

Актуальні питання нафтогазової галузі

УДК 622.279.5

DOI: 10.31471/1993-9973-2022-2(83)-7-16

УЗАГАЛЬНЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ МЕТОДІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИЛУЧЕННЯ НАФТОГАЗОВИХ РОДОВИЩ

¹С. В. Матківський*, ²О. Р. Кондрат

¹Акціонерне Товариство «Укргазвидобування»; 04053, м. Київ, вул. Кудрявська, 26/28,
тел./факс (04427) 2-31-15, e-mail: matkivskij@gmail.com

²ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42195,
e-mail: kondrat@nung.edu.ua

Екологічна проблема на сьогодні є вкрай гостро вираженою у зв'язку з неефективним використанням енергетичних ресурсів. Питання врегулювання екологічних проблем неодноразово піднімалися світовою спільнотою, що усвідомлює можливі наслідки для людського існування. Зменшити навантаження на навколишнє середовище можна шляхом застосування на великих енергоємних підприємствах, що працюють на вугільній паливі, технологій уловлювання діоксиду вуглецю. Повномасштабне впровадження таких технологій вже розпочато в США, Канаді та багатьох країнах Європи. Уловлений діоксид вуглецю утилізується у виснажених нафтогазових покладах, водоносних горизонтах, вугільних пластах, океанах тощо. Варто зазначити, що використання діоксиду вуглецю для підвищення вуглеводневилучення виснажених нафтогазових родовищ характеризується підтверженою ефективністю. Закачування техногенного діоксиду вуглецю в продуктивні поклади за різними технологічними схемами дає змогу підвищити кінцеві коефіцієнти вуглеводневилучення та зменшити навантаження на навколишнє середовище. Реалізація таких проєктів вимагає пошуку шляхів транспортування техногенного діоксиду вуглецю до місця його утилізації. Діоксид вуглецю можна транспортувати трубопроводами, автомобільним, залізничним та морським транспортом тощо. Метод транспортування діоксиду вуглецю залежить виключно від відстаней та об'ємів транспортування. Зважаючи на те, що на більшості виснажених родовищ вуглеводнів вже впроваджувалися вторинні технології розробки, існуючу інфраструктуру можна використати в рамках процесу декарбонізації енергетичного сектору України. В даному випадку діоксид вуглецю є корисним продуктом, а реалізація такого роду проєктів дозволить значно знизити вартість модернізації енергоємних підприємств та зменшити рівень шкідливих викидів в атмосферу.

Ключові слова: діоксид вуглецю, глобальне потепління, зміна клімату, декарбонізація, технології уловлювання, транспортування, трубопроводи, автоцистерни, нафтогазові родовища, підвищення вуглеводневилучення.

Экологическая проблема на данный момент крайне остро выражена из-за неэффективного использования энергетических ресурсов. Вопросы урегулирования экологических проблем неоднократно поднимались мировым сообществом, осознающим возможные их последствия для человеческого существования. Уменьшить нагрузку на окружающую среду можно путем использования на крупных энергоёмких предприятиях, работающих на ископаемом топливе, технологий улавливания диоксида углерода. Полномасштабное внедрение такого рода технологий уже начато в США, Канаде и многих странах Европы. Уловленный диоксид углерода утилизируется в истощенных нефтегазовых залежах, водоносных горизонтах, угольных

пластах, океанах и т.д. Следует отметить, что использование диоксида углерода в нефтегазовой промышленности для повышения углеводородоотдачи истощенных нефтегазовых месторождений характеризуется высокой технологической эффективностью. Закачка техногенного диоксида углерода в продуктивные залежи по разным технологическим схемам позволяет повысить конечные коэффициенты углеводородоотдачи и уменьшить нагрузку на окружающую среду. Реализация такого рода проектов требует поиска путей транспортировки техногенного диоксида углерода к месту его утилизации. Диоксид углерода можно транспортировать трубопроводами, автомобильным, железнодорожным и морским транспортом. Метод транспортировки диоксида углерода зависит исключительно от расстояний и объемов транспортировки. Учитывая, что на большинстве истощенных месторождений углеводородов уже внедрялись вторичные технологии разработки, существующую инфраструктуру можно использовать в рамках процесса декарбонизации энергетического сектора Украины. В данном случае диоксид углерода выступает в качестве полезного продукта, а реализация такого рода проектов позволит значительно снизить себестоимость модернизации энергоемких предприятий и снизить уровень вредных выбросов в атмосферу.

Ключевые слова: диоксид углерода, глобальное потепление, изменение климата, декарбонизация, технологии улавливания, транспортировка, трубопроводы, автоцистерны, нефтегазовые месторождения, повышение углеводородоотдачи.

