https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-308-4-29
УДК 330.131.7

Оксана ГРИНЮК
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
https://orcid.org/0000-0001-7390-1174
e-mail: oksankagr@gmail.com

ІДЕНТИФІКАЦІЯ РИЗИКІВ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ НАФТОГАЗОВОЇ ГАЛУЗІ

У статті проаналізовано глобальні викиди парникових газів нафтогазової галузі у ланцюгу створення вартості, чотири сценарії зменшення викидів вуглекислого газу, розроблені Міжнародним енергетичним агентством, прогнозні загальні середньорічні капітальні витрати на технології із низьким рівнем викидів парникових газів у рамках сценарію нульових викидів, заходи з декарбонізації, які можуть застосовуватись підприємствами нафтогазової галузі, обґрунтовано найбільш прийнятні заходи з декарбонізації для вітчизняних нафтогазових підприємств. На основі проведеного аналізу досліджено та ідентифіковано ризики декарбонізації нафтогазової галузі. Розроблено класифікацію ризиків впровадження заходів з декарбонізації (зокрема технології уловлювання, використання та зберігання вуглецю), які можуть застосовуватись підприємствами нафтогазової галузі. Розроблена класифікація може бути використана під час розробки проєктів з декарбонізації вертикально-інтегрованих нафтогазових компаній, зокрема у частині формування реєстру ризиків проєкту.

Ключові слова: нафтогазова галузь, декарбонізація, ризики, ризики декарбонізації, технологія уловлювання, використання та зберігання вуглецю.

Oksana GRYNIUK
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

IDENTIFICATION OF RISK OF DECARBONIZATION OF THE OIL AND GAS INDUSTRY

The article analyzes the global greenhouse gas emissions of the oil and gas industry in the value chain; the four scenarios for reducing carbon dioxide emissions developed by the International Energy Agency. The estimated total average annual capital expenditures on low-emissions technologies with synergies for the oil and gas industry were analyzed within the scope of the Net Zero Emission scenario. It was investigated, that the NZE brought significant challenges for oil and gas industry, but it also brought opportunities. The decarbonization measures that can be applied in the oil and gas industry were investigated. The most acceptable decarbonization measures that can be applied by domestic oil and gas companies were examined.

Based on the analysis, the risks of decarbonization of the oil and gas industry were investigated and identified. The classification of risks of implementing decarbonization measures (in particular, Carbon capture, use, and storage technology (CCUS)) that can be used by oil and gas enterprises has been developed. The following groups of risks and their corresponding risk factors were highlighted: investment, socio-economic, geological, technical-technological, informational, personal risks. The developed classification can be used in developing decarbonization projects for vertically integrated oil and gas companies, particularly in forming the register of project risks.

Keywords: oil and gas industry, decarbonization, risks, the decarbonization risks, technology of carbon capture, use and storage.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Проведений аналіз наукових джерел, присвячених декарбонізації підприємств нафтогазової галузі дає змогу стверджувати про значні обсяги продукованих ними викидів парникових газів. Відповідно до [1], на нафтогазову галузь припадає близько 45% глобальних антропогенних викидів парникових газів, з яких 10% припадає на Сферу охоплення 1 (Scope 1) – внутрішні операції та Сферу охоплення 2 (Scope 2) – енергію для внутрішніх операцій, 35% припадає на Сферу 3 (Scope 3) – використання споживачами продуктів нафти і газу. На основі аналізу глобальних викидів парникових газів нафтогазової галузі у ланцюгу створення вартості, нами встановлено, що найбільша частка викидів парникових газів припадає саме на видобування (65%), під час якого виникають неконтрольовані викиди CO_2 та метану, та який супроводжується спалюванням попутного нафтового газу на факелах (табл. 1).

Під час транспортування викиди парникових газів є найменшими (12%), вони включають спалювання газу для забезпечення функціонування мережі газопроводів, компресорних станцій, процесів зрідження на LNG-терміналах, спалювання палива для експлуатації танкерів з нафтою та нафтопродуктами, а також неконтрольовані викиди під час транспортування. При переробці та збуті викиди становлять до 23%, вони включають спалювання газу та палива для забезпечення функціонування технологічних установок на нафтопереробних заводах, побічні продукти певних процесів нафтопереробки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Декарбонізації нафтогазової галузі сьогодні присвячена значна кількість праць іноземних науковців та практиків. Зокрема, Michael Wood, Jonathon Curry та John O'Brien у [3] досліджено виклики декарбонізації, можливості нафтогазової галузі в контексті декарбонізