

УДК 620.9

Ірина Лещенко, канд.техн.наук, ст.наук.співр., <http://orcid.org/0000-0003-3382-4762>,
Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна;
e-mail: info@ienenergy.kiev.ua
Автор-кореспондент: lesch_ic@ukr.net

ОЦІНКА ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ВУГІЛЬНИМ СЕКТОРОМ УКРАЇНИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ МІЖНАРОДНИХ КЛІМАТИЧНИХ УГОД

Анотація. Згідно з даними Національних кадастрів, вугільний сектор є другим після нафтогазового сектора джерелом викидів метану в Україні, його частка у 2019 р. склала 17,8% від загальних викидів цього парникового газу в країні. У 2022 р. Україна, як Сторона Паризької угоди, подала «Оновлений національно визначений внесок України до Паризької угоди», в якому визначено за мету скоротити до 2030 року викиди парникових газів до рівня 35% порівняно з 1990 р. Крім того, у листопаді 2021 р. на 26-й Конференції Сторін зі зміни клімату було офіційно запущено ініціативу щодо скорочення світових викидів метану. Україна приєдналась до цієї ініціативи та взяла на себе зобов'язання скоротити викиди метану на 30% від рівня 2020 р. до 2030 р. Для оцінки спроможності країни досягти взятих зобов'язань щодо скорочення викидів парникових газів в цілому і метану зокрема було розроблено прогнози функціонування вугільного сектору як в Україні, так і на тимчасово окупованих територіях станом на 01.12.2021. При розробленні сценарію декарбонізації економіки також було враховано зобов'язання, яке взяла Україна на 26-й Конференції Сторін щодо припинення будівництва нових вугільних електростанцій та відмови від використання вугільного палива до 2035 р. Було проаналізовано динаміку закриття шахт відповідно до сценаріїв, що розглядалися, і розраховано викиди метану не тільки від працюючих шахт, а й від шахт, виведених з експлуатації. Наведені результати розрахунків свідчать, що досягнення заявленого скорочення викидів метану до 2030 р. у вугільному секторі можливе лише за умови збільшення уловлювання та утилізації цього парникового газу з нинішніх 10,3% до 37–54% для різних сценаріїв розвитку сектора, що вимагатиме додаткових інвестицій від 10 до 26,9 млрд дол. США в залежності від сценарію.

Ключові слова: парникові гази, метан, вугільний сектор, глобальна метанова ініціатива, другий національно визначений внесок.

1. Вступ

У світі відбувається трансформаційний перехід від моделі функціонування енергетичного сектора, в якому домінує викопне паливо, до нової моделі, в якій надається перевага підвищенню енергоефективності й використанню енергії з відновлюваних та альтернативних джерел. Одним з пріоритетів розвитку світової енергетики стає впровадження заходів із запобігання зміні клімату, що пов'язано, у першу чергу, із скороченням викидів парникових газів (ПГ).

Лідером у процесі скорочення викидів ПГ є Європейський Союз (ЄС). У 2019 р. в ЄС було прийнято Європейський Зелений курс (European Green Deal), головною метою якого задекларовано зменшення викидів двоокису вуглецю на 50–55% до 2030 р. та досягнення «кліматичної нейтральності» економіки ЄС до 2050 р. [1].

У 2020 р. було розроблено ряд документів, передбачених дорожньою картою Європейського Зеленого курсу, зокрема, Стратегію ЄС щодо скорочення викидів метану (An EU strategy to reduce methane emissions) [2], в якій визначено необхідність досягнення скорочення викидів цього ПГ на 35–37% до 2030 р. порівняно з рівнем 2005 р. В енергетичному секторі заходи щодо скорочення викидів метану охоплюють не лише нафтогазовий, але й вугільний сектор. Стратегією передбачається посилення уваги до усунення витоків метану не тільки від діючих, а й закритих вугільних шахт, водночас, відзначено, що на даний час не існує загальноєвропейських правил щодо перевірки, вимірювання або використання витоків метану з таких джерел. Єврокомісія підтримує або ефективне закриття вугільних шахт, або їх використання, наприклад, для збору метану для місцевого використання. Технології для цього доступні і вже діють в окремих країнах Європи.

© І. ЛЕЩЕНКО, 2022

Основним документом, який на сьогодні визначає зобов'язання України щодо скорочення викидів ПГ є Паризька угода, яку наша країна ратифікувала у 2016 р. Суть Паризької угоди полягає в тому, що країни самі визначають свій внесок у міжнародну кліматичну політику, але зобов'язані вживати заходів щодо скорочення викидів ПГ і з часом підвищувати амбітність своїх цілей у цьому напрямку. Перший національно визначений внесок України визначав зобов'язання не перевищити у 2030 р. 60% від рівня викидів ПГ у 1990 р. Відповідно до положень Паризької угоди, у 2021 р. Кабінет Міністрів України своїм розпорядженням схвалив Оновлений національно визначений внесок (НВВ-2) України до Паризької угоди – до 2030 р. скоротити викиди парникових газів до 35% від рівня викидів ПГ у 1990 р [3]. У зазначених зобов'язаннях йдеться про скорочення сукупних викидів усіх ПГ прямої дії – діоксиду вуглецю, метану, закису азоту та інших, перерахованих до еквіваленту діоксиду вуглецю.

Крім того, у листопаді 2021 року на 26-й зустрічі Конференції Сторін зі зміни клімату (The 26th Conference of the Parties to Climate Change – COP-26) було оголошено угоду, згідно з якою країни зобов'язалися поступово відмовитися від вугілля як найбруднішого викопного палива. До цієї угоди приєдналися 23 країни, які вперше взяли зобов'язання припинити будівництво та видачу дозволів на будівництво нових вугільних електростанцій та відмовитись від використання вугільного палива. Серед зазначених країн була й Україна, яка заявила, що прагне припинити використання вугілля до 2035 р. [4].

