ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ

УДК: 502.36 : 504.064 : 666.9
DOI: 10.31471/2415-3184-2023-1(27)-7-15

М. М. Орфанова
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ЩОДО ПИТАННЯ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ТА УТИЛІЗАЦІЇ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ТЕС

Викиди діоксиду вуглецю є одною з причин підвищення температури та глобального потепління. Аналіз законодавчої бази показав, що в Україні створені всі передумови переходу до низьковуглецевого розвитку, скорочення викидів парникових газів і декарбонізації промисловості. Сценарії зміни кліматичних умов показали, що до 2050 р. в України очікується загальне потепління. Максимальні значення змін температури прогнозується +2,2ºС у грудні. Аналіз напрямків декарбонізації промисловості показав, що основні дослідження зосередженні на декарбонізації металургійних підприємств, підприємств вугільної промисловості, паливо-енергетичного комплексу, декарбонізації транспорту, на виробництві «зеленого» водню як альтернативного палива, переходу від традиційних джерел енергії до альтернативних та визначенні економічних механізмів вуглецевого ціноутворення. Не менш важливими є питання вловлювання, транспортування та захоронення діоксиду вуглецю. Результати досліджень дозволили визначити перспективи та переваги використання кожного з цих напрямків. Важливим є оцінка можливостей та потенціалу використання вловленого діоксиду вуглецю. Зберігання діоксиду вуглецю у глибинних геологічних формаціях вимагатиме проведення комплексу робіт для запобігання забруднення компонентів довкілля. Визначено переваги транспортування діоксиду вуглецю газопроводами порівняно з транспортуванням автомобільним та залізничним транспортом.

Визначений напрямок утилізації золошлакових відходів ТЕС, який полягає у подрібненні відходів у середовищі CO_2 з отриманням стабільних карбонатів Mg і Ca, що дозволяє розширити сфери використання відходів у будівельній промисловості.

Ключові слова: декарбонізація, вловлювання діоксиду вуглецю, транспортування діоксиду вуглецю, зберігання діоксиду вуглецю, промислова фіксація діоксиду вуглецю, відходи ТЕС, подрібнення

Постановка проблеми. Питання декарбонізації промисловості набуває більшої актуальності на шляху інтеграції України в економічну систему ЄС. За даним [1], на сьогодні викиди CO_2 становлять приблизно 42 Гт, що вже є загрозливим для гальмування розвитку глобальних екологічних змін. Температурний сценарій емісії CO_2 прогнозує три варіанти зростання температури на 0,9-2,3ºС, 2,0-3,5ºС і 3,2-5,4ºС [1], що можна віднести, відповідно, до категорій низького, помірного та високого ризиків.

Відповідно до Паризької кліматичної угоди усі країни беруть на себе зобов'язання щодо скорочення обсягів викидів парникових газів в атмосферне повітря, й Україна є не виключенням. У 2016 р. схвалена Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року (Розпорядження КМУ № 932-р від 7 грудня 2016 р.), яка визначає та реалізує державну політику в сфері зміни клімату та гармонізує вітчизняну нормативно-законодавчу базу з міжнародною [3].

Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року, яка схвалена Розпорядженням КМУ № 1363-р від 20 жовтня 2021 р., виділяє основні екологічні проблеми, які негативно впливають на сталість екосистем, окреслює крос-секторальні проблеми адаптації до зміни клімату та визначає цілі та основні завдання підвищення рівня екологічної безпеки, зменшення впливів та наслідків зміни клімату в Україні [4]. Передбачається зниження

обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел на 22,5% порівняно з 2015 р. [4] і на 65% порівняно з 1990 р. [2].

Стратегія низьковуглецевого розвитку до 2050 р. визначає передумови переходу до низьковуглецевого розвитку, скорочення викидів парникових газів і окремим пунктом розглядає декарбонізацію енергетики [5].

Починаючи з 2020 року запроваджено регулювання заходів щодо зменшення викидів діоксиду вуглецю. У зв'язку з чим застосовуються три форми економічних механізмів вуглецевого ціноутворення [2, 6, 7] – екологічний податок на викиди парникових газів та система торгівлі квотами на їх викиди та їх поєднання, по аналогії як в країнах ЄС, де розмір податків коливається від € 30 до € 147 на 1 т CO_2 [1].

Для України розроблені сценарії зміни кліматичних умов на середньо- та довгострокову перспективу, базуючись на даних глобальних та регіональних моделей. Сценарії показали, що до 2050 р. очікується загальне потепління і максимальні значення змін (+2,2^{0}C± 0,4^{0}C) прогнозуються для грудня [8].

