Надійшла до редколегії: 14.09.2021*