The environmental problem is highly acute due to the inefficient use of energy resources. The world community repeatedly raised the issues of resolving environmental problems, realizing the possible consequences for human existence. The burden on the environment can be reduced by equipping large, energy-intensive fossil fuel-based plants with carbon dioxide capture technologies. The full-scale introduction of such technologies has already begun in the USA, Canada, and many European countries. Captured carbon dioxide is disposed of in depleted oil and gas reservoirs, aquifers, coal seams, oceans, etc. It should be noted that the use of carbon dioxide in the oil and gas industry to increase the hydrocarbon recovery of depleted oil and gas fields is characterized by high technological efficiency. According to various technological schemes, the injection of technogenic carbon dioxide into productive reservoirs makes it possible to increase the final hydrocarbon recovery factors and reduce the environmental burden. Implementing such projects requires searching for ways to transport technogenic carbon dioxide to its disposal facilities. Carbon dioxide transportation can be carried out using pipelines, road and rail transport, sea vessels, and the like. The method of transporting carbon dioxide depends solely on the distance and volume of transport. Even though secondary development technologies have already been introduced in most depleted hydrocarbon fields, the existing infrastructure can be used to decarbonize energy systems. In this case, carbon dioxide acts as a helpful product, and implementing such projects will significantly reduce the cost of modernizing energy-intensive enterprises and the level of harmful emissions into the atmosphere.

Key words: carbon dioxide, global warming, climate change, modernization, energy-intensive enterprises, decarbonization, capture technologies, transportation, pipelines, compressor stations, tank trucks, corrosion, hydrocarbon recovery.

Вступ

Розвиток людського суспільства ґрунтується на виробництві матеріальних і духовних благ, сукупність яких обумовлює сприятливі умови життєдіяльності людини. З часів промислової революції і до сьогоднішніх днів вугілля, нафта та газ є основними енергоресурсами [1].

Вугілля є відносно дешевим продуктом та широко використовується для вироблення електроенергії. Теплові електростанції характеризуються високою надійністю, з використанням яких виробляється близько 40 % електроенергії в цілому світі. Однак спалювання викопного палива призводить до шкідливих викидів димових газів в атмосферу, які характеризуються великим вмістом діоксиду вуглецю. Парникові гази, накопичуючись в атмосфері, затримують тепло та призводять до нагрівання поверхні Землі. Таким чином, робота великих енергоємних підприємств, що працюють на викопному паливі, викликає зміни клімату та глобальне потепління [2].

На даний час екологічна проблема вкрай гостро виражена та є дуже актуальною, оскільки забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами та відходами виробництва досягло максимального рівня. Висока концентрація діоксиду вуглецю в атмосфері зумовлює підвищення ризиків для здоров'я та життєдіяльності людини, а також природних екосистем.

Одним із можливих шляхів зниження концентрації парникових газів в атмосфері є зменшення частки викопного палива в процесах вироблення електроенергії та перехід на альтернативні відновлювальні джерела енергії. Високорозвинуті держави будують свою економіку на основі розвитку відновлювальної енергетики. Використання сонячних, вітрових, гідро- та електростанцій поступово витісняє традиційні способи отримання електроенергії шляхом спалювання вугілля, нафти, газу та збагаченого урану[3].

Кількість енергії, яку можна отримати з відновлюваних джерел енергії, в декілька разів більша, ніж кількість енергії, що споживається. Саме тому відновлювані джерела енергії в майбутньому слід розглядати як основне джерело енергії, оскільки запаси традиційних джерел вичерпуються достатньо швидкими темпами. Використання відновлювальних джерел енергії на сьогоднішній день є ефективним методом боротьби з погіршенням екології та з усіма негативними наслідками для людей та планети в цілому [3].

Для зниження показників промислових викидів діоксиду вуглецю в атмосферу необхідно знизити споживання енергії шляхом інвестування у підвищення енергоефективності та розвиток надійної інфраструктури. Однак, цих заходів буде не достатньо, тому швидке уловлювання та надійне зберігання техногенного діоксиду вуглецю також є необхідною умовою [2].

На сьогоднішній день відомі різні технології виділення парникових газів з продуктів згоряння. До основних та широко використовуваних технологій відносять технології уловлювання діоксиду вуглецю до спалювання, уловлювання після спалювання та зі спалюванням палива, збагаченого киснем [1].

Уловлювання техногенного діоксиду вуглецю та надійне його захоронення в геологічних резервуарах дозволить забезпечити світле майбутнє як для України, так і для всього світу.

Формулювання цілей статті

Теперішнє суспільство в повній мірі залежить від викопного палива, а перехід на альтернативні енергоефективні джерела відновлювальної енергії потребує великих коштів та часу. Однак, стан навколишнього середовища вимагає невідкладних дій щодо зниження рівня шкідливих викидів парникових газів. Досягнути цього можна шляхом уловлювання техногенного діоксиду вуглецю на підприємствах важкої промисловості, що працюють на викопному паливі з наступним його захороненням у нафтогазових покладах.

В даному випадку діоксид вуглецю виступає в якості корисного продукту, завдяки якому вдається підвищити ефективність розробки розвіданих запасів вуглеводнів. Зважаючи на вищенаведене, існує необхідність у проведенні додаткових досліджень з метою формування економічних механізмів реалізації інвестиційних проектів щодо модернізації енергоємних підприємств за рахунок підвищення вуглеводневилучення виснажених нафтогазових родовищ.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Підписання Кіотського протоколу та Паризької угоди зумовило посилення кліматичних вимог в глобальному масштабі щодо зниження рівня викидів парникових газів [4-5]. На сьогоднішній день існує значна кількість технологій уловлювання діоксиду вуглецю, які характеризуються високою технологічною ефективністю та успішно використовуються в світі [1].

Повномасштабне впровадження технологій уловлювання діоксиду вуглецю вже розпочато високорозвинутими країнами світу. На сьогоднішній день уловлювання діоксиду вуглецю здійснюється на нафтопереробному заводі Канади та заводі з виробництва добрив Redwater Nutrien [6]. Також з метою зниження навантаження на навколишнє середовища здійснюється уловлювання техногенного газу на вугільній електростанції Boundary Dam [7].

В США існує безліч проектів щодо декарбонізації енергетичного сектору та зниження шкідливих викидів діоксиду вуглецю в атмосферу. У Європі лідерами в напрямку декарбонізації енергетичних систем виступають такі країни, як Великобританія, Німеччина та Норвегія. Згідно з інвестиційними проектами White Rose та Peter head діоксид вуглецю буде уловлюватися з об'єктів обробки вугілля та на електростанціях, відповідно [8-9].

Загалом у світі є безліч інших інвестиційних проектів щодо уловлювання, транспортування та зберігання техногенного діоксиду вуглецю, які на даний момент знаходяться ще на стадії проведення досліджень.

Інтенсивне впровадження технологій уловлювання діоксиду вуглецю зумовлює необхідність пошуку шляхів утилізації, а також методів його транспортування до місця захоронення. Зазвичай транспортування діоксиду вуглецю здійснюється трубопроводами та є досконалою ринковою технологією. Використання трубопроводів для транспортування неуглеводневого газу розпочали ще в 70-х роках у США [1].

Висока технологічна ефективність використання діоксиду вуглецю як агента нагнітання з метою підвищення вуглеводневилучення сприяла створенню розвинутої мережі трубопроводів у США, Канаді та Угорщині [10-12]. Транспортування діоксиду вуглецю зазвичай здійснюється трубопроводами, які виготовлені з вуглецевої сталі та використовується також і для транспортування природного газу високого тиску [13].



Рисунк 1 – Наслідки корозії промислових трубопроводів

На сьогоднішній день діоксид вуглецю, що уловлюється на великих енергоємних підприємствах Канади, зокрема нафтопереробному заводі та заводі з виробництва добрив Redwater Nutrien, транспортуються до виснажених нафтогазових родовищ з використанням трубопроводу Alberta Carbon Trunk Line загальною протяжністю 240 км. Трубопровід пропонує транспортні послуги та належить компанії Wolf Midstream. Пропускна здатність трубопроводу становить 14,6 млн. т діоксиду вуглецю на рік [14].

У США спеціальними трубопроводами дожиною близько 3000 км щорічно транспортується більше 40 млн т діоксиду вуглецю, в основному для підвищення вуглеводневилучення нафтових родовищ Техасу. Для транспортування діоксиду вуглецю використовуються компресорні станції, які встановлюються на початку трубопроводу, а у випадку значних відстаней облаштовуються також проміжні компресорні станції. Ключовими факторами при проектуванні компресорних станцій є швидкість потоку, тиск всмоктування та нагнітання, теплоємність газу і продуктивність компресорів [15].

При транспортуванні діоксиду вуглецю виникають деякі ускладнення, пов'язані із корозією обладнання, а також закупорюванням трубопроводів. Корозія виникає у зв'язку з наявністю в потоці діоксиду вуглецю води. При взаємодії діоксиду вуглецю з водою утворюється карбонатна кислота, яка спричиняє агресивне корозійне середовище. Тому трубопровід для транспортування діоксиду вуглецю необхідно виготовляти з корозійно стійкого сплаву або покривати його зсередини сплавом. Деякі трубопроводи виготовляються з корозійно стійких сплавів, однак вартість таких матеріалів в кілька разів перевищує вартість марганцево-вуглецевих видів сталей [16-19].

Попередити корозію промислового обладнання можливо шляхом попередньої підготовки діоксиду вуглецю. Перед подачею діоксиду вуглецю в трубопровід здійснюється ретельне його осушення [20]. У такий спосіб можна попередити і закупорювання трубопроводів, яке, в основному, зумовлене утворенням гідрооксидів у потоках вологого діоксиду вуглецю.