За даними Державної служби статистики України викиди діоксиду вуглецю в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення за регіонами у 2021 році становили 111,9 млн. т або у розрізі областей найбільша кількість викидів CO_2 (понад 22 млн. т) зареєстровано у Донецькій та Дніпропетровській областях, а найменша (менше 0,5 млн. т) – у Чернівецькій, Херсонській, Тернопільській, Волинській та Закарпатській областях (рис. 1) [9].

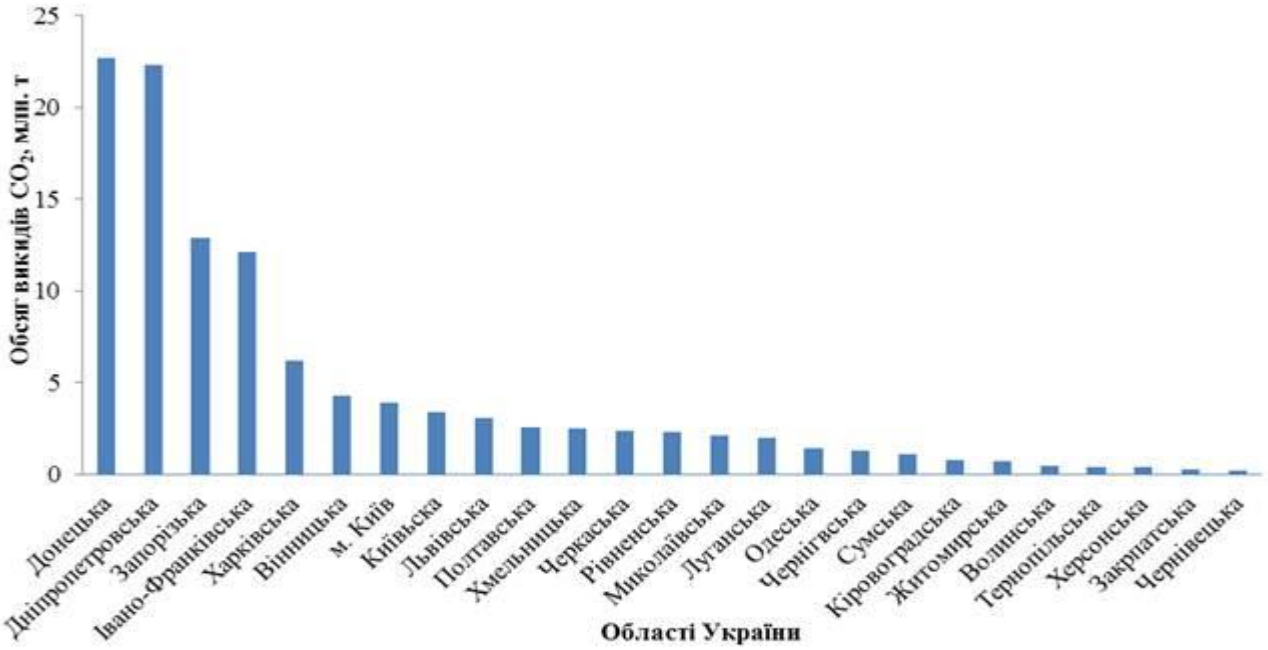

Рис. 1. Викиди діоксиду вуглецю у розрізі областей України, 2021 рік [9]

В Івано-Франківській області в атмосферне повітря у 2021 році з викидами надійшло 12,1 млн. т CO_2, і область посідає 4 позицію в забрудненні території України викидами діоксиду вуглецю. Потенційним джерелом надходження в атмосферне повітря значної кількості забруднюючих речовин, і, в першу чергу, оксидів вуглецю є Бурштинська ТЕС, яка приводять до максимального забруднення території приблизно в 10 км. Іншою, не менш важливою проблемою усіх ТЕС в Україні, є золошлакові відходи, щорічні обсяги утворення яких становлять мільйони тон. Більшість цих відходів не утилізується і потрапляє у відвали, під які в Україні відведено понад 20 тисяч га землі. Золошлакові відвали є причиною вертикальної міграції іонів важких металів та виникненні геохімічних аномалій [10]. За даними [11], CaO може бути вище кларкового значення в 4-12 разів, Al_2O_3 в 2 рази, Fe_2O_3 – в 1,5-3 рази, MgO – в 2-3 рази. Отже, зберігання відходів у золошлакових відвалах приводить до забруднення атмосферного повітря внаслідок ерозійних процесів та забрудненню ґрунтів та підземних вод внаслідок міграції забруднюючих речовин через «тіло» відвалу в природні об'єкти.

Тому, для Івано-Франківській області актуальними є питання декарбонізації та утилізації золошлакових відходів.

Аналіз досліджень та публікацій. Декарбонізація є пріоритетом сталого розвитку промисловості України, що передбачає перехід до циркулярної економіки на принципах вуглецевої нейтральності [7, 12].