Також на COP-26 було запущено Глобальну ініціативу щодо скорочення світових викидів метану (Global Methane Pledge), яку підписали більше 100 країн, що представляють 70% світової економіки та майже половину антропогенних викидів метану, у тому числі США та ЄС, і, серед інших країн, Україна [5]. Країни, які приєдналися до Global Methane Pledge, зобов'язались скоротити до 2030 р. викиди метану щонайменше на 30% від рівня 2020 р. та рухатись до використання найкращих доступних методологій інвентаризації для кількісної оцінки викидів цього ПГ, звертаючи особливу увагу на потужні джерела викидів.

Усі зазначені вище документи визначають зобов'язання щодо скорочення викидів ПГ як сукупних, так і метану, загалом по країні. Жодних обмежень щодо викидів ПГ окремими підприємствами або секторами економіки на сьогодні в нашій країні немає. Відповідно до Угоди про асоціацію з ЄС Україна має запровадити систе-

му торгівлі квотами на викиди парникових газів (СТВ), основою для введення якої має стати запроваджена з 2021 р. система моніторингу, звітності та верифікації викидів ПГ. Відповідно до постанови «Про затвердження переліку видів діяльності, викиди парникових газів в результаті провадження яких підлягають моніторингу, звітності та верифікації» українська СТВ на першому етапі її запровадження буде поширюватись лише на види діяльності, які приводять до викидів діоксиду вуглецю, моніторинг, звітність та верифікація викидів метану поки не запроваджується [6].

Основним офіційним документом, в якому наводяться оцінки фактичних викидів ПГ, є Національний кадастр антропогенних викидів із джерел і абсорбції поглиначами парникових газів в Україні (далі – Національний кадастр), який щорічно розробляється, публікується та надається Конференції Сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату. За даними Національного кадастру 2021 р. [7] у 2019 р. вугільний сектор був джерелом 17,8% викидів метану від усіх викидів цього ПГ для країни у цілому.

Прогнозуванням викидів ПГ в Україні на довгострокову перспективу займаються науковці Інституту економіки та прогнозування НАН України з використанням моделі TIMES-Україна, в їх публікаціях докладно розглядається виробництво електричної і теплової енергії, але зовсім не аналізуються викиди від видобування, транспортування і переробки вуглеводнів [8]. Не аналізується у їх роботах і динаміка викидів метану. У роботах науковців Інституту загальної енергетики НАН України [9–11] поряд з прогнозами видобутку вугілля в Україні наводяться і оцінки викидів метану при видобуванні вугілля. У статті [9] наведено прогнози видобутку вугілля на шахтах, розташованих на контрольованій українською владою територіях, на період до 2040 р. та визначено обсяги виділення шахтного метану, необхідні виробничі потужності обладнання для його утилізації та обсяги капітальних витрат на таке обладнання. У статті [10] проаналізовано стан і проблеми утилізації метану на шахтах України та визначено напрямки його використання в економіці. Наведено прогнозні обсяги виділення метану з шахт, розташованих на контрольованих українською владою територіях, викиди метану від закритих шахт не розглядаються. У статті [11] визначено необхідність розроблення в Україні проектів, направлених на скорочення викидів метану від закритих шахт. Показано доцільність об'єднання малих і середніх проектів з видобутку такого метану разом із програмами утилізації шахтного метану на діючих шахтах, але не дано

оцінок прогнозних викидів метану від вугільного сектору та можливих обсягів їх скорочення.

Дана стаття присвячена оцінці спроможності вугільного сектора досягти скорочення викидів ПГ відповідно до НВВ-2 та зобов'язань, взятих при приєднанні до Global Methane Pledge до 2030 р. з урахуванням викидів метану на шахтах, які знаходяться у тимчасово окупованих окремих районах Донецької та Луганської областей (ОРДЛО), та викидів від закритих шахт. Урахування викидів ПГ на шахтах ОРДЛО необхідно для коректного порівняння з даними Національного кадастру за 1990 р., коли ці території належали Україні, та даними 2019 р., які взято як точку відліку для виконання зобов'язань Global Methane Pledge, оскільки офіційних даних стосовно викидів метану у 2020 р. на час написання статті ще немає.

2. Методи та матеріали

У вугільному секторі основними є викиди метану при видобуванні, зберіганні та транспортуванні вугілля і викиди від закритих або закритих шахт. У табл. 1 наведено дані про викиди метану від вугільної промисловості за даними Національного кадастру 2021 р. [7].

Скорочення викидів метану у 2019 р. порівняно з 2015 р. на 12% пов'язано безпосередньо із скороченням видобутку вугілля в Україні. Частка утилізованого метану залишалась у ці роки на рівні 9,3% від загальних його викидів.

На шахтах Донбасу до 90% метану викидають вентиляційні установки шахт у вигляді малоконцентрованої (в середньому близько 0,7%) газоповітряної суміші [12]. Водночас, світовий досвід показує, що найбільш дієвими способами утилізації метану є спалювання на факельних установках, газопоршневих установках і в котельнях, очищення для отримання метану на потреби споживачів, подачу його до газопроводу, в якості палива для двигунів внутрішнього згорання, та переробка. Вибір технології утилізації залежить від теплотворної здатності шахтного метану та вмісту метану у газовій суміші [10].

У Національному кадастрі докладно наводяться обсяги утилізації шахтного метану лише за період 2004–2012 рр. (табл. 2). Після 2012 р.,

коли перестав працювати такий механізм Кіотського протоколу, як проекти спільного впровадження, за рахунок коштів якого виконувалось більшість проектів з утилізації шахтного метану, українські шахти, не маючи коштів для закупівлі й монтажу відповідного обладнання, газ з пластів відкачують (що вимагає техніка безпеки), але потім викидають його в атмосферу. Нові проекти з уловлювання метану на шахтах майже не реалізуються, зокрема, Національні кадастри таких даних не наводять.

Як видно з табл. 2, частина шахт спалює каптований метан у факелах. При цьому парниковий ефект від викидів метану в атмосферу зменшується, але втрачається цінний енергетичний ресурс, а через недосконалу конструкцію пальників факелів та під впливом погодних умов відбувається неповне згорання газу з утворенням шкідливих речовин – чадного газу, сажі та ін. Для спалювання шахтного газу з низькою концентрацією метану для підтримання процесу горіння необхідна подача у факел допоміжного палива (того ж метану або природного газу), що також економічно не вигідно.

При визначенні оцінки показників викидів ПГ від вугільного сектора до 2040 р. було сформовано три сценарії розвитку вугільного сектора: базовий, помірного розвитку та декарбонізації. Характерною рисою базового сценарію є збереження існуючого технологічного стану вугільного сектора. При реалізації сценарію помірного розвитку в секторі відбуваються зміни, які на нашу думку, є найбільш доцільними та реалістичними в існуючих умовах розвитку України. Характерною рисою сценарію декарбонізації є запровадження більшого обсягу заходів, направлених на скорочення викидів ПГ у галузях економіки. Зокрема у цьому сценарії розглядається виконання зобов'язання України, взяте на COP-26, щодо припинення використання енергії, виробленої з вугілля, до 2035 р.

При формуванні перших двох сценаріїв було використано прогнози видобутку вугілля на підконтрольній українській владі території, розроблені в Інституті загальної енергетики НАН України з використанням оригінальної методики визначення перспективності шахт [13].

Таблиця 1. Викиди метану від вугільного сектора України у 2015–2019 рр. [7]

Показник	2015 р.	2016 р.	2017 р.	2018 р.	2019 р.
Видобуток вугілля, млн т	52,1	60,2	46,9	47,4	45,7
Обсяг викидів метану, тис. т	624,6	721,1	563,6	568,8	549,4
Утилізовано метану, тис. т	58,4	67,5	52,7	53,2	51,3
Обсяг викидів з урахуванням уловлювання метану, тис. т	566,2	653,6	510,9	515,6	498,1

Таблиця 2. Об'єм утилізації шахтного метану на українських шахтах у 2004–2012 рр. [7]

Шахта	Об'єм утилізованого метану, тис. м ³ /рік					Використання	
	2004 р.	2006 р.	2008 р.	2010 р.	2012 р.		
ім. О.Ф. Засядька	2220	26212	40308	52571	20318	Газогенератор, заправка	
ім. В.М. Бажанова	6920	6963	6920	10358	3035	Котельня	
Холодна Балка	5350	6120	5640	4380	7766	Котельня	
Чайкіно	2113	2230	2170	410	2296	Котельня	
ім. С.М. Кірова	880	740	1020	1800	206	Котельня	
Калинівська-Східна	–	710	–	–	–	Котельня	
ім. М.І. Калініна	1130	1132	1132	1132	–	Котельня	
Хрустальська	2670	2670	2670	2670	2670	Котельня	
Щегловська-глибока	4177	5530	9131	8704	4482	Котельня, обігрів ствола	
				1096	3634	Факел	
					3278	Газогенератор	
№ 22 Комунарська	–	–		6500	13600	Факел	
				3400	4800	Газогенератор	
				300	1400	Котельня	
ш/у Покровське	8919	17013	14805	19473	6207	Котельня	
				–	–	16153	Когенерація
				–	–	–	1287
Комсомолец Донбасу	–	–	1522	7569	9194	Факел	
			–	–	–	2295	2298
Краснолиманська	602	6058	5279	8910	20068	Котельня	
Суходольська-Східна		1564	3194	2705	6587	Котельня, факел	
ім. М.П. Баракова	5282	5945	5134	4916	4755	Котельня	
Молодогвардійська	–	–	–	580	2879	Факел	
Самсонівська-Західна	–	–	–	1175	6711	Факел	
Степова	–	–	–	–	500	Котельня	
Усього	40263	82887	99225	143044	145825		

Згідно з [13], до базового сценарію увійшли 11 шахт («Південнодонбаське № 1», «ім. М.С. Сургая», «1-3 «Новгородівська», «Котляревська», «Капітальна», «Краснолиманська», «Гірська», «ім. Д.Ф. Мельникова», «Степова», «Червоноградська», «Лісова»), які наприкінці 2019 р. були визначені Міністерством енергетики та захисту довкілля України, як такі, що мають перспективу подальшого розвитку та беззбиткового рівня виробничо-господарської діяльності. Сценарій помірного розвитку у [13] було побудовано за таких припущень. Через брак коштів на відновлення і розвиток буровугільного комплексу та будівництво нових шахт (крім шахти «Нововолинська № 10»), розвиватись будуть тільки шахти, забезпечені запасами вугілля, крім двох шахт ДП «Торецьквугілля» та шахти «Бужанська» ДП «Волиньвугілля», прогнозний видобуток яких не перевищує 300 тис. т на рік (всього 19 шахт).

Сценарій декарбонізації було побудовано після консультацій з фахівцями Інституту загальної енергетики НАН України з урахуванням

виконання зобов'язань України, взятих на COP-26, щодо припинення використання енергії, виробленої з вугілля, до 2035 р. Отже, видобуток вугілля тих марок, які використовуються для виробництва електроенергії (Г, ДГ) скорочується, а відповідні шахти виводяться з експлуатації. Але продовжується видобуток вугілля, яке направляється на виробництво коксу.

Для коректного порівняння результатів розрахунків викидів ПГ з даними Національних кадастрів, було розроблено прогноз видобування вугілля на території ОРДЛО. Сформовані прогнози видобутку вугілля в Україні до 2040 р. наведено у табл. 3.

