

**МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ
УКРАЇНИ**

**НАУКОВО-ДОСЛІДНА УСТАНОВА
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ»**

ХІХ МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА:
ПРОБЛЕМИ І ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ СТАТЕЙ

*Відповідальний за випуск: Н. С. Цапко
Комп'ютерна верстка: В. В. Гладкова*

14-15 вересня 2023 р.
м. Харків, Україна

Харків 2023

УДК 502.58:504.064.4

Електронний примірник.

Розміщено на офіційному сайті установи згідно рішення Вченої ради УКРНДІЕП

Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей
XIX Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків,
14-15 вересня 2023 р.) / УКРНДІЕП., 2023. — 416 с.

У збірнику наукових статей висвітлено проблеми, що пов'язані з регіональною екологією, охороною атмосферного повітря та водних об'єктів, переробкою промислових та побутових відходів, моніторингом навколишнього природного середовища, радіоекологічною безпекою та екологічно чистими енергозберігаючими технологіями.

Збірник розраховано на вчених та спеціалістів академічних та галузевих науково-дослідних і проектних інститутів, керівників підприємств різних форм власності, організацій МОЗ України, представників департаментів екоресурсів обласних та міських державних адміністрацій та екологічних інспекцій, управлінь з питань надзвичайних ситуацій, органів державної виконавчої влади та місцевого самоврядування і громадських організацій.

Статті надруковано за авторською редакцією.

© Укладач Науково-дослідна установа
«Український науково-дослідний
інститут екологічних проблем»
(УКРНДІЕП), 2023

Михайлова Є. О., канд. техн. наук, доц.

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, м. Харків, Україна

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ГЕОЛОГІЧНОГО ЗБЕРІГАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ

Зміна клімату через глобальне потепління Землі на сьогоднішній день визнана однією з головних проблем людства, яка перебуває на порядку денному вже більше ніж 40 років. За цей час, усвідомивши серйозність проблеми, світове співтовариство взяло курс на декарбонізацію економіки. Цей процес являє собою розроблення та впровадження комплексу заходів, методів і технологій, націлених на обмеження темпів глобального потепління. Декарбонізація базується на двох основних принципах: зменшенні викидів парникових газів, насамперед CO₂, в атмосферу та обмеженні видобування та використання вуглецевмісної сировини.

Значним кроком у напрямку декарбонізації на світовому рівні було прийняття у 2015 році під час роботи 21-ї Конференції сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату Паризької угоди, яка прийшла на зміну Кіотському протоколу, термін дії якого закінчився в 2020 році. Виходячи цього, у 2021 році уряд України затвердив оновлений Другий Національний визначений внесок України до Паризької Угоди, згідно з яким актуальна кліматична мета України – скорочення до 2030 року викидів парникових газів на 65 % від рівня 1990 року. Однією з вимог Паризької угоди до країн-підписантів є розробка Стратегії низьковуглецевого розвитку до 2050 року. У зв'язку з цим на кліматичному саміті COP26, який відбувся у Глазго у 2021 році, понад 40 країн світу домовилися поступово відмовитись від використання вугілля для виробництва електроенергії. Найбільші економіки світу повинні відмовитися від вугільної генерації до 2030 року, менші – до 2040 року. У свою чергу, Україна в рамках цієї домовленості пообіцяла повністю відмовитись від використання вугілля в енергетиці до 2035 року [1].

Із самого початку індустріальної ери (1750-х років) людство перебуває у значній залежності від викопного палива, отже, для створення сприятливого для клімату розвинутого суспільства потрібні час і гроші. Однією з альтернативних можливостей низьковуглецевого розвитку може стати створення замкненого циклу вуглецю в системі промислового виробництва та енергетики шляхом використання викопного палива без подальшого забруднення довкілля вуглекислим газом. У цьому випадку

вуглець, видобутий з надр землі у вигляді газу, нафти й вугілля, повертатиметься до надр, але вже у вигляді CO₂. Треба відмітити, що геологічне зберігання вуглекислого газу не є винаходом людини. Це широко розповсюджений природний феномен: на нашій планеті існує чимало колекторів CO₂ – геологічних структур, здатних ефективно і безпечно зберігати CO₂ упродовж надзвичайно тривалих періодів часу.