Питання декарбонізації промисловості розглядається науковцями та фахівцями-практиками з різних аспектів:

– декарбонізація металургійних підприємств [1, 13–16];

– декарбонізація підприємств вугільної промисловості [1, 8];

– декарбонізація підприємств паливо-енергетичного комплексу [1, 6, 7, 12, 17–20];

– виробництві «зеленого» водню як альтернативного палива [8, 13];

– декарбонізація транспорту [1, 7];

– перехід від традиційних джерел енергії до альтернативних [1, 8, 12, 13];

– запровадження економічних механізмів вуглецевого ціноутворення [1, 2, 6, 7].

Не менш важливими є питання вловлювання, транспортування та захоронення діоксиду вуглецю.

Постановка завдання. Метою роботи є аналіз сучасних напрямків декарбонізації та перспективних шляхів їх реалізації в Україні; аналіз процесів вловлювання, транспортування та захоронення діоксиду вуглецю; аналіз можливості використання золошлакових відходів ТЕС для промислової фіксації CO_2.

Виклад основного матеріалу. Питання декарбонізації передбачає зменшення надходження в атмосферне повітря оксидів вуглецю. Стратегічними напрямками декарбонізації є сектор виробництва електроенергії, промислові підприємства, в першу чергу, підприємства вугільної, нафтогазової та металургійної промисловості, а також транспортна галузь.

Процес декарбонізації може відбуватись декількома шляхами – удосконалення технологічних процесів із зменшенням обсягів утворення оксидів вуглецю (зниження вуглецемісткості технологічних процесів), інтенсивний розвиток альтернативної енергетики, використання альтернативних видів палива, комплексне використання мінерально-сировинних ресурсів і, як наслідок, обмеження видобутку корисних копалин. Основними етапами декарбонізації економіки є вловлювання, захоронення (зберігання) та утилізація CO_2, а також його транспортування до місць зберігання або утилізації.

Вловлювання діоксиду вуглецю [7, 17–20]**.** Одним з важливих етапів декарбонізації є зменшення обсягів надходження діоксиду вуглецю в атмосферне повітря. Вловлювання CO_2 передбачає його відокремлення від основного газового (повітряного) потоку, створення концентрованого потоку CO_2 з високим тиском, який вже можна транспортувати до місця зберігання. При цьому потік CO_2 має бути практично чистий.

На даний час використовується сепарація CO_2 на промислових установках (наприклад, установки для переробки природного газу, виробництву аміаку), абсорбований CO_2 використовується для очистки інших потоків промислових газів. На всіх етапах передбачається сепарація CO_2, H_2 або O_2 від основного газового потоку – димового газу, синтетичного газу, повітря або неочищеного природного газу. Процес сепарації здійснюється за допомогою розчинників, мембран, твердих сорбентів або використовується кріогенне розділення, що залежить від технологічного процесу. При виборі системи вловлювання необхідно враховувати концентрацію CO_2 в газовому потоці та тиск потоку.

Удосконалення системи вловлювання діоксиду вуглецю після або до спалювання палива зможуть зменшити викиди газу приблизно до 90% у порівнянні з стандартними установками. В той же час використання системи спалювання палива із збагаченням кисню може вловлювати практично увесь діоксид вуглецю.

Аналізуючи системи вловлювання CO_2 можна виокремити наступні проблеми:

– процес вловлювання і компресії CO_2 – робота всієї системи вловлювання з наступним зберіганням у геологічних формаціях – потребує більшого використання енергії (на 10-40%) порівняно з установкою стандартного вловлювання CO_2 аналогічної потужності;

– процес вловлювання CO_2 з наступною карбонатною мінералізацією потребує енергії на 60-180% більше порівняно з установкою стандартного вловлювання CO_2 аналогічної потужності;

– збільшення використання енергії буде збільшувати кількість використання палива, що буде приводити до збільшення кількості інших викидів;

– збільшення обсягів вловлювання CO_2 вимагає збільшення розмірів сепараторів, що зробить процес більш енергоємним і більш вартісним;

– збільшення використання енергії знижуватиме економічну ефективність технологічного процесу та вартість продукції;

– відокремлення оксидів сірки і азоту буде знижувати ступінь вловлювання CO_2 до 90%.

Отже, при виборі оптимального способу вловлювання діоксиду вуглецю необхідно оцінити робочі характеристики установок для вловлювання CO_2 з врахуванням технологічних параметрів виробництва. Важливими є оцінка можливостей та потенціалу використання вловленого CO_2 в промисловому процесі виробництва.

Транспортування діоксиду вуглецю [7, 17, 21, 22]**.** Наступним етапом після вловлювання CO_2 є його транспортування до місць зберігання. Процес транспортування проводиться для концентрованого потоку CO_2 високого тиску. Для транспортування використовуються газопроводи, автомобільний або залізничний транспорт. Використання кожного з видів транспорту буде мати свій ряд передумов.