Наслідки корозії промислових трубопроводів зображено на рисунку 1.

Процес підготовки діоксиду вуглецю є довготривалим і включає декілька циклів стискання та охолодження з метою відділення вологи. Тиск, температура та вміст вологи повинно бути адаптованим до виду транспортування і вимог зберігання. Для запобігання виникненню двофазного потоку газоподібний діоксид вуглецю стискають до тиску понад 8 МПа, завдяки чому він стає більш легким і менш дорогим для транспортування [1].

Використання трубопроводів для транспортування діоксиду вуглецю дозволяє забезпечити безперервну його подачу від установки уловлювання до місця нагнітання за умови наявності надійного джерела парникового газу. Всі наявні трубопроводи, що використовуються для транспортування діоксиду вуглецю, експлуатуються під високим тиском при термобаричних умовах, за яких діоксид вуглецю поводить себе як газ, однак має густину рідини [1].

Вартість транспортування діоксиду вуглецю трубопроводами значною мірою залежить від відстані та об'ємів транспортування. При проектуванні трубопроводів їх вартість також залежить від поверхневих умов (наявність на маршруті гір, річок тощо). Всі ці фактори можуть подвоїти вартість транспортування діоксиду вуглецю в розрахунку на одиницю об'єму додаткового видобутку вуглеводнів. Будь-які додаткові витрати на встановлення допоміжних компресорних станцій, які можуть виявитися



Рисунок 2 – Автоцистерни компанії EurotankOy для перевезення діоксиду вуглецю

необхідними для трубопроводів великої протяжності, будуть враховуватися в якості транспортних витрат [1].

Транспортування діоксиду вуглецю можна здійснювати також за допомогою авто-, залізничного транспорту, морських суден тощо. Використання автотранспорту для перевезення діоксиду вуглецю є перспективною технологією. Перевезення діоксиду вуглецю здійснюється за температури $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску 2 МПа. Однак використання авто- та залізничного транспорту може виявитися економічно не рентабельним порівняно із трубопроводами та суднами у випадку необхідності транспортування значних об'ємів діоксиду вуглецю. Дані технології можуть бути реалізовані у випадку перевезення дуже малих обсягів, і навряд чи підходять для використання для реалізації проєктів у великих масштабах.

Компанія EurotankOy є виробником ізольованих автоцистерн для перевезення діоксиду вуглецю. В якості матеріалу для виготовлення цистерн для перевезень діоксиду вуглецю використовується нова сталь типу дуплекс, що обумовлює легкість та високу надійність конструкції. Такі цистерни витримують великі навантаження, мають значний термін служби та дуже легко очищаються [21].

Автоцистерни компанії EurotankOy для перевезення діоксиду вуглецю зображено на рисунку 2.

Компанія ASCO постачає транспортувальні (знімні) резервуари для перевезення діоксиду вуглецю різних розмірів. Дані резервуари можна встановити на будь-яку вантажівку або причіп жорсткого плоского типу.

Переносні цистерни є економічною альтернативою звичайним автоцистернам, оскільки оператор може використовувати транспортний засіб для виконання інших службових завдань. Резервуар є автономним блоком, який встанов-

люється на шасі вантажного автомобіля та може бути легко піднятий чи відключений за необхідності. Спеціально розроблена конструкція переносних цистерн для перевезення діоксиду вуглецю, так і напівпричепів дуже зручне в управлінні. У відсіку техніки, що замикається, розміщені насос і двигун, регулюючі клапани, манометри та трубопроводи [22].

Транспортувальні цистерни компанія ASCO для перевезення діоксиду вуглецю зображено на рисунку 3.

Транспортування діоксиду вуглецю може здійснюватися із використанням морських суден, однак індустрія морського транспортування є обмеженою та вимірюється кількома невеликими суднами. Переважна більшість із цих суден належать норвезькому підприємству Yara.

Перше морське судно «Yaragas III» призначено для транспортування діоксиду вуглецю для хімічної промисловості споруджено в 1975 році з вантажопідйомністю 2645 тонн. Протягом 1977 року на гамбурзькій верфі JJ Sietas Schiffswerft споруджено ще два морські судна під назвами «Yaragas I» та «Yaragas II» з вантажопідйомністю 2060 та 1964 тонн відповідно. У 2005 році нідерландською компанією Bodewes Shipyard та польською компанією Marine Projects введено в експлуатацію ще два судна під назвами «Yara Embla» та «Yara Froya». Вантажопідйомність цих суден становила по 3480 тонн.

Однак на сьогоднішній день в світі існує тільки один газозов, споруджений у 1999 році виключно для транспортування техногенного діоксиду вуглецю з об'єктів уловлювання до місця його захоронення. Дане судно належить компанії Anthony Veder та має назву «Coral Carbonic» [23].