Провідною організацією у світі, що займається проблемами енергоефективності, використання відновлюваних джерел енергії, а також технологією уловлювання і зберігання вуглецю (УЗВ), є міжнародне екологічне об'єднання «Біллона» (The Bellona Foundation), зі штаб-квартирою у місті Осло (Норвегія). Запропонована «Беллоною» ще у 1996 році технологія УЗВ зараз успішно використовується у США, Канаді, Норвегії, Алжирі. Вона може бути особливо цікавою електростанціям, які працюють на викопному паливі, нафтопереробним, цементним, металургійним і хімічним заводам, інтенсивність викидів CO₂ яких в атмосферу є найбільшою [2].

Суть технології УЗВ полягає в тому, що уловлений на промислових об'єктах бездомішковий потік CO₂ стискається, транспортується до місця зберігання і закачується, до породи-колектора скрізь одну чи декілька свердловин [3]. Вуглекислий газ може зберігатись як під землею, так і в морі (рис. 1). Увесь ланцюг технологічних операцій має бути оптимізований для можливого зберігання кількох мільйонів тонн CO₂ на рік.

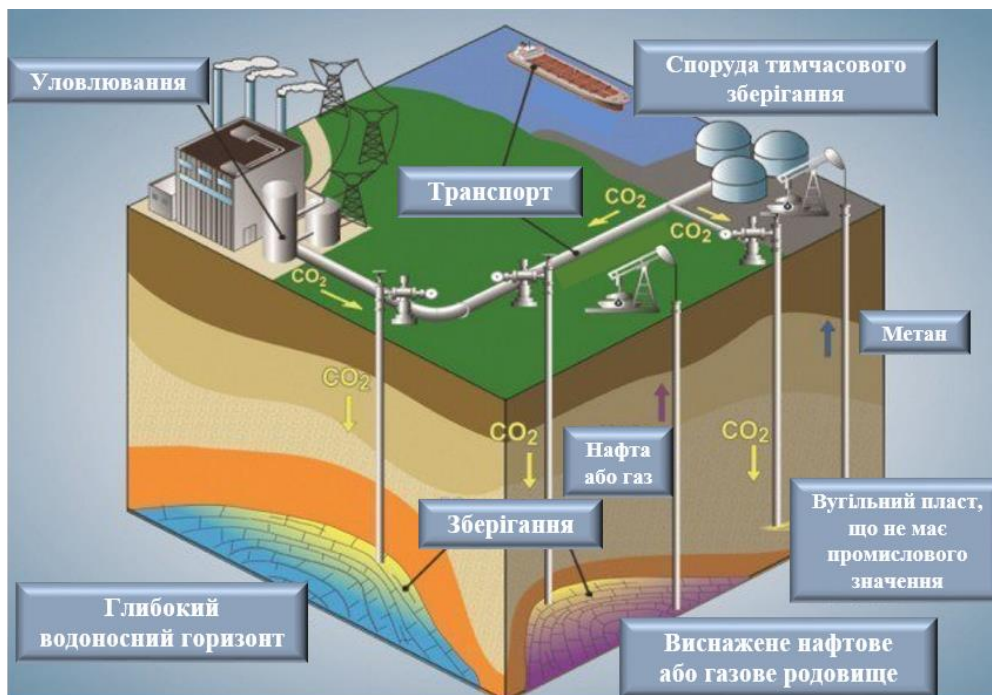


Рисунок 1 – Принципова схема геологічного зберігання вуглекислого газу

На першій стадії технологічного процесу спеціальні установки, які монтуються на підприємствах, за допомогою механічних та хімічних процесів дозволяють уловлювати CO₂ та відокремлювати його від джерела викиду, таким чином перешкоджаючи його потраплянню в атмосферу [4].