За даним [21], транспортування CO_2 газопроводами вимагає дотримання тиску понад 8 МПа, що зменшує вартість газу, і наявність додаткових компресорних станцій.

Транспортування автомобільним або залізничним транспортом здійснюється у спеціальних цистернах при температурі –20 °С та тиску 2 МПа, що впливатиме на економічну ефективність транспортування.

Перевагами транспортування CO_2 газопроводами є те, що сухий газ, навіть якщо буде містити домішки (оксиди сірки або азоту), не матиме корозійного впливу на трубопровід. Також не менш важливим є зменшення вартості CO_2 за рахунок збільшення його щільності при транспортування під високим тиском.

Одночасно з перевагами є ряд проблем. При транспортуванні газопроводами з метою запобігання виникненню корозії необхідно видалити вологу з потоку CO_2, в інакшому випадку трубопровід зсередини має бути покритий спеціальним сплавом або мати полімерне покриття. В той же час при транспортуванні діоксиду вуглецю трубопроводами зберігаються усі ризики та наслідки витоків газу, які будуть аналогічними при транспортуванні вуглеводнів.

Зберігання (захоронення) діоксиду вуглецю [7, 17, 18, 21-23]**.** Діоксид вуглецю може бути використаний з метою підтримки пластового тиску та інтенсифікації нафтогазовидобутку вуглеводнів. CO_2 може зберігатись у породах-колекторах, соленосних формаціях або сланцевих породах зі значним вмістом органічної речовини. І для його зберігання можуть бути використані виснажені нафтогазові родовища. Глибина зберігання CO_2 має бути понад 800 м.

Для закачування CO_2 в пласт можуть використовуватись технології нафтогазового комплексу для інтенсифікації видобування нафти, коли в пласт нагнітається газ.

При зберіганні CO_2 на глибинах понад 800 м газ буде мати щільність подібну до щільності окремих видів нафти. При закачуванні CO_2 стискається і заповнює пори внаслідок часткового витискання нафти (газу), що сприятиме збільшенню пористого об’єму для подальшого його зберігання. Коли CO_2 надійде у геологічну формацію, будуть відбуватись хімічні взаємодії CO_2 як з породою, так і з водою, і наслідком цих взаємодій буде утворення карбонатних мінералів. У соленосних формаціях потенційний об’єм для зберігання CO_2 буде не перевищувати 30% від загального об’єму породи. Якщо CO_2 буде адсорбуватись на сланцеві породи зі значним вмістом органічної речовини, то він буде витісняти метан. Цей процес може відбуватись на менших глибинах порівняного з процес зберігання у соленосних формаціях або породах-колекторах.

Зберігання CO_2 у геологічних формаціях може викликати наступні екологічні проблеми:

– бокову міграцію CO_2;

– раптові витоки через закинуті свердловини може привести до збільшення понад 7-10% концентрації CO_2 у повітрі, що матиме небезпеку для здоров’я людини;

– поступові та розосереджені витоки CO_2 через дефекти свердловин або руйнування, які можуть впливати:

а) на гідросферу:

– безпосереднє потрапляння CO_2 у водоносні горизонти;

– накопичення CO_2 у зоні між поверхнею і верхньою частиною водного дзеркала;

– потрапляння соляних розчинів у водоносні горизонти внаслідок процесів витискання,

б) на ґрунти:

– збільшення концентрації CO_2 у верхньому шарі ґрунту;

– збільшення кислотності ґрунтів;

– зменшення вмісту кисню;

– як наслідок пригніченість рослинності та негативний вплив на живі організми,

в) на атмосферне повітря:

– збільшення концентрація газу в понижених формах рель'єфу;

– збільшення концентрації газу на територіях з слабкою дією вітру;

– розосередженість витоків по території;

– ліквідація витоків CO_2 та їх наслідків;

– процес нагнітання CO_2 може приводити до збільшення тріщинуватості порід, що збільшує непередбачуваність забруднення навколишніх об'єктів у процесі зберігання газу;

Отже, при зберіганні діоксиду вуглецю у глибинних геологічних формаціях необхідне проведення комплексу наступних робіт:

– визначення оптимальних місць зберігання CO_2 з мінімальною вірогідністю витоків CO_2: наявність перекриваючих порід з високим степенем непроникності, відсутність тектонічних порушень, які сприятимуть міграції газу;

– визначення потенційних зон витоків CO_2;

– моделювання процесів, які можуть відбуватись у природних резервуарах для зберігання CO_2;

– моделювання процесу забруднення навколишнього середовища;

– розробка системи моніторингу.

