

Висоцький С.П., д.т.н., Чернюк А.О., бакалавр

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

ПРОБЛЕМИ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОМУ КОМПЛЕКСІ УКРАЇНИ

Розглянуті проблеми викидів парникових газів на теплових електростанціях. Показано, що вирішення проблеми глобального потепління може бути здійснено за рахунок газифікації твердого палива та депонування вуглекислого газу.

Постановка проблеми

Індустріалізація призвела до збільшення використання органічних видів палива: вугілля, нафти, газу, які видобувається з надр Землі. При їхньому спалюванні в атмосферу у великій кількості викидається парниковий газ CO₂. Причиною 45 відсотків викидів CO₂ є транспорт та виробництво електроенергії та тепла. За оцінками вчених за останні 200 років концентрація CO₂ в атмосфері збільшилася на 26 відсотків. Це – найвищий рівень за всю історію людства. Вуглекислий газ є на 55 відсотків причиною антропогенного парникового ефекту. Глибинні проби крижаного покриття Землі дають можливість оцінити зміни складу атмосфери протягом останнього тисячоліття. Ці дані, а також сучасні спостереження виявляють значне збільшення концентрації вуглекислого газу, метану та інших парникових газів.

Аналіз досліджень

В країнах з вичерпаними ресурсами нафти та газу ситуація є досить складною внаслідок використання як первинного енергоносія вугілля, що спричинило збільшення викидів CO₂. Завдяки сильному приросту в економіці цих країн за минулі декілька років збільшився попит на первинну енергію, і таким чином, емісія парникових газів перевищила середньорічну норму на 2,1%, а емісія метану збільшилась на 1,5%.

Вплив різних газів на глобальне парникове потепління суттєво відрізняється. Обсяг викидів газів, в першу чергу, стосується таких газів як: вуглекислий газ (CO₂), метан (CH₄), закись азоту (N₂O), фтор та хлор вуглеводні (які складаються в цілому із сполук) та гексафторид сірки (SF₆). Всесвітній інститут ресурсів навів дані по коефіцієнтам впливу на парниковий ефект для вказаних газів (1). Ці коефіцієнти враховують ступінь шкідливого впливу на потепління окремих газів, як співвідношення еквівалентної маси CO₂ до маси даного газу. При цьому загальний вплив на парниковий ефект оцінюється по сумі добуток викиду на перевідний коефіцієнт. Так, наприклад, викид 1т гексафториду сірки еквівалентний викиду 23,9 тис. т вуглекислого газу.

Таблиця 1 – Коефіцієнти впливу на парниковий ефект для різних газів.

Парниковий газ	Вуглекислий газ	Метан	Закись азоту	Фтор та хлор вуглеводні	Гексафторид сірки
Коефіцієнт впливу на парниковий ефект	1,0	21	310	1300	23900

Згідно з Кіотським протоколом країни, які мають самий великий внесок в парникові викиди, повинні були створити до 2007 року національні системи оцінки антропогенних викидів та поглиначів парникового газу (2). Найбільша маса викидів в країнах СНД приходить на Російську Федерацію, Україну, Казахстан, Узбекистан, Білорусь та Азербайджан. Їх абсолютна величина та зміна щорічного розподілу викидів з урахуванням прогнозованої емісії наведена в таблиці 2.

Таблиця 2 – Валові викиди CO₂ теплових електричних станцій, млн.т

Країна	1990	1995	2000	2002	2010	2020
Російська Федерація	708,5	516,9	487,8	470,2	690,2	739,3
Україна	164,2	101,0	64,4	71,4	75,3	78,6
Казахстан	90,1	77,9	72,7	57,8	79,5	96,1
Узбекистан	39,6	28,3	29,4	28,5		
Білорусь	39,7	23,6	20,9	21,4	26,3	32,0
Азербайджан	20,8	15,4	15,7	14,0	18,5	24,1

В Європейському Союзі (ЄС) емісія парникових газів складає 1,975 млрд. тон (3). Найбільші показники емісії газів від загального рівня викидів парникових газів в країнах ЄС, мають такі країни, як Німеччина, доля якої в викидах парникових газів сягає 23,66%, Англія – 13,44%, Італія – 10,8%, а також Польща – 8,8%. В Україні цей показник складає 22,37% від загального обсягу викидів країн-членів ЄС. Емісії парникового газу в країнах Північного моря утворюються в основному за рахунок нафтової промисловості.