Згідно з Національним кадастром 2019 р. [7], на українських шахтах уловлюється приблизно 9,3% викидів метану від видобування вугілля та від закритих шахт. При виконанні розрахунків було зроблено припущення, що для базового сценарію та сценарію декарбонізації частка уловленого метану буде становити 10%, а для сценарію помірного розвитку – 20% викидів метану, що утворюються при видобуванні ву-

Таблиця 3. Прогноз видобутку вугілля в Україні [13], млн т

Видобуток	2025 рік	2030 р.	2035 р.	2040 р.
Базовий сценарій				
Видобуток без ОРДЛО	40,50	41,11	37,89	36,39
Видобуток ОРДЛО	13,12	11,94	8,95	5,64
Разом	53,62	54,22	51,00	49,50
Сценарій помірному розвитку				
Видобуток без ОРДЛО	44,92	46,32	43,29	41,79
Видобуток ОРДЛО	13,12	11,94	8,95	5,64
Разом	58,03	59,44	56,41	54,91
Сценарій декарбонізації				
Видобуток без ОРДЛО	31,77	30,82	25,45	19,55
Видобуток ОРДЛО	13,12	11,94	8,95	5,64
Разом	44,89	42,76	34,40	25,19

гілля та від закритих шахт. Адже у базовому сценарії функціонування вугільного сектора не зазнає суттєвих змін, а у сценарії декарбонізації іде скорочення споживання вугілля, а отже і його видобування, тому малоймовірно, що будуть вкладатись кошти в технології уловлення метану, якщо шахти будуть виводитись з експлуатації.

З метою коректного порівняння зміни викидів метану від вугільного сектора з даними Національного кадастру викидів ПГ для розрахунку прогнозних викидів ПГ було використано методологію Міжнародної групи експертів з питань зміни клімату (МГЕЗК) ООН 2006 р. [14], яка використовується в Національному Кадастрі. Коефіцієнти викидів метану від видобування, поводження після видобування було взято з Національного кадастру 2019 р.

Також було проведено розрахунок викидів метану від закритих вугільних шахт, для чого було використано удосконалення методології МГЕЗК ООН 2019 р. [15].

Викиди метану від закритих або закинутих шахт розраховуються згідно виразу

$$Q_{\text{закр.}} = k_3 F N_t,$$

де k_3 – коефіцієнт викидів метану від закритих шахт, млн м³/шахта; F – коефіцієнт загазованості, тобто кількість метану, що залишається в шахті при закритті, частка; N_t – кількість закритих шахт у період t , одиниць.

У табл. 4 наведено коефіцієнти викидів закритих підземних шахт в залежності від часу їх закриття, які використовувались при проведенні розрахунків.

Згідно з методиками МГЕЗК ООН 2006 та 2019 рр., коефіцієнт загазованості шахти може коливатися від 0 до 100%. При виборі цього коефіцієнта рекомендується враховувати всі доступні історичні дані, такі як тип вугілля, вміст газу та глибина розробки. Для шахт з глибокими довгозабійними розробками або ознаками загазованості, а українські шахти відносяться саме до таких, необхідно обирати високі значення цього коефіцієнта. У розрахунках було прийнято значення коефіцієнта загазованості до 4 років після закриття – 90%, після 4 років після закриття – 45%.

Згідно з дослідженням [16], після припинення роботи вугільні шахти, зазвичай, затоплюються водою, після завершення цього процесу викиди з шахти або її затопленої частини, як правило, припиняються. Рівень викидів метану із закритої шахти є найвищим одразу після виведення її з експлуатації. Причому дослідження показують, що швидкість викидів метану зменшується до значно нижчого рівня протягом 8–10 років [16], отже уловлення та утилізація метану найбільш ефективні одразу після закриття шахти.

У Керівництві з найкращої практики ефективного вилучення та утилізації метану на ви-

Таблиця 4. Коефіцієнти викидів закритих підземних шахт, Рівень 1, млн м³ метану/шахта [15]

Рік інвентаризації	Інтервал закриття вугільної шахти	
	2001–2025 рр.	2026–2050 рр.
2025	0,507	NA
2030	0,439	1,265
2035	0,408	0,845
2040	0,382	0,675

ведених з експлуатації вугільних шахтах [17] вказано, що з припиненням видобутку зазвичай припиняється відкачування підземних вод, яке застосовується для запобігання затопленню діючої шахти, що призводить до затоплення виробок. Швидкість затоплення може змінюватись в залежності від гідрогеологічних умов, протяжності та глибини виробок. Дослідження, які проводяться в Україні, показують, що значну частину вже ліквідованих вугільних шахт було закрито з використанням так званої «мокрої консервації» (простого автореабілітаційного затоплення внаслідок зупинки водовідливу) [18]. Більшість шахт на підконтрольних та не-підконтрольних територіях закривається шляхом затоплення, а процеси затоплення є практично некерованими. За оцінкою [19], після закриття шахт за «мокрої консервації» процес їх затоплення триває десятки років. У [20] зазначено, що середній термін затоплення при «мокрій консервації» шахт становить 10–15 років. Водночас, у [21] наведено результати вивчення швидкість зміни рівня затоплення у межах гірничого простору шахти № 2 «Новгородівська», яка становила 0,12 м/добу. За таких темпів час досягнення рівня затоплення абсолютної позначки +185 м, яка відповідає об'ємам виробленого простору, складе 532 доби, починаючи з моменту затоплення.

Оскільки для кожної української шахти, що закривається, немає досліджень щодо швидкості її затоплення, при розрахунках було прийнято, що закриті шахти повністю затоплюються протягом 10 років. Згідно з Удосконаленою Методикою МГЕЗК ООН 2019 р. [15] повністю затопленим шахтам може бути присвоєно нульове значення викидів метану.

Також при розрахунках викидів ПГ від закритих шахт було прийнято до уваги, що станом на 2014 р. на не-підконтрольних Україні територіях Донбасу залишилось близько 70 з 94 діючих шахт регіону. За 7 років окупаційні адміністрації закрили понад 70% вугільних підприємств. Практично всі шахти були затоплені [22]. Сти-

хійне затоплення шахт на не-підконтрольній території продовжується з 2014 р., а з 2015 р. гідрогеологи не одержують офіційної інформації від шахт ОРДЛО. Наразі затопленими вважають не менше 26 вугільних шахт у Донецькій області та 23 шахт Луганщини [23].