Промислова фіксація діоксиду вуглецю (***карбонатизація мінералів)***. Технологічні процеси з використанням вловленого CO_2 як сировини замість вуглеводнів не завжди сприяють зменшенню викидів у повному вуглецевому циклі.

Саме фіксація CO_2 з використанням лужних та лужноземельних оксидів (MgO і CaO), які входять до складу як силікатних порід, так і деяких відходів, дозволить зменшити викиди газу. Для промислової фіксації 1 т CO_2 необхідно 1,6 – 3,7 т силікатної породи [24]. Перевагою даного напряму є те, що при карбонізації мінералів CO_2 не буде надходити в навколишнє середовище, в першу чергу в атмосферне повітря. Попередні дослідження показали, що отримані речовини можуть використовуватись у будівельній промисловості або у виробництві будівельних матеріалів [25].

В якості відходів можна розглядати відходи, які містять у своєму складі MgO і CaO, до яких належать відходи паливно-енергетичного комплексу – відходи ТЕС.

В Івано-Франківській області Бурштинська ТЕС є одночасно джерелом викидів оксидів вуглецю та джерелом утворення золошлакових відходів, основним мінеральним компонентом яких є оксиди Mg і Ca.

Найбільш перспективним напрямом утилізації відходів ТЕС є використання їх у будівельній промисловості для виробництва будівельних виробів та у виробництві в'яжучих компонентів будівельних сумішей [11, 26 – 28]. Фіксація CO_2 можлива на MgO і CaO, які є компонентами золошлакових відходів ТЕС. Тому, відходи Бурштинської ТЕС можна розглядати як техногенну сировину для промислової фіксації діоксиду вуглецю.

Процес промислової фіксації CO_2 в карбонатах, в апріорі, має базуватись на природному процесі вивітрювання гірських порід. Тому в розробці технології карбонатизації мінералів можна використати принципи механоактивації речовини як методу збільшення реакційної здатності (хімічної активності) речовини в умовах надтонкого подрібнення. Прискорення (активізація) процесу буде відбуватись за рахунок руйнування кристалічної ґратки, що підтверджується дослідженнями з впливу механоактивації на тверді речовини. Можливе також подрібнення у середовищі CO_2 з отриманням стабільних карбонатів Mg і Ca. На даний час існуючі технології попередньої обробки мінералів є досить енергоємними у порівняні з технологіями, що базуються на методі механоактивації.

Висновки. Декарбонізація промисловості сприятиме запровадженню нових екологічних технологій переробки мінерально-сировинних ресурсів, більш використання альтернативних видів енергії та відкриває нові перспективи в напрямках утилізації відходів.

Основними напрямками декарбонізації є вловлювання, захоронення, утилізація CO_2 та його транспортування до місць зберігання або утилізації, що вимагає іноді багатофакторного аналізу.

При виборі оптимального способу вловлювання діоксиду вуглецю необхідно враховувати технічні та технологічні параметри виробництва, оцінювати потенціал використання вловленого

CO_2 у промисловому процесі.Транспортування CO_2 газопроводами поряд з перевагами (зменшення вартості CO_2, наявність оксидів сірки або азоту, не викликатиме корозійного впливу на трубопровід) матиме деякі недоліки (необхідно видаляти вологу з потоку CO_2, зберігаються усі ризики та наслідки витоків газу, аналогічні при транспортуванні трубопроводами вуглеводнів).

Зберігання CO_2 у геологічних формаціях може викликати забруднення атмосферного повітря, ґрунтів та підземних вод. Перспективним напрямком одночасної утилізації CO_2 та золошлакових відходів є його промислова фіксація на MgO і CaO, які входять до складу відходів ТЕС.

Література

1 Гура К. Ю., Петрук В. Г. Аналіз сучасних тенденцій декарбонізації та екомодернізації енергетики України і світу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. № 5. С. 19–24.

2 Замула І., Кірейцева Г., Травін В., Берляк Г., Палій О. Торгівля квотами на викиди парникових газів: обліковий підхід. Економіка. Управління. Інновації. Випуск № 1 (30), 2022. URL : http://surl.li/hdztc.

3 Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року. URL : https://www.kmu.gov.ua/npas/249573705.

4 Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року. URL : https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-shvalennya-strategiyi-ekologichno-a1363r.

5 Стратегія низьковуглецевого розвитку до 2050 року. URL : http://surl.li/heaoq.

6 Гораль Л., Войтків Л., Дуб С., Степанюк О., Якубишин О. Бюджетна політика підприємств з транспортування вуглеводнів в сфері декарбонізації. Вісник Хмельницького національного університету. 2022. № 3. С. 263-267. URL : http://surl.li/heehz.

7 Білявський М. Україна і глобальна політика декарбонізації. URL : http://surl.li/cbscc.