Доцільно розглянути, як впливає тип палива на величину емісії вуглекислого газу. В таблиці 3 наведені усереднені дані по величині емісії CO₂ при згорянні різних видів палива.

Таблиця 3 – Питома величина емісії CO₂ від згоряння палива

Спальовальне пальне	Одиниці виміру	Коефіцієнт емісії
Антрацит	г/МДж	97 – 100
Буре вугілля (лігніт)	г/МДж	90 – 95
Природний газ	г/МДж	50 – 55
	кг/м ³	1,92
Авіаційний бензин	г/л	2,17
Дизельне пальне (№1, 2)	г/л	2,65
Бензин	г/л	2,32
Пальне для реактивних двигунів (газ)	г/л	2,49
Мазут (№5, 6)	г/л	3,08
Пропан	г/л	1,51

Згідно з оцінками світових експертів виникла гостра необхідність зменшення кількості надходження CO₂ до атмосфери. Збільшення концентрацій CO₂ і інших парникових газів в атмосфері збільшують парниковий ефект, який призводить до катастрофічних змін клімату. Зміна клімату є, можливо, найбільш важливою та складною проблемою в сфері охорони навколишнього середовища, яка спіткала людство за останнє століття. Поки що недостатньо достовірно визначені потенційні наслідки збільшення в атмосфері концентрації вуглекислого газу та інших парникових газів, але найбільш вірогідним з них є глобальна зміна температурного режиму планети. Підвищення температури може викликати цілу низку таких явищ як порушення роботи так званих «теплових машин погоди», підвищення середньої температури у світовому масштабі, а також середнього рівня океану та зміни

локальних кліматичних умов, що, в свою чергу, може негативно вплинути на соціально-економічний розвиток багатьох країн. Навіть незначна зміна складових радіаційного балансу може спричинити зміни напрямків вітру та течій океану, що сильно вплине на існуючі кліматичні умови і може призвести до непередбачених наслідків. В результаті цього населенню Землі та більшості її екосистем може бути заподіяно непоправної шкоди.

Мета статті

Визначення напрямків скорочення викидів вуглекислого газу (CO_2) за рахунок впровадження більш ефективних технологій використання палива (а саме: газифікації та згоряння палива в кисневій атмосфері) та розгляд можливостей депонування CO_2 .

Основна частина

Щоб уникнути зміни клімату, необхідне депонування вуглекислого газу CO_2 (4). Він повинен безпечно накопичуватись декілька сотень або тисяч років, щоб уникнути порушень функціонування екосистем. Місцем накопичення можуть бути нижні шари ґрунту у відпрацьованих нафтових та газових сховищах, порожнини від видобутку глибоких покладів солі та пластів вугілля. Сховища нафти та природного газу утримували рідину та газ мільйони років. Такі вичерпані родовища мають таку геологічну структуру, яка не допускає великих викидів газу до атмосфери. Тому вони є найбільш ефективними для депонування CO_2 .

CO_2 складає тільки малу частину тих газів, що можуть потрапляти до атмосфери зі звичайних теплових електростанцій. Димові гази можуть містити в собі азот, кисень та пари води. Зберігання димових газів під землею без розділення та при переводі їх у стиснутий стан вимагає великих витрат енергії. Таким чином потрібен метод розділення потоку димових газів для акумулювання CO_2 . Після цього діоксид вуглецю може бути депонованим, використовуючи доступну технологію. Існує така класифікація методів запобігання або зниження викидів CO_2 : перед горінням, після горіння та горіння в кисневій атмосфері.