Транспортування діоксиду вуглецю морськими суднами може бути більш вигідним варі-



Рисунок 3 – Транспортвальні цистерни компанія ASCO для перевезення діоксиду вуглецю

антом за необхідності перевезення значних його об'ємів. Транспортування у великих комерційних обсягах може бути реалізовано з використанням морських танкерів, однак в даний час, з огляду на обмежений попит діоксиду вуглецю, подібні перевезення здійснюється в невеликому обсязі. Тому за потреби масштаби використання даної технології транспортування діоксиду вуглецю можуть бути збільшені до розміру великих перевізників [1].

В майбутньому використання морських суден для транспортування техногенного діоксиду вуглецю може стати привабливою перспективою для модернізації великих енергоємних підприємств шляхом обладнання їх технологіями уловлювання діоксиду вуглецю. Особливо ефективним такий вид транспортування може бути у випадку розташування джерела діоксиду вуглецю поблизу морських берегів та значної віддаленості об'єкта, в який планується здійснювати процес його нагнітання.

Морські судна, які використовуються для транспортування зрідженого природного газу, можуть бути використані і для перевезення діоксиду вуглецю. Однак, морський транспорт не може забезпечити безперервної та плавної логістики, оскільки в порту також потрібно мати додаткове обладнання та спецтехніку для вивантаження, зберігання та подальшого транспортування діоксиду до пункту призначення.

На основі порівняльного аналізу техніко-економічних показників встановлено високу економічну ефективність транспортування діоксиду вуглецю з використанням морського судна за наявності варіанту транспортування морем на відстані, що перевищують 1000 км, та в об'ємах на рівні кількох мільйонів тон діоксиду вуглецю на рік.

При транспортуванні діоксиду вуглецю до об'єкту здійснюється процес його нагнітання під тиском. Тиск нагнітання повинен бути значно більший за тиск у покладі для того, щоб витиснути з порового простору флюїд, що насичує породу-колектор. Кількість свердловин, необхідних для нагнітання, залежить виключно від запроєктованої системи розробки продуктивних покладів, яка є індивідуальною для кожного нафтогазового об'єкту та враховує індивідуальні особливості геологічної будови.

Зважаючи на те, що діоксид вуглецю чинить негативний вплив на атмосферу та всі живі організми, вкрай важливим завданням при реалізації стратегії декарбонізації енергетичного сектору є забезпечення утримання діоксиду вуглецю в надрах землі протягом тисяч мільйонів років та недопущення його витоку на поверхню [1].

У випадку реалізації технології нагнітання діоксиду вуглецю у виснажені нафтогазові поклади з метою підвищення їх вуглеводневилучення необхідно здійснювати постійний моніторинг та контроль за просуванням фронту діоксиду вуглецю і станом навколишнього середовища в зоні проведення робіт.

Причинами витоку діоксиду вуглецю на поверхню може бути як діяльність людини, так і природні фактори. Потенційними шляхами прориву діоксиду вуглецю на поверхню є свердловини, оскільки, саме вони забезпечують прямий зв'язок між поверхнею та місцем захоплення.

Причини витоку техногенного діоксиду вуглецю на поверхню з нафтогазових свердловин наведено на рисунку 4.