8 Звіт про науково-дослідну роботу «Розробленні сценарії зміни кліматичних умов в Україні на середньо- та довгострокову перспективу з використанням даних глобальних та регіональних моделей». URL : http://surl.li/hebbi.

9 Статистичний щорічник України 2021 рік. Державна служба статистики України. URL : http://surl.li/heekk.

10 Азроян Г.Н., Орфанова М.М., Думенко С.С., Крикливий Ю.А. Дослідження процесів вертикальної міграції іонів важких металів у золо- та шлаковідвалах Бурштинської ТЕС та їх осадження на карбонатах. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2011№ 2 (4). С.30-36.

11 Яцишин А. В., Матвєєва І. В., Ковач В. О., Артемчук В. О., Каменева І. П. Особливості впливу золовідвалів підприємств теплоенергетики на навколишнє середовище. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2018. № 2(28). С.57–68. URL : http://surl.li/hekaw.

12 Кузнецова М. О. Декарбонізація як пріоритет сталого розвитку енергетичного підприємства. Економіка та держава. 2021. № 1. С. 171–174. DOI: 10.32702/2306-6806.2021.1.171. URL : http://www.economy.in.ua/pdf/1_2021/28.pdf.

13 Бабаченко О. І., Нестеров О. С., Гармаш Л. І. Декарбонізація та енергетична криза. Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. 2022. Випуск 36. С. 35–48. URL : http://jrn.isi.gov.ua/sb/sb36/36_035-048.pdf.

14 Аналітичний звіт щодо дослідження процесу декарбонізації у східній Україні. URL : http://surl.li/hejzt.

15 Jean-Pierre Birat. Hydrogen steelmaking, part 2: competition with other net-zero steelmaking solutions – geopolitical issues. Matériaux & Techniques, Volume 109, Number 3-4, 2021. URL : http://surl.li/hekgi.

16 Jue Tang, Man-sheng Chu, Feng Li, Cong Feng, Zheng-gen Liu, and Yu-sheng Zhou, Development and progress on hydrogen metallurgy, Int. J. Miner. Metall. Mater., 27 (2020), № 6, pp. 713-723. https://doi.org/10.1007/s12613-020-2021-4.

17 Матківський С. В. Технології уловлювання техногенного діоксиду вуглецю та перспективи його утилізації у виснажених нафтогазових родовищах. Нафтогазова енергетика. 2021. № 2 (36). С. 31-41.

18 Вязовик, В. М., Починок, В. В., Шинкаренко, Д. Ю. (2021). Класифікація технологій утилізації діоксиду вуглецю в умовах економіки замкнутого циклу. Вісник Черкаського

державного технологічного університету, 2021. №2, С. 82–107. https://doi.org/10.24025/2306-4412.2.2021.227052.

19 Donglong Fu., Mark E. Davis. Toward the feasible direct air capture of carbon dioxide with molecular sieves by water management. URL : http://surl.li/helrn.

20 Fanhe Kong, Guanhe Rim, MinGyu Song, Cornelia Rosu, Pranjali Priyadarshini, Ryan P. Lively, Matthew J. Realff, Christopher W. Jones. Research Needs Targeting Direct Air Capture of Carbon Dioxide: Material & Process Performance Characteristics Under Realistic Environmental Conditions. URL : http://surl.li/hemeo.

21 Матківський С. В., Кондрат, О. Р. (2022). Узагальнення перспективних методів транспортування діоксиду вуглецю для підвищення вуглеводневилучення нафтогазових родовищ. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2020. № 2(83), С. 7–16. http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/9096/1/8662p.pdf.

22 Turgut M. Gür. Carbon Dioxide Emissions, Capture, Storage and Utilization: Review of Materials, Processes and Technologies. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2021.100965.

23 Abdul Hai Alami, Abdullah Abu Hawili, Muhammad Tawalbeh, Rita Hasan, Lana Al Mahmoud, Sara Chibib, Anfal Mahmood, Kamilia Aokal, Pawarin Rattanapanya. Materials and logistics for carbon dioxide capture, storage and utilization. Science of The Total Environment. Volume 717. 2020. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137221.

24 Mineral carbonation and industrial uses of carbon dioxide. URL : http://surl.li/henli.

25 Itam, Z.; Zawawi, H.; Sivaganese, Y.; Beddu, S.; Mohd Kamal, N.L. Carbon Dioxide Sequestration in Concrete and its Effects on ConcreteCompressive Strength. Preprints.org 2020, 2020080147. https://doi.org/10.20944/preprints202008.0147.v1.

26 Орфанова М.М., Боднар Н.В. Перспективні напрямки використання золи Бурштинської теплоелектростанції. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2017. №1 (15). С. 156-159.

27 Сердюк В. Р., Рудченко Д. Г., Гудзь Д. В. Використання золи виносу Бурштинської ТЕС в технології виробництва автоклавного газобетону. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2021. № 2. С.24-31. DOI: https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-155-2-24-31.