Збирання CO_2 після горіння це достатньо розроблена технологія. В ній використовується розчинник для поглинання CO_2 з димових газів енергетичної установки. Недоліком цієї технології є те, що CO_2 розріджене великою кількістю азоту. Відділення вимагає громіздкого і дорогого устаткування, що є технічно недосконалим. Внаслідок відносно невеликої концентрації CO_2 в димових газах, виникає необхідність використання селективних розчинників для сорбції CO_2 . Регенерація (відновлення) розчинників може бути здійснена за допомогою десорбції CO_2 . Цей процес вимагає великої кількості енергії. Хімічні розчинники можуть також реагувати з NO_2 та SO_2 і не відновляться при поглинанні з утворенням солей, азотної, сірчистої та сірчаної кислот, що робить цей варіант дорогим. Таким чином сорбція CO_2 після горіння в сучасних умовах є неконкурентоздатною.

Альтернативним шляхом збільшення парціального тиску CO_2 є використання видалення CO_2 перед технологією спалювання. Процес, в принципі, є схожим для вугілля, нафти та природного газу. Поверхнева газифікація вугілля з його перетворенням в вуглеводневе газове паливо забезпечує видалення CO_2 на рівні 65%. Решта вуглекислого газу може бути видалена після згоряння палива.

Водень отриманий в процесі газифікації може бути використаний як паливо для існуючих газових турбін з невеликою їх модифікацією, проте ця технологія ще не пройшла достатню апробацію. В сучасних умовах як мінімум два виробники газових турбін провели випробування з використанням пального збагаченого воднем. Незважаючи на те, що видалення CO_2 перед комерційним одержанням тепла вимагає більш радикальних змін в технологічних схемах електростанцій, але більшість технологій вже випробувані при

виробництві аміаку та в інших промислових процесах. Потужність заводів по виробництву аміаку може бути використана для видалення CO₂ в технологіях газифікації перед згорянням палива. Ця альтернатива може використовуватись при розміщенні ТЕС поряд з регіональними аміачними заводами.

Розглядаючи можливість депонування (скадування) вуглекислого газу можна відзначити, що останнє має сенс тільки, тоді коли процес горіння палива буде реалізований в чисто кисневій атмосфері. Перевагою горіння в кисневому середовищі є те, що димові гази мають високу концентрацію CO₂ > 90%, що значно спрощує технологію очищення газів від CO₂. Це дозволяє в декілька разів зменшити кількість газів, що викидаються. Гази будуть складатись тільки з CO₂, це в десять разів зменшить витрати на одержання стиснутого газу (продукту згоряння палива). Доцільно відзначити, що при цьому також вирішується проблема з викидами оксидів азоту, які утворюються в процесі високотемпературного окислення палива в топках котлоагрегатів.

Для одержання кисню необхідно будувати обладнання по низькотемпературному розділенню повітря на азот та кисень. Кисень використовується для спалювання вуглецевого палива, а азот використовується на заводі синтезу аміаку.

При горінні пального в чистому кисні, температура горіння буде надмірно високою, тому димові гази насичені CO₂ можуть бути направлені частково на рециркуляцію в камеру згоряння для зменшення температури горіння. Продукція кисню пов'язана з додатковими капітальними і експлуатаційними витратами. Останні витрати зумовлені, в основному, витратами на низькотемпературне розділення повітря. Однак, кількість виробленої енергії підвищується за рахунок збільшення температури при горінні в кисневому середовищі, зменшення витрат тепла з димовими газами та витрат енергії на транспорт димових газів. Згоряння палива в кисневій атмосфері сприяє повному згорянню завдяки чому утворюються димові гази з малим надлишком кисню, дуже низькою концентрацією CO та збагачені переважно на CO₂.

При газифікації твердого палива особливо доцільним є використання бурого вугілля. Останнє широко використовується при генерації електричної енергії в країнах Європейського союзу. Частка виробництва електроенергії з бурого вугілля по країнах ЄС складає - для Греції – 68%, для Чехії – 63%, для Польщі – 42%, для Болгарії – 36%, Румунії для – 33%, для Німеччини – 27%.