3. Результати

Для трьох описаних сценаріїв функціонування вугільного сектора України було проведено розрахунки викидів ПГ на перспективу до 2040 р. У табл. 5 наведено прогноз викидів метану від закритих шахт, а у табл. 6 – результати розрахунки викидів метану на перспективу до 2040 р.

Аналіз результатів розрахунків показує, що внаслідок закриття шахт в Україні з використанням «мокрої консервації», викиди ПГ від них є невеликими і становлять від 2,4 до 6,3% від загальних викидів ПГ у секторі.

При проведенні аналізу результатів розрахунків було зроблено припущення, що відповідно до НВВ-2 викиди ПГ від вугільного сектора у 2030 р. мають становити 35% від рівня викидів ПГ у 1990 р., що дорівнює 21,7 млн т CO₂-екв. З табл. 6 видно (див. рядки «Всього викидів, млн т CO₂-екв»), що викиди ПГ у еквіваленті діоксиду вуглецю до 2030 р. не перевищать 35% від викидів у 1990 р. для всіх сценаріїв.

Також при проведенні аналізу результатів розрахунків було зроблено припущення, що відповідно до зобов'язань, які взяла на себе Україна, приєднавшись до Глобальної ініціативи зі скорочення викидів метану, викиди цього ПГ від вугільного сектора до 2030 р. мають бути скорочені на 30% від рівня 2020 р. Оскільки офіційних даних щодо викидів ПГ у 2020 р. на час проведення розрахунків ще немає, за точку відліку було взято дані стосовно викидів метану від вугільного сектора у 2019 р., отже, значення викидів метану до 2030 р. має не перевищувати 348,6 тис. т. З табл. 6 видно (див. рядки «Викиди метану з уловлюванням, тис. т» та «Необхідна частка уловлення метану для виконання зобов'язань Global Methane Pledge, %»), що для

Таблиця 5. Прогнози викидів ПГ від закритих вугільних шахт в Україні до 2040 р.

Показник	Базовий сценарій та сценарій помірному розвитку				Сценарій декарбонізації			
	2025 р.	2030 р.	2035 р.	2040 р.	2025 р.	2030 р.	2035 р.	2040 р.
Закрито шахт на українській території	9	0	4	0	13	1	6	2
Закрито шахт у рік в ОРДЛО	4	6	7	3	4	6	7	3
Всього закрито шахт	13	6	11	3	17	7	13	5
Викиди метану, тис. т CH ₄ /рік	12,78	21,63	12,93	8,51	14,60	27,32	15,21	10,94

Таблиця 6. Прогнози викидів ПГ від вугільного сектора України до 2040 р.

Показник	2025 р.	2030 р.	2035 р.	2040 р.
Базовий сценарій				
Видобуток вугілля, млн т	53,62	54,22	51,00	49,50
Уловлено метану, тис. т	57,6	58,2	54,7	53,1
Викиди метану з уловлюванням, тис. т	617,0	632,6	587,6	566,3
Викиди двоокису вуглецю, тис. т	582,1	588,6	553,7	537,4
Всього викиди, млн т CO₂-екв	16,0	16,4	15,2	14,7
Необхідна частка уловлення метану для виконання зобов'язань Global Methane Pledge, %	48	50	46	44
Викиди CO ₂ при спалюванні додатково уловленого метану, тис. т	132,9	136,2	125,7	120,2
Всього викидів після спалювання додатково уловленого метану, млн т CO ₂ -екв	10,0	10,1	9,9	9,9
Інвестиції у проєкт виробництва електроенергії з використанням уловленого метану, млн дол. США	12,7	14,2	–	–
Інвестиції у проєкт переведення існуючої котельні на уловлений метан, млн дол. США	4,0	4,5	–	–
Сценарій помірною розвитку				
Видобуток вугілля, млн т	58,03	59,44	56,41	54,91
Уловлено метану, тис. т	124,6	127,6	121,1	117,9
Викиди метану з уловлюванням, тис. т	604,4	627,6	588,0	568,3
Викиди двоокису вуглецю, тис. т	630,0	645,3	612,4	596,1
Всього викиди, млн т CO₂-екв	15,7	16,3	15,3	14,8
Необхідна частка уловлення метану для виконання зобов'язань Global Methane Pledge, %	52	54	51	49
Викиди CO ₂ при спалюванні додатково уловленого метану, тис. т	703,4	148,0	139,8	135,3
Всього викидів після спалювання додатково уловленого метану, млн т CO ₂ -екв	10,0	10,1	10,0	9,9
Інвестиції у проєкт виробництва електроенергії з використанням уловленого метану, млн дол. США	12,1	14,3	–	–
Інвестиції у проєкт переведення існуючої котельні на уловлений метан, млн дол. США	3,9	4,6	–	–
Сценарій декарбонізації				
Видобуток вугілля, млн т	44,89	42,76	34,40	25,19
Уловлено метану, тис. т	48,2	45,9	36,9	27,0
Викиди метану з уловлюванням, тис. т	520,4	509,1	402,8	294,7
Викиди двоокису вуглецю, тис. т	487,3	464,2	373,4	273,4
Всього викиди, млн т CO₂-екв	13,5	13,2	10,4	7,6
Необхідна частка уловлення метану для виконання зобов'язань Global Methane Pledge, %	39	35	21	0
Викиди CO ₂ при спалюванні додатково уловленого метану, тис. т	106,4	96,0	57,0	0,0
Всього викидів після спалювання додатково уловленого метану, млн т CO ₂ -екв	9,7	9,6	9,2	7,1
Інвестиції у проєкт виробництва електроенергії з використанням уловленого метану, млн дол. США	8,1	7,1	–	–
Інвестиції у проєкт переведення існуючої котельні на уловлений метан, млн дол. США	2,6	2,3	–	–

виконання зазначених зобов'язань необхідно суттєво збільшити уловлення та утилізації метану, який виділяється від поведження з вугіллям. Зокрема, для базового сценарію необхідно утилізувати в різні роки від 44 до 50% метану, що виділяється; для сценарію помірного розвитку необхідно утилізувати від 49 до 54% такого метану. Для сценарію декарбонізації у період до 2030 р. необхідно збільшити частку метану, що уловлюється та утилізується, від 39 до 21%.