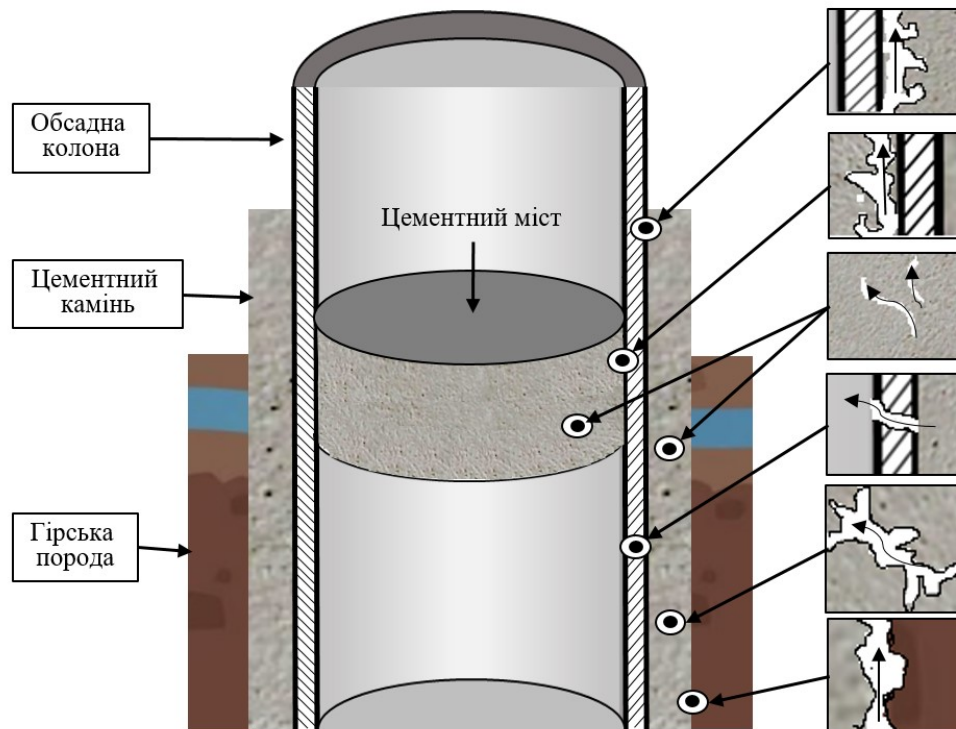


Рисунок 4 – Причини витоку техногенного діоксиду вуглецю на поверхню з нафтогазових свердловин

До основних причин витоку діоксиду вуглецю на поверхню відносять [24-25]:

- ✓ негерметичність цементних мостів на вибої свердловин;
- ✓ дефекти обсадних та експлуатаційних колон, які обумовлені її корозією;
- ✓ негерметичність обсадних та експлуатаційних колон;
- ✓ неякісне і неповне цементування обсадних та експлуатаційних колон.

Для реалізації такого роду проєктів необхідно облаштувати всі свердловини на родовищі спеціальним обладнанням, яке дозволить проводити моніторинг, а також контролювати рівень концентрації техногенного діоксиду вуглецю. Ефективними в цьому випадку буде використання високочутливих геохімічних та геофізичних методів контролю.

Що стосується природних шляхів витоку техногенного діоксиду вуглецю, то потенційними шляхами можуть бути тектонічні порушення, розломи, які не є екранами. Прорив діоксиду вуглецю також може відбутися через систему тріщин у порово-тріщинуватому колекторі.

Родовища вуглеводнів зазвичай є неоднорідними та характеризуються мінливістю фільтраційно-ємнісних властивостей як за товщиною, так і за площею, що значно ускладнює проведення ефективного контролю за міграці-

єю неуглеводневого газу. В рамках реалізації такого роду проєктів рекомендується проведення повторної сейсмічної розвідки для відстеження підземної міграції діоксиду вуглецю. Корисними можуть також бути такі методи, як гравітаційні і електричні вимірювання. Для безпосереднього виявлення витоку діоксиду вуглецю необхідно регулярно проводити відбір проб ґрунтових вод та ґрунту.

Для виявлення неконтрольованих викидів діоксиду вуглецю можуть застосовуватися методи, які використовуються на рівні поверхні. В рамках всіх існуючих проєктів промислового значення і експериментальних проєктів, необхідно розробляти програми по випробуванню цих та інших методів моніторингу. З огляду на довгостроковий характер зберігання діоксиду вуглецю, може знадобитися проведення моніторингу місця зберігання протягом тривалого часу.

Висновки

Впровадження новітніх технологій уловлювання діоксиду вуглецю на великих енергоємних підприємствах України здійснюється дуже низькими темпами, що, в основному, зумовлено високими інвестиційними витратами на реалізацію такого роду проєктів, переважна більшість яких припадає саме на утилізацію діоксиду вуглецю. Транспортування техноген-

ного діоксиду вуглецю до місця захоронення потребує значних витрат, що зумовлює пошук потенційних місць утилізації діоксиду вуглецю поблизу джерела викидів.

Перспективним напрямом утилізації значних об'ємів діоксиду вуглецю є його використання в нафтогазовій промисловості для підвищення вуглеводневилучення виснажених родовищ. Зважаючи на те, що на більшості цих родовищ вже впроваджувались методи підвищення вуглеводневилучення, існуючу інфраструктуру можна використати для транспортування діоксиду вуглецю. Використання існуючої мережі трубопроводів дозволить знизити вартість інвестиційних проєктів із модернізації енергетичних систем та отримати при цьому додатковий економічний ефект за рахунок додаткового видобутку вуглеводнів.

Практична реалізація розроблених технологій уловлювання, транспортування та утилізації техногенного діоксиду в нафтогазових родовищах дозволить підвищити кінцеві коефіцієнти вуглеводневилучення в умовах значного дефіциту вуглеводневої продукції в Україні та зменшити навантаження на навколишнє середовище.