Запаси бурого вугілля України оцінюються в 6 - 8 млрд. тон. Вони в основному зосереджені в Дніпровському буровугільному басейні, а також в окремих родовищах Харківської, Черкаської, Житомирської, Кіровоградської і Полтавської областей. Більшість запасів бурого вугілля сконцентрована у Дніпровському буровугільному басейні. Дніпровський буровугільний басейн розташований у центральній частині України, вздовж ріки Дніпро, і має довжину з північного заходу на південний схід 700 км при ширині 100 – 200 км. У Дніпровському буровугільному басейні розроблені наступні родовища: Олександрівське, Верхньодніпровське та Сінельниковське.

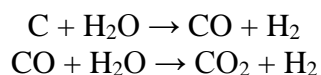
Таблиця 4 – Характеристики бурого вугілля, яке добувається в Україні.

Характеристики бурого вугілля	Показники
Розвідані запаси	608 млрд. т
Марка	1 Б
Середня зольність	20%
Робоча вогкість	42 – 62%
Середній вміст сірки	< 4%
Глибина залягання вугільних шарів	10 – 25 м
Товщина шарів	10 – 60 м
Вміст бітуму	< 10%
Теплотворна здатність	7,32 – 9,63 МДж/кг

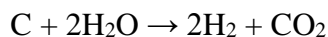
В Україні розробляють два найперспективніших на сьогодні родовища Дніпровського буровугільного басейну: Олександрійське та Верхньодніпровське. Запаси бурого вугілля в Олександрійському регіоні становлять 485 млн. тон, у тому числі для відкритої розробки на діючих підприємствах — 63 млн. тон. Запаси розвіданих ділянок Верхньодніпровського родовища становлять 236 млн. тон для відкритої розробки. Верхньодніпровське родовище має зручне розташування на південному сході Дніпровського басейну в безпосередній близькості до м. Дніпропетровськ. Обидва родовища розвідані, мають сприятливі гірничо-геологічні умови, невисокий коефіцієнт вскриші, їхнє вугілля придатне для енергетики та вироблення гірського воску (5). Потенціал відкритої розробки цих родовищ дозволяє вийти на обсяги 5 - 6 млн. тон на рік. Для введення їх в експлуатацію потрібно до 2 років.

В сучасних умовах існують два варіанти газифікації бурого вугілля. Першим варіантом являється підземна газифікація. Незважаючи на відносну простоту його реалізації цей варіант має суттєві недоліки. Вони зумовлені некерованістю процесу та малим виходом корисних продуктів. Другий варіант газифікації вугілля стосується одержання водню на поверхні і є одним з найкращих методів зовнішньої газифікації, який на 100% уловлює вуглець до спалення. Проте, необхідна подальша розробка цієї технології для повного використання в промисловості.

При газифікації палива проходять наступні реакції пального з киснем та/або парою з отриманням, головним чином, CO та водню. CO вступає в реакцію з парою на каталізаторі з одержанням CO та водню:



Сумарна реакція



Одержаний по цій реакції CO₂ видаляється, а водень використовується як пальне в газовій турбіні комбінованого циклу генерації. Використання технології газифікації вугілля замість його прямого спалювання дає перевагу розвитку інфраструктури для економного транспорту водню. Технологія виробництва водню дає можливість генерації електричної та теплової енергії в майбутньому на діючих енергетичних установках, а також його використання в комунальній сфері.

Використання газифікації палива дозволяє впровадити комбінований цикл генерації електричної енергії коефіцієнт корисної дії (ККД), якого майже в 1,6 разів перевищує ККД традиційної генерації на існуючих теплових електричних станціях (ТЕС). Виробництво водню доцільно організовувати в місцях зосереджених біля видобутку вугілля. Як показують розрахунки транспорт водню до місць споживання електричної енергії обходиться значно дешевше порівняно з транспортуванням електричної енергії. Слід відзначити, що водень може бути застосований також для генерації енергії в паливних елементах з ККД близьким до одиниці. В світовій практиці намітилась тенденція розосередженого виробництва електричної енергії близької до місць її споживання. В такому випадку транспорт водню забезпечує також одержання високочистої води, що має велике значення для регіонів з дефіцитом прісної води (наприклад, для Донбасу).