Склад і чистота потоку CO₂ мають велике значення на подальших стадіях УЗВ-технології. Наявність кількох відсотків інших речовин, таких як вода (H₂O), сірководень (H₂S), оксиди сірки і азоту (SO_x, NO_x), азот (N₂) і кисень (O₂) впливатимуть на фізичні і хімічні властивості CO₂ та його поведінку в умовах колектору. Тому присутність подібних речовин необхідно враховувати під час проектування стадій компресії, транспортування й закачування, а також під час регулювання експлуатаційних умов і обладнання.

Отриманий висококонцентрований потік CO₂ піддають дегідратації (зневодненню) й компресії (стисканню), що сприяє більш ефективному його транспортуванню і зберіганню. Дегідратація необхідна для уникнення корозії обладнання та пошкодження інфраструктури. Дегідратація проводиться під великим тиском з утворенням гідратів – кристалів твердого льоду, які можуть закупорити обладнання та трубопроводи. Компресія робиться одночасно з дегідратацією. Це багатоступінчатий процес: цикли стискування, охолодження й відокремлення води повторюються. Тиск температура і вміст води – усе має бути пристосовано до виду транспортування й умов зберігання.

Зріджений вуглекислий газ можна транспортувати морськими суднами або трубопроводом. Транспортування CO₂ кораблями може здійснюватися лише в дуже невеликих обсягах (10 000 – 15 000 м³) для промислових цілей. Крім того, морський транспорт не може забезпечити безперервної плавної логістики, а також в порту необхідно мати обладнання для проміжного зберігання й перевантаження CO₂. Транспортування трубопроводом на сьогоднішній день використовується для великих обсягів CO₂ і має перевагу у вигляді безперервного потоку, що рухається від пристрою уловлювання до місця зберігання.

Після транспортування CO₂ закачується і зберігається в пористих геологічних пластах. Тиск закачування повинен бути значно вищий, ніж тиск у породі-колекторі, щоб витіснити з точки закачування CO₂ наявні в колекторі флюїди (газ, воду, нафту). Як правило, тиск закачування не повинен перевищувати тиск розриву гірської породи, оскільки це може спричинити пошкодження геологічної структури колектору. Хімічні процеси можуть впливати на швидкість закачування CO₂. Залежно від типу породи-колектора, складу флюїдів і умов у колекторі (температури, тиску, об'єму, концентрації

речовин тощо) біля свердловин можуть розпочатися процеси розчинення та осадження мінералів. Це може спричинити збільшення чи зменшення швидкості закачування. Кількість свердловин залежить від кількості призначеного для зберігання CO₂, швидкості закачування, проникності і потужності колектору, максимально безпечного тиску закачування й типу свердловини.

До найбільш придатних місць геологічного зберігання вуглекислого газу можна віднести колишні родовища газу та нафти, глибокі соленосні формації або родовища газу та нафти, що вичерпуються, де, як вважають науковці, газ може зберігатися чи не мільйони років. Для України перспективними в цьому плані є Дніпровсько-Донецький та Львівсько-Волинський басейни.

Потенційний колектор для зберігання CO₂ має відповідати багатьом критеріям, основними з яких є [3]:

- значна пористість, проникність гірських порід і ємність сховища;
- наявність перекриваючого непроникного шару гірської породи – так званої «породи-покришки» (наприклад, глини, аргіліту, мергелю, кам'яної солі), яка перешкоджатиме виходу CO₂ з надр;
- залягання глибше ніж 800 м нижче рівня землі, де тиск і температура достатньо високі, щоб зберігати CO₂ в згущеному рідкому стані, і тим самим максимально збільшувати кількість, що зберігається;
- відсутність прісної води: водоносні горизонти, що містять прісну воду, не використовуються для зберігання CO₂, оскільки їх можна використовувати для добування питної води.