Література

1. Кіт Уїрпіскі. Уловлювання та зберігання вуглецю: Українські перспективи для промисловості та забезпечення енергетичної безпеки [Текст]: Міжнародне екологічне об'єднання «Біллона», Осло, Норвегія, 2013. С. 48.
2. Кузовкин В.В. Моделирование процессов выбросов CO₂ и захоронения углерода при неэнергетическом использовании топлива. *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2001 №1. С. 34-38.
3. Кудря С.А. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні. *Вісн. НАН України*. 2015. № 12. С. 19-26.
4. Хан С.А. Анализ мировых проектов по захоронению углекислого газа. *Георесурсы*. 2010. №4(36). С. 55-62.
5. Гафуров А.М., Осипов Б.М., Гатина Р.З., Гафуров Н.М. Возможные пути снижения выбросов углекислого газа. *Проблемы энергетики*. 2017. том 19, № 9-10. С. 21-31
6. Електронний ресурс. <https://www.nutrien.com/what-we-do/stories/exciting-project-reduces-emissions-redwater>
7. Електронний ресурс. <https://www.saskpower.com/Our-Power-Future/Infrastructure-Projects/Carbon-Capture-and-Storage/Boundary-Dam-Carbon-Capture-Project>
8. Електронний ресурс. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/439734/Energy_Efficiency.pdf
9. Електронний ресурс. <https://sequestration.mit.edu/tools/projects/peterhead.html>
10. Malik Q.M., Islam M.R. CO₂ Injection in the Wey-burn Field of Canada: Optimization of Enhanced Oil Recovery and Greenhouse Gas Storage With Horizontal Wells. SPE Paper 59327, presented at the 2000 SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium held in Tulsa, Oklahoma, 3-5 April 2000. P.25-33. <https://doi.org/10.2118/00-09-01>
11. Pyo K., Damian-Diaz N., Powell M., Van Nieuwkerk J. CO₂ Flooding in Joffre Viking Pool. Canadian International Petroleum Conference, 10-12 June, Calgary, Alberta, 2003. P. 1-30. <https://doi.org/10.2118/2003-109>
12. Doleschall S., Szittar A., Udvardi G. Review of the 30 Years' Experience of the CO₂ Imported Oil Recovery Projects in Hungary. International Meeting on Petroleum Engineering, 24-27 March 1992. Beijing, China. <https://doi.org/10.2118/22362-MS>
13. Seiersten M. Kongshaug KO. Materials selection for capture, compression, transport and injection of CO₂. In: Thomas DC, Benson SM. Editors. Carbon Dioxide Capture for Storage in Deep Geologic Formations, Elsevier Ltd; 2005; P. 937-953.
14. Електронний ресурс. <https://www.hydrocarbons-technology.com/projects/alberta-carbon-trunk-line-alberta/>
15. Кондрат Р. М., Серединський Д. Ю., Кондрат О. Р. Дослідження застосування вуглекислого газу для вилучення залишкової нафти з обводнених нафтових покладів. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2010. № 2(35). С. 26-30.
16. Influence of hydrate formation and wall shearstress on the corrosionrate of industrial pipeline materials / L. Poberezhny, A. Hrytsanchuk, G.Hrytsuliak, L. Poberezhna, M. Kosmii. *Koroze a Ochrana Materialu*. 2018. Vol. 62(4). P. 121-128.
17. Hydrate formation and its influence on natural gas pipeline internal corrosion / E.O. Obanijesu, V. Pareek, R. Gubner, M.O. Tade. *Nafta*. 2011. Vol. 62(5-6). P.164-173.
18. Impact of gas hydrates and longterm operation on fatigue characteristics of pipeline steels / L. Poberezhny, P. Maruschak, A. Hrytsanchuk, L. Poberezhna, O. Prentkovskis, A. Stanetsky.

Paper presented at the *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 187. P. 356-362.

19. Standard N. A. C. E. (2005). Preparation and Installation of Corrosion Coupons and Interpretation of Test Data in Oil field Operations. NACE RP0775-2005, Houston, TX, NACE International Publication, Item, (21017).

20. Det Norske Veritas (2010). Recommended Practice Dnv-Rp-J202. Design And Operation Of CO₂ Pipelines.

21. Електронний ресурс. <https://eurotank.fi/перевозка-газа/перевозка-co2/?lang=ru>

22. Електронний ресурс. <https://www.directindustry.com.ru/prod/asco-carbon-dioxide/product-38377-1636862.html>

23. Електронний ресурс. https://uk.wikipedia.org/wiki/Судна_для_перевезення_діоксиду_вуглецю

24. Молчанов А.Г. Подземный ремонт скважин. Москва: Недра, 1986. 208 с.

25. Серенко И.А., Сидоров Н.А., Кошелёв А.Т. Повторное цементирование при строительстве и эксплуатации скважин. Москва: Недра, 1988. 263 с.