28 Shivkumar Sahani, Malik Mohammad Suhail, Mohammad Shadik Siddiqui, Mohammad Yusuf, Md Sarfaraj Ansari, Ms Khushboo Tiwari. PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT WITH FLY ASH IN CONCRETE. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. Volume:05. 2023. URL : http://surl.li/henvh.

M. Orfanova

Ivano-Frankivsk National Technical
University of Oil and Gas

DECARBONIZATION AND DISPOSAL OF ASH AND SLAG WASTE OF THERMAL POWER PLANTS

Carbon dioxide emissions are one of the causes of temperature increase and global warming. The legislative framework analysis has shown that all the prerequisites for the transition to low-carbon development, reduction of greenhouse gas emissions, and industry decarbonization have been created in Ukraine. The climate change scenarios have shown that general warming is expected in Ukraine by 2050. The maximum temperature changes are predicted to be +2.2ºC in December. The analysis of industry decarbonization directions has shown that major studies are focused on the decarbonization of metallurgical enterprises, coal industry enterprises, fuel and energy complex, transport decarbonization, production of “green” hydrogen as an alternative fuel, transition from traditional energy sources to alternative ones, and determination of economic mechanisms of carbon pricing. The issues of carbon dioxide capturing, transporting and storing are important. The research results have helped to determine the prospects and advantages of each direction. It is important to assess the possibilities and potential of using captured carbon dioxide. The carbon dioxide storage in deep geological formations will require a complex of actions aimed at preventing the pollution of environmental components. The advantages of transporting carbon dioxide by pipelines have been defined compared to transportation by road and rail transport.

The disposal direction of ash and slag waste of thermal power plants has been determined. It consists in grinding waste in the carbon dioxide medium with obtaining stable Mg and Ca carbonates. This allows to expand the scope of waste use in the construction industry.

Key words: decarbonization, capture of carbon dioxide, transportation of carbon dioxide, storage of carbon dioxide, industrial fixation of carbon dioxide, thermal power plant waste, grinding.

References

1 Hura K. Yu., Petruk V. H. Analiz suchasnykh tendentsiy dekarbonizatsiyi ta ekomodernizatsiyi enerhetyky Ukrayiny i svitu. Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu. 2021. № 5. C. 19–24.

2 Zamula I., Kireitseva H., Travin V., Berliak H., Palii O. orhivlya kvotamy na vykydy parnykovykh haziv: oblikovyy pidkhid. Ekonomika. Upravlinnya. Innovatsiyi. Vypusk № 1 (30), 2022. URL : http://surl.li/hdztc.

3 Kontseptsiya realizatsiyi derzhavnoyi polityky u sferi zminy klimatu na period do 2030 roku. URL : https://www.kmu.gov.ua/npas/249573705.

4 Stratehii ekolohichnoi bezpeky ta adaptatsii do zminy klimatu na period do 2030 roku. URL : https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-shvalennya-strategiyi-ekologichno-a1363r.

5 Stratehiia nyzkovuhletsevoho rozvytku do 2050 roku. URL : http://surl.li/heaoq.

6 Horal L., Voitkiv L., Dub S., Stepaniuk O., Yakubyshyn O. Biudzhetna polityka pidpryiemstv z transportuvannia vuhlevodniv v sferi dekarbonizatsii. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. 2022. № 3. C. 263-267. URL : http://surl.li/heehz.

7 Biliavskyi M. Ukraina i hlobalna polityka dekarbonizatsii. URL : http://surl.li/cbscc.

8 Zvit pro naukovo-doslidnu robotu «Rozroblenni stsenarii zminy klimatychnykh umov v Ukraini na seredno- ta dovhostrokovu perspektyvu z vykorystanniam danykh hlobalnykh ta rehionalnykh modelei». URL : http://surl.li/hebbi.

9 Statystychnyi shchorichnyk Ukrainy 2021 rik. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. URL : http://surl.li/heekk.

10 Azroian H.N., Orfanova M.M., Dumenko S.S., Kryklyvyi Yu.A. Doslidzhennia protsesiv vertykalnoi mihratsii ioniv vazhkykh metaliv u zolo- ta shlakovidvalakh Burshtynskoi TES ta yikh osadzhennia na karbonatakh. Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia. 2011№ 2 (4). C.30-36.

11 Yatsyshyn A. V., Matvieieva I. V., Kovach V. O., Artemchuk V. O., Kameneva I. P. Osoblyvosti vplyvu zolovidvaliv pidpryiemstv teploenerhetyky na navkolyshnie seredovyshche. Problemy nadzvychainykh sytuatsii. 2018. № 2(28). C.57–68. URL : http://surl.li/hekaw.