Залежно від сценарію розвитку вугільного сектора та обраної технології утилізації метану – пряме спалювання додатково уловленого метану, виробництво електроенергії з використанням уловленого метану або переведення існуючої котельні на уловлений шахтний метан, необхідне скорочення викидів цього ПГ вимагатиме додаткових інвестицій від 10 до 26,9 млрд дол. США.

4. Висновки

З метою дослідження умов виконання зобов'язань щодо скорочення викидів парникових газів відповідно до оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди та зобов'язань, які взяла на себе Україна, приєднавшись до Global Methane Pledge, розроблено прогнози викидів ПГ у еквіваленті діоксиду вуглецю та викидів метану від вугільного сектора до 2040 р.

Визначено, що у вугільному секторі викиди ПГ не перевищать значення, визначеного відповідно до оновленого національно визначеного внеску, для всіх розглянутих сценаріїв до 2030 р. Визначено, що досягнення скорочення викидів метану у вугільному секторі відповідно до Global Methane Pledge можливе лише за умови збільшення уловлювання та утилізації метану від вугільних шахт з нинішніх 9,3% до 37–54% для різних сценаріїв розвитку сектора, що вимагатиме додаткових інвестицій від 10 до 26,9 млрд дол. США.

Подяка

Автор статті щиро дякує завідувачу відділу оптимізації розвитку паливних баз Інституту загальної енергетики НАН України канд. техн. наук Віталію Макарову за надану консультацію щодо побудови сценарію декарбонізації розвитку вугільного сектора України.

Посилання

1. The European Green Deal. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels. 11.12.2019. COM(2019) 640 final. URL: lex.europa.eu/legal-con-

[tent/EN/TXT/?qid=1603122077630&uri=CELEX:52020DC0663](https://lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122077630&uri=CELEX:52020DC0663) (дата звернення: 11.12.2021).

2. An EU strategy to reduce methane emissions. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2020) 633 final. 14.10.2020. URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/eu_methane_strategy.pdf (дата звернення: 05.01.2022).

3. Про схвалення Оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.07.2021 № 868-р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-shvalennya-onovlenogo-nacionalno-viznachenogo-vnesku-ukrayini-do-parizkoji-ugodi> (дата звернення: 17.12.2021).

4. Plumer B., Friedman L. Over 40 Countries Pledge at U.N. Climate Summit to End Use of Coal Power / Published Nov. 4, 2021. URL: <https://www.nytimes.com/2021/11/04/climate/cop26-coal-climate.html> (дата звернення: 08.12.2021).

5. Про схвалення проектів листів Уряду України щодо участі України у Глобальній ініціативі щодо скорочення викидів метану “Global Methane Pledge”: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.10.2021 № 1300-р. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-shvalennya-proektiv-listiv-uryadu-ukrayini-shchodo-uchasti-ukrayini-u-globalnij-iniciativi-shchodo-skorochennya-vikidiv-metanu-global-methane-pledge-i281021-1300> (дата звернення: 05.01.2022).

6. Про затвердження переліку видів діяльності, викиди парникових газів в результаті провадження яких підлягають моніторингу, звітності та верифікації: Постанова Кабінету Міністрів України від 23.09.2020 № 880. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennya-pereliku-vidiv-diyalnosti-vikidi-parnikovih-gaziv-v-rezultati-s230920> (дата звернення: 12.11.2021).

7. 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: 02.12.2021).

8. Petrović, S.N.; Diachuk, O.; Podolets, R.; Semeniuk, A.; Bühler, F.; Grandal, R.; Boucenna, M.; Balyk, O. Exploring the Long-Term Development of the Ukrainian Energy System. *Energies*, 2021, 14, 7731. <https://doi.org/10.3390/en14227731>

9. Макаров В.М., Каплін М.І., Перов М.О. Врахування екологічних обмежень при моделюванні розвитку вугільної промисловості. *Проблеми загальної енергетики*. Вип. 4(59). 2019. С. 36–44. <https://doi.org/10.15407/pge2019.04.036>

10. Перов М.О., Макаров В.М., Новицький І.Ю. Утилізація та напрями використання метану на шахтах України. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. Вип. 3(58). С. 60–66. <https://doi.org/10.15407/pge2019.03.060>

11. Перов М.О., Новицький І.Ю. Світовий досвід утилізації метану на закритих вугільних