Добре встановленою технологією газифікації являється газифікація Лургі. При цій технології потрібен кисень, тому для цього використовують кисневий завод, який постачає необхідну кількість кисню. Типовий газ, що утворюється при газифікації Лургі, складається з 40% H₂, 30% CO₂, 15% CH₄ та 15% CO. Він містить також в незначній кількості важкі вуглеводні (C₂+) і H₂S.

Для збирання та зберігання CO₂ стали широко використовувати трубопровідний транспорт. Вилучений із газифікованого палива CO₂ транспортується у місце депонування. CO₂ в значній мірі інертний та легкокерований газ, тому його можна транспортувати у великих обсягах. Найдовший трубопровід для транспорту CO₂ в сучасних умовах це Sheep

Mountain (США). Його протяжність сягає 656 км. Другим прикладом є трубопровід між індустріальним комплексом Ptolemais і нафтовою промисловістю Prinos (Греція), який має приблизно 300 км в довжину. Приблизно 30 мільйонів тон на рік CO_2 транспортується по трубопроводу в США (6). Ризики проблем за рахунок витоків із труб дуже малі, але, щоб їх виключити, трубопроводи CO_2 потрібно будувати подальше від великих населених пунктів. При відстанях транспортування 300 – 400 км не потрібне проміжне зберігання CO_2 для виключення нестабільності постачання. В світі існує позитивна практика транспорту та акумулювання інших потенційно ризикованих газів, як наприклад, природного газу, етилену, зрідженого нафтового газу, накопичення яких не викликає суттєвих проблем. При необхідності можуть бути побудовані проміжні сховища CO_2 для більшої безпеки.

Трубопровідний тип транспорту CO_2 дешевший порівняно із передачею електричної енергії. Таким чином, дешевше розміщення електростанцій поблизу від міст споживання електричної енергії та транспорт CO_2 по необхідності до місця його депонування. В Україні для депонування вуглекислого газу від Змійєвської ТЕС можуть бути використані відпрацьовані газові свердловини Щебелінського родовища.

В багатьох європейських проектах передбачається зберігання CO_2 під землею. Аналог надійного зберігання природного газу свідчить про те, що підземне зберігання для зібраного CO_2 може бути безпечним та надійним.

Одним з варіантів підземного зберігання вуглекислого газу наведений на рисунку 1.