References

1. Kit Uiriski. Ulovliuvannia ta zberihannia vuhletsiiu: Ukrainski perspektyvy dlia promyslovosti ta zabezpechennia enerhetychnoi bezpeky: Mizhnarodne ekolohichne obiednannia «Billona», Oslo, Norvehiia, 2013. P. 48. [in Ukrainian]

2. Kuzovkin V.V. Modelirovanie protsessov vyibrosov SO₂ i zahoronennya ugleroda pri neenergeticheskom ispolzovanii topliva. *Zaschita okruzhayushey sredy v neftegazovom komplekse*. 2001 No 1. P. 34-38. [in Russian]

3. Kudrya S.A. Stan ta perspektivi rozvitku vldnovlyuvanoYi energetiki v UkraYinI. *VIsn. NAN UkraYini*. 2015. No 12. P. 19-26. [in Russian]

4. 10. Han S.A. Analiz mirovih proektov po zahoronennyu vuglekislogo gaza. *Georesursyi*. 2010. No 4(36). P. 55-62. [in Russian]

5. Gafurov A.M., Osipov B.M., Gatina R.Z., Gafurov N.M. Vozmozhnyie puti snizheniya vyibrosov vuglekislogo gaza. *Problemy energetiki*. 2017. Vol 19, No 9-10. P. 21-31. [in Russian]

6. Elektronnyi resurs. <https://www.nutrien.com/what-we-do/stories/exciting-project-reduces-emissions-redwater>

7. Elektronnyi resurs. <https://www.saskpower.com/Our-Power-Future/Infrastructure-Projects/Carbon-Capture-and-Storage/Boundary-Dam-Carbon-Capture-Project>

8. Elektronnyi resurs. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/439734/Energy_Efficiency.pdf

9. Elektronnyi resurs. <https://sequestration.mit.edu/tools/projects/peterhead.html>

10. Malik Q.M., Islam M.R. CO₂ Injection in the Wey-burn Field of Canada: Optimization of Enhanced Oil Recovery and Greenhouse Gas Storage With Horizontal Wells. SPE Paper 59327, presented at the 2000 SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium held in Tulsa, Oklahoma, 3-5 April 2000. P.25-33. <https://doi.org/10.2118/00-09-01>

11. Pyo K., Damian-Diaz N., Powell M., Van Nieuwkerk J. CO₂ Flooding in Joffre Viking Pool. Canadian International Petroleum Conference, 10-12 June, Calgary, Alberta, 2003. P. 1-30. <https://doi.org/10.2118/2003-109>

12. Doleschall S., Szittar A., Udvardi G. Review of the 30 Years' Experience of the CO₂ Imported Oil Recovery Projects in Hungary. International Meeting on Petroleum Engineering, 24-27 March 1992. Beijing, China. <https://doi.org/10.2118/22362-MS>

13. Seiersten M. Kongshaug KO. Materials selection for capture, compression, transport and injection of CO₂. In: Thomas DC, Benson SM. Editors. Carbon Dioxide Capture for Storage in Deep Geologic Formations, Elsevier Ltd; 2005; P. 937-953.

14. Elektronnyi resurs. <https://www.hydrocarbons-technology.com/projects/alberta-carbon-trunk-line-alberta/>

15. Kondrat R. M., Seredynskyi D. Yu., Kondrat O. R. Doslidzhennia zastosuvannia vuhlekysloho hazu dlia vyluchennia zalyshkovoii nafty z obvodnenykh naftovykh pokladiv. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2010. No 2(35). P. 26-30. [in Ukrainian]

16. Influence of hydrate formation and wall shear stress on the corrosion rate of industrial pipeline materials / L. Poberezhny, A. Hrytsanchuk, G. Hrytsuliak, L. Poberezhna, M. Kosmii. *Koroze a Ochrana Materialu*. 2018. Vol. 62(4). P. 121-128.

17. Hydrate formation and its influence on natural gas pipeline internal corrosion / E.O. Obanijesu, V. Pareek, R. Gubner, M.O. Tade. *Nafta*. 2011. Vol. 62(5-6). P.164-173.

18. Impact of gas hydrates and long term operation on fatigue characteristics of pipeline steels / L. Poberezhny, P. Maruschak, A. Hrytsanchuk, L. Poberezhna, O. Prentkovskis, A. Stanetsky.

Paper presented at the *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 187. P. 356-362.

19. Standard N. A. C. E. (2005). Preparation and Installation of Corrosion Coupons and Interpretation of Test Data in Oil field Operations. NACE RP0775-2005, Houston, TX, NACE International Publication, Item, (21017).

20. Det Norske Veritas (2010). Recommended Practice Dnv-Rp-J202. Design And Operation Of CO₂ Pipelines.

21. Elektronniy resurs. <https://eurotank.fi/perevozka-gaza/perevozka-co2/?lang=ru>

22. Elektronniy resurs. <https://www.directindustry.com.ru/prod/asco-carbon-dioxide/product-38377-1636862.html>

23. Elektronniy resurs. https://uk.wikipedia.org/wiki/Sudna_dlya_perevezennya_dIoksidu_vugletsyu

24. Molchanov A.G. Podzemnyiy remont skvazhin. Moskva: Nedra, 1986. 208 p. [in Russian]

25. Serenko I.A., Sidorov N.A., Koshelev A.T. Povtornoie tsementirovanie pri stroitelstve i ekspluatatsii skvazhin. Moskva: Nedra, 1988. 263 p. [in Russian]