- шахтах. *Проблеми загальної енергетики*. 2021. Вип. 4(67). С. 30—39. <https://doi.org/10.15407/pge2021.04.030>
12. Майдуков Г.Л. Ресурсний потенціал шахтного метана в енергетиці України. *Уголь України*. 2015. № 10. С. 38—45.
13. Макаров В.М. Прогнозування розвитку вугільної галузі з урахуванням екологічних обмежень. *Economic Development: Global Trends and National Peculiarities: Collective monograph*. Poland: Publishing House “Baltija Publishing”, 2020. P. 100—118.
14. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (дата звернення: 17.11.2021).
15. IPCC Updates Methodology for Greenhouse Gas Inventories 2019. URL: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/> (дата звернення: 17.11.2021).
16. Denysenko A., Evans M., Kholod N., Butler N., Roshanka V. Legal and Regulatory Status of Abandoned Mine Methane in Selected Countries: Considerations for Decision Makers. *EPA Publication No 430R19003*. March 2019. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-03/documents/legal-regulatory-status-amm_epa.pdf (дата звернення: 16.11.2021).
17. Best Practice Guidance for Effective Methane Recovery and Use from Abandoned Coal Mines. United Nations Economic Commission for Europe. ECE Energy series. № 64. 2019. 80 p. URL: https://unece.org/DAM/energy/images/CMM/CMM_CE/Best_Practice_Guidance_for_Effective_Methane_Recovery_and_Use_from_Abandoned_Coal_Mines_FINAL_with_covers_pdf (дата звернення: 09.11.2021).
18. Череватський Д.Ю. Вугільні гетерархії: теорія та практика трансформації галузі. Інститут економіки промисловості НАН України. Київ, 2020. 288 с. URL: https://iie.org.ua/wp-content/uploads/2020/04/monohrafiya_cherevatskyj_2020_compressed-1.pdf (дата звернення: 04.01.2022).
19. Сопов Д.С. Конструктивно-географічні основи раціонального землекористування в Луганській області. Дис. на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 103 – Науки про Землю. – Уманський національний університет садівництва Міністерства освіти і науки України; Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України. Харків, 2021. 223 с. URL: <https://www.univer.kharkov.ua/docs/work/dysertatsii/sopov-dysertatsia.pdf> (дата звернення: 17.12.2021).
20. Піріков О.В., Чумаченко С.М., Яковлев Є.О. Аналіз чинників формування еколого-техногенних і соціальних загроз безпеці життєдіяльності у вуглепромисловій зоні Донбасу. *Екологічна безпека та природокористування*. № 2(38). 2021. URL: <http://es-journal.in.ua/issue/view/14281>
21. Улицький О.А., Єрмаков М., Луньова О.В., Бойко К.Є. До питання оцінки прогнозу змін гідрогеологічних умов техноекосистеми селидівської групи шахт. *Екологічна безпека та природокористування*. 2019. № 4(32). С. 33—42. URL: <https://itgip.org/wp-content/uploads/2021/03/2019-32.pdf> (дата звернення: 15.12.2021).
22. Из-за затопленных шахт в ОРДЛО: окружающая среда Донбасса – на грани катастрофы. URL: <https://kanal-dom.tv/iz-za-zatoplennyh-shaht-v-ordlo-okruzhayushhaya-sreda-donbassa-na-grani-katastrofy-video/> (дата звернення: 10.12.2021).
23. На неподконтрольном Донбассе затоплены не менее 49 угольных шахт – гидрогеологи. URL: <https://novosti.dn.ua/news/314947-na-nepodkontrolnom-donbasse-zatopleny-ne-menee-49-ugolnyh-shaht-gidrogeologi> (дата звернення: 10.12.2021).

ASSESSMENT OF THE GREENHOUSE GASES EMISSIONS REDUCTION BY THE COAL SECTOR OF UKRAINE TO MEET INTERNATIONAL CLIMATE AGREEMENTS

Iryna Leshchenko, PhD (Engin.), Senior Research Scientist,

<http://orcid.org/0000-0003-3382-4762>

Institute of General Energy of NAS of Ukraine, 172 Antonovycha Str., Kyiv, 03150, Ukraine;

e-mail: info@ienergy.kiev.ua

Corresponding author: lesch_ic@ukr.net

Abstract. *According to data from the National Greenhouse Gas Inventory, the coal sector is the second largest source of methane emissions in Ukraine after the oil and gas sector; its share in 2019 amounted to 17.8% of total methane emissions in the country. In 2022, Ukraine, as a Party to the Paris Agreement, submitted an updated value of the nationally determined contribution - to reduce greenhouse gas emissions by 2030 to 35% compared to 1990. In addition, it was formally launched the Global Methane Pledge, an initiative to reduce global methane emissions. Ukraine*

has joined this Pledge and make commitments to reduce methane emissions by 30% from 2020 levels by 2030. To assess the country's ability to meet its commitments to reduce greenhouse gas emissions in general and methane in particular, forecasts of the functioning of the coal sector were developed both in Ukraine and in the temporarily occupied territories on December 1, 2021. In decarbonisation scenario the development of the economic also took into account the commitment made by Ukraine at the 26th Conference of the Parties to stop the construction of new coal-fired power plants and to abandon the use of coal fuel by 2035. The dynamics of mine closure was analyzed according to the scenarios considered, and methane emissions were calculated not only from operating mines, but also from decommissioned mines. The results of the calculations show that achieving the declared reduction of methane emissions by 2030 in the coal sector is possible only if the capture and utilization of this greenhouse gas from the current 10.3% to 37-54% for different scenarios of the sector, which will require additional investment from 10 to 26.9 billion USA dollars depending on the scenario.

Keywords: Greenhouses gases, Coal sector, Global Methane Pledge, second Nationally Determined Contribution.