12 Kuznetsova M. O. Dekarbonizatsiia yak priorytet staloho rozvytku enerhetychnoho pidpryiemstva. Ekonomika ta derzhava 2021. № 1. C. 171–174. DOI: 10.32702/2306-6806.2021.1.171. URL : http://www.economy.in.ua/pdf/1_2021/28.pdf.

13 Babachenko O. I., Nesterov O. S., Harmash L. I. Dekarbonizatsiia ta enerhetychna kryza. Fundamentalni ta prykladni problemy chornoi metalurhii. 2022. Vypusk 36. C. 35–48. URL : http://jrn.isi.gov.ua/sb/sb36/36_035-048.pdf.

14 Analitychnyi zvit shchodo doslidzhennia protsesu dekarbonizatsii u skhidnii Ukraini. URL : http://surl.li/hejzt.

15 Jean-Pierre Birat. Hydrogen steelmaking, part 2: competition with other net-zero steelmaking solutions – geopolitical issues. Matériaux & Techniques, Volume 109, Number 3-4, 2021. URL : http://surl.li/hekgi.

16 Jue Tang, Man-sheng Chu, Feng Li, Cong Feng, Zheng-gen Liu, and Yu-sheng Zhou, Development and progress on hydrogen metallurgy, Int. J. Miner. Metall. Mater., 27 (2020), № 6, pp. 713-723. https://doi.org/10.1007/s12613-020-2021-4.

17 Matkivskyi S. V. Tekhnolohii ulovliuvannia tekhnohennoho dioksydu vuhletsiu ta perspektyvy yoho utylizatsii u vysnazhenykh naftohazovykh rodovyshchakh. Naftohazova enerhetyka. 2021. № 2 (36). C. 31-41.

18 Viazovyk, V. M., Pochynok, V. V., Shynkarenko, D. Yu. (2021). Klasyfikatsiia tekhnolohii utylizatsii dioksydu vuhletsiu v umovakh ekonomiky zamknutoho tsyklu. Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu, 2021. №2, C. 82–107. https://doi.org/10.24025/2306-4412.2.2021.227052.

19 Donglong Fu., Mark E. Davis. Toward the feasible direct air capture of carbon dioxide with molecular sieves by water management. URL : http://surl.li/helrn.

20 Fanhe Kong, Guanhe Rim, MinGyu Song, Cornelia Rosu, Pranjali Priyadarshini, Ryan P. Lively, Matthew J. Realff, Christopher W. Jones. Research Needs Targeting Direct Air Capture of Carbon Dioxide: Material & Process Performance Characteristics Under Realistic Environmental Conditions. URL : http://surl.li/hemeo.

21 Matkivskyi S. V., Kondrat, O. R. (2022). Uzahalnennia perspektyvnykh metodiv transportuvannia dioksydu vuhletsiu dlia pidvyshchennia vuhlevodnevyluchennia naftohazovykh rodovyshch. Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch. 2020. № 2(83), C. 7–16. http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/9096/1/8662p.pdf.

22 Turgut M. Gür. Carbon Dioxide Emissions, Capture, Storage and Utilization: Review of Materials, Processes and Technologies. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2021.100965.

23 Abdul Hai Alami, Abdullah Abu Hawili, Muhammad Tawalbeh, Rita Hasan, Lana Al Mahmoud, Sara Chibib, Anfal Mahmood, Kamilia Aokal, Pawarin Rattanapanya. Materials and logistics for carbon dioxide capture, storage and utilization. Science of The Total Environment. Volume 717. 2020. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137221.

24 Mineral carbonation and industrial uses of carbon dioxide. URL : http://surl.li/henli.

25 Itam, Z.; Zawawi, H.; Sivaganese, Y.; Beddu, S.; Mohd Kamal, N.L. Carbon Dioxide Sequestration in Concrete and its Effects on ConcreteCompressive Strength. Preprints.org 2020, 2020080147. https://doi.org/10.20944/preprints202008.0147.v1.

26 Orfanova M.M., Bodnar N.V. Perspektyvni napriamky vykorystannia zoly Burshtynskoi teploelektrostantsii. Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia. 2017. №1 (15). C. 156-159.

27 Serdiuk V. R., Rudchenko D. H., Hudz D. V. Vykorystannia zoly vynosu Burshtynskoi TES v tekhnolohii vyrobnytstva avtoklavnoho hazobetonu. Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. 2021. № 2. C.24-31. DOI: https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-155-2-24-31.

28 Shivkumar Sahani, Malik Mohammad Suhail, Mohammad Shadik Siddiqui, Mohammad Yusuf, Md Sarfaraj Ansari, Ms Khushboo Tiwari. PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT WITH FLY ASH IN CONCRETE. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science. Volume:05. 2023. URL : http://surl.li/henvh.