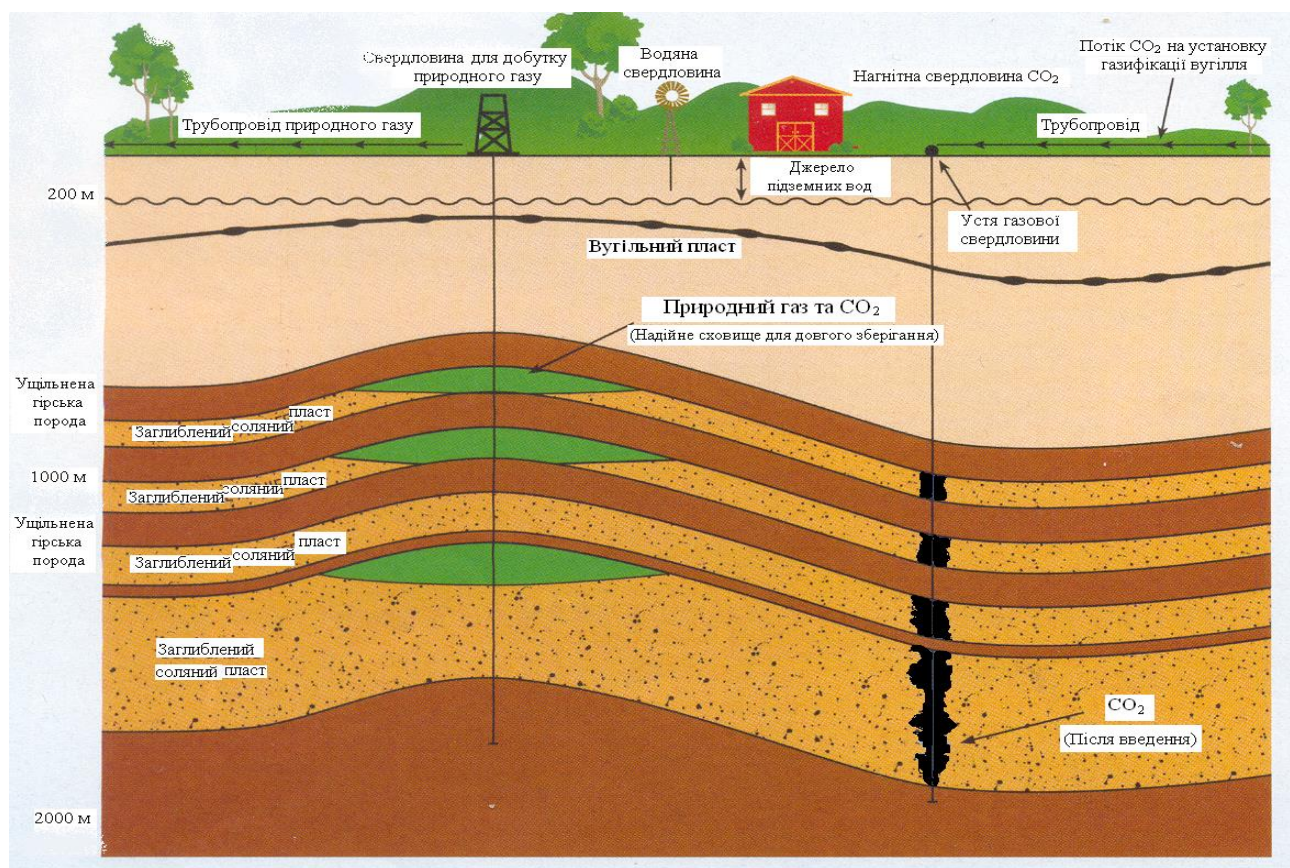


Рисунок 1 – Схема розміщення пластів для акумулювання вуглекислого газу

CO_2 залишається в підземних запасах достатньо довго часу, тому зміна клімату мінімізується. Родовища газу і нафти перебувають в безпеці мільйони років, що забезпечує надійну ізоляцію парникових газів у відпрацьованих виробках. Хімічна взаємодія між CO_2 , що зберігається, із підземними мінералами також має вигідний ефект постійної ізоляції CO_2 . Проте існує можливість того, що взаємодія CO_2 , наприклад, з вапняком може значно

порушити цілісність підземних порід. Але практика відкачки вод, насичених вуглекислим газом, показує що ця небезпека є несуттєвою.

Висновки

Парникові гази суттєво впливають на стан довкілля. Їх викиди можуть призвести до глобального потепління та змін клімату. Основним компонентом впливу на зміну клімату є вуглекислий газ. Зменшення викидів вуглекислого газу (CO₂) може бути досягнуто за рахунок газифікації твердого палива, підвищення ефективності генерації електричної енергії та депонування CO₂ в підземних горизонтах. Світова практика показує, що для скорочення об'єму викидів газів доцільним є використання згоряння палива в кисневій атмосфері та трубопровідного транспорту CO₂ до міст його депонування.

Список літератури

1. Jerry Bauer. Conducting a Greenhouse Gas Emission Inventory // Power Engineering. – 2007. – November. – P. 16–25.
2. Макогон Ю.В., Рябчин О.М. Роль Кіотського протоколу і сучасних еко-технологій в енергозберігаючій політиці України // Стратегічні пріоритети. – 2006. – №1. – С. 135–143.
3. Ставчук И. «Пастка» парникового ефекту // Урядовий кур'єр. – 2006. – №3. – С. 38–40.
4. Высоцкий С.П. Проблемы эмиссии углекислого газа // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2007. – №2. – С. 47–50.
5. John Tingas. Synergies and Environmental Benefits of Lignite Gasification in Ptolemais with Combined CO₂ Sequestration and Enhanced Oil Recovery in the Prinos Oil Fields in Macedonia-Greece // Petroleum society. – 2008. – P. 1–7.
6. Высоцкий С.П., Чернюк А.А. Применение биомассы как альтернативного источника энергоснабжения // Вісті автомобільно-дорожнього інституту. – 2007. – №2 (5). – С. 191–197.