References

1. The European Green Deal. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Brussels. 11.12.2019. COM(2019) 640 final. URL: lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122077630&uri=CELEX:52020DC0663 (Last accessed: 11.12.2021).
2. An EU strategy to reduce methane emissions. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2020) 633 final. 14.10.2020. URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/eu_methane_strategy.pdf (Last accessed: 05.01.2022).
3. Pro skhvalennia Onovlenoho natsionalno vyznachenoho vnesku Ukrainy do Paryzkoï uhody: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30.07.2021 No. 868-p. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-shvalennia-onovlenoho-natsionalno-vyznachenoho-vnesku-ukrayini-do-parizkoyi-t300721> (Last accessed: 17.12.2021) [in Ukrainian].
4. Plumer, B., & Friedman, L. (2021). Over 40 Countries Pledge at U.N. Climate Summit to End Use of Coal Power / Published Nov. 4, URL: <https://www.nytimes.com/2021/11/04/climate/cop26-coal-climate.html> (Last accessed: 08.12.2021).
5. Pro skhvalennia proektiv lystiv Uriadu Ukrainy shchodo uchasti Ukrainy u Hlobalnii initsiatyvi shchodo skorochennia vykydiv metanu "Global Methane Pledge": Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 28.10.2021 No. 1300-p. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-shvalennia-proektiv-listiv-uryadu-ukrayini-shchodo-uchasti-ukrayini-u-globalnij-iniciativ-shchodo-skorochennia-vikydiv-metanu-global-methane-pledge-i281021-1300> (Last accessed: 05.01.2022) [in Ukrainian].
6. Pro zatverdzhennia pereliku vydiv diialnosti, vykydy parnykovykh haziv v rezultati provadzhennia yakykh pidliahaiut monitorynhu, zvitnos-ti ta veryfikatsii: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 23.09.2020 No. 880. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennia-pereliku-vidiv-diyalnosti-vikidi-parnykovih-gaziv-v-rezultati-s230920> (Last accessed: 12.11.2021) [in Ukrainian].
7. 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> (Last accessed: 02.12.2021).
8. Petrovič, S.N., Diachuk, O., Podolets, R., Semeniuk, A., Bühler, F., Grandal, R., Boucenna, M., & Balyk, O. (2021). Exploring the Long-Term Development of the Ukrainian Energy System. *Energies*, 14, 7731. <https://doi.org/10.3390/en14227731>
9. Makarov, V.M., Kaplin, M.I., & Perov, M.O. (2019). Consideration of environmental constraints in modeling the development of coal industry. *The Problems of General Energy*, 4(59), 36–44. <https://doi.org/10.15407/pge2019.04.036> [in Ukrainian].
10. Perov, M.O., Makarov, V.M., & Novitsky, I.Yu. (2019). Utilization and directions of methane use at the mines of Ukraine. *The Problems of General Energy*, 3(58), 60–66 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2019.03.060>
11. Perov, M.O., & Novitsky, I.Yu. (2021). World experience of methane utilization in closed coal mines. *The Problems of General Energy*, 4(67), 30–39 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2021.04.030>
12. Maidukov, H.L. (2015). Resursnyi potentsial shakhtnoho metana v enerhetyce Ukrainy. *Uhol Ukrainy*, 10, 38–45 [in Russian].
13. Makarov, V.M. (2020). Forecasting the development of the coal industry taking into account environmental constraints. Economic Development: Global Trends and National Peculiarities: Collective monograph. Poland: Publishing House "Baltija Publishing", P. 100–118 [in Ukrainian].

14. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (Last accessed: 17.11.2021).
15. IPCC Updates Methodology for Greenhouse Gas Inventories 2019. URL: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/> (Last accessed: 17.11.2021).
16. Denysenko, A., Evans, M., Kholod, N., Butler, N., & Roshanka, V. (2019). Legal and Regulatory Status of Abandoned Mine Methane in Selected Countries: Considerations for Decision Makers. *EPA Publication No. 430R19003. March*. URL: https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-03/documents/legal-regulatory-status-amm_epa.pdf (Last accessed: 16.11.2021).
17. Best Practice Guidance for Effective Methane Recovery and Use from Abandoned Coal Mines. United Nations Economic Commission for Europe. (2019). *ECE Energy series, 64*. 80 p. URL: https://unece.org/DAM/energy/images/CMM/CMM_CE/Best_Practice_Guidance_for_Effective_Methane_Recovery_and_Use_from_Abandoned_Coal_Mines_FINAL_with_covers_.pdf (Last accessed: 09.11.2021).
18. Cherevatskyi, D.Yu. (2020). Vuhilni heterarkhii: teoriia ta praktyka transformatsii haluzi. Instytut ekonomiky promyslovosti NAN Ukrainy. Kyiv. 288 p. URL: https://iie.org.ua/wp-content/uploads/2020/04/monohrafiya_cherevatskyj_2020_compressed-1.pdf (Last accessed: 04.01.2022) [in Ukrainian].
19. Sopov, D.S. (2021). Konstruktyvno-heohrafichni osnovy ratsionalnoho zemlekorystuvannia v Luhanskii oblasti: dys. ... Phd: 103 – Earth sciences. Umanskyi natsionalnyi universytet sadivnytstva Ministerstva osvity i nauky Ukrainy; Kharkivskyi natsionalnyi universytet imeni V. N. Karazina Ministerstva osvity i nauky Ukrainy. Kharkiv. 223 p. URL: <https://www.univer.kharkov.ua/docs/work/dysertatsii/sopov-dysertatsia.pdf> (Last accessed: 17.12.2021) [in Ukrainian].
20. Pyrikov, O.V., Chumachenko, S.M., & Yakovlev, Ye.O. (2021). Analysis of formation of ecological-technogenic and social threats of life safety in the coal industry zone of Donbass. *Environmental safety and natural resources, 2* [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.2.5-17>
21. Ulytsky, O.A., Yermakov, V.M., Lunova, O.V., & Boiko, K.Y. (2019). To the issue of forecast assessment applicable for hydrogeological conditions of techno-ecosystem at Selidove mine group. *Environmental safety and natural resources, 4*, 33–42 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2019.4>
22. Iz-za zatoplennyh shakht v ORDLO: okruzhaiushchaia sreda Donbassa – na hrany katastrofy. URL: <https://kanaldom.tv/iz-za-zatoplennyh-shakht-v-ordlo-okruzhayushchaya-sreda-donbassa-na-grani-katastrofy-video/> (Last accessed: 10.12.2021) [in Russian].
23. Na nepodkontrolnom Donbasse zatopleny ne mence 49 uholnyh shakht – hydroheolohy. URL: <https://novosti.dn.ua/news/314947-na-nepodkontrolnom-donbasse-zatopleny-ne-mence-49-ugolnyh-shakht-gidrogeologi> (Last accessed: 10.12.2021) [in Russian].

Надійшла до редколегії: 11.01.2022