Глибокі сольові водоносні горизонти, які можна знайти у всьому світі, в довгостроковій перспективі становлять найбільший потенціал для зберігання CO₂. Сольовий водоносний горизонт – це піщаник, поруватий простір якого природним чином заповнений розчином солей. Після закачування до колектора CO₂ заповнює простір у порах гірської породи і з часом починає розчинятися у соляному розчині. Приблизні оцінки показують, що лише близько 15 % закачаного CO₂ розчиняється впродовж 10 років після закачування. Швидкість розчинення залежить від інтенсивності контакту вуглекислого газу с соляним розчином. Кількість CO₂, яка може розчинятися, обмежена його максимальною концентрацією. Поступово CO₂, особливо в комбінації з соляним розчином, може вступати в хімічні реакції з мінералами, що складають гірську породу колектора, та перетворюватися на твердий вапняк (CaCO₃), який є найбезпечнішою формою геологічного зберігання CO₂. За деякими оцінками лише відносно невелика частина CO₂ буде зв'язана шляхом мінералізації через дуже

тривалий проміжок часу. Через 10 000 років тільки 5 % закачаного CO₂ здатно мінералізуватися, тоді як 95 % залишається у вигляді окремої густої фази [3].

Одним із ключових питань геологічного зберігання вуглекислого газу є те, що воно має бути постійним, а отже на ділянках зберігання не повинно відбуватися витоків. Ризики, пов'язані зі зберіганням CO₂ в геологічних резервуарах, поділяються на дві категорії: глобальні ризики та місцеві ризики. До глобальних ризиків відноситься просочення частини CO₂ з пласту зберігання в атмосферу, що може значно вплинути на зміну клімату. Місцеві ризики включають небезпеку для людей, екосистем та підземних вод. Однак моніторинг та аналіз поточних місць зберігання CO₂, природних та технічних систем і моделей вказують на те, що ймовірність течі у належним чином обраних та доглянутих породах-колекторах майже відсутня або ж незначна в довгостроковій перспективі [5].

Звісно, процес УЗВ потребує чималих фінансових затрат, зокрема, для моніторингу ситуації, геологічних досліджень, розроблення проектів і закупівлі обладнання. Однак, за різними підрахунками, використання цієї технології на підприємствах дозволить знизити викиди вуглекислого газу в атмосферу на 85–98 %. А в США навіть знайшли спосіб додатково заробити на декарбонізації викидів, використовуючи CO₂ для підняття тиску пластів на вичерпаних родовищах нафти й природного газу, тим самим збільшуючи обсяги їх видобутку [2].

Зараз УЗВ-технологія є відомою технологією декарбонізації багатьох національних і глобальних програм з боротьби зі зміною клімату. Численні дослідження таких організацій, як Міжурядова група експертів зі зміни клімату, Форум провідних економік і Міжнародне енергетичне агентство вказали на необхідність істотного глобального впровадження УЗВ-технології в промисловий та енергетичний сектори для ефективної праці над змінами клімату. Хоча, жодна окрема технологія не може запобігти руйнівним змінам клімату. Тільки використання повною мірою усіх доступних технологій і заходів, таких як поновлювальні джерела енергії, підвищення енергоефективності, скорочення викидів у сільському і лісовому господарствах, а також застосування технології УЗВ допоможе успішно здійснювати процес сталого розвитку суспільства.

Література:

1. Михайлова Є. Аналіз проблеми викидів парникових газів та методів їх знешкодження. The scientific paradigm in the context of technological development and social change : scientific monograph. Riga, Latvia, 2023. Part 2. P. 25-59.

2. Викиди вуглекислого газу: вловити, зберегти, використати. Екологія. Право. Людина : веб-сайт. URL: <http://epl.org.ua/environmental-news/vykydy-vuhlekysloho-hazu-vlovyty-zberehty-vykorystaty/> (дата звернення: 09.11.2015).
3. Що насправді означає геологічне зберігання CO₂? CO₂GeoNet. URL: https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/2016/04/CO2GeoNet-Brochure-ukr_comp_protected_ukr-1.pdf.
4. Михайлова Є. О., Панасенко О. В., Маркова Н. Б. Проблема викидів карбон (IV) оксиду та можливі шляхи її вирішення. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2020. № 1 (3). С. 80-88.
5. Уловлювання та зберігання вуглецю: українські перспективи для промисловості та забезпечення енергетичної безпеки. Bellona : веб-сайт. 2013. URL: https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/UKRAINE CCS Energy Security Industry_Ukrainian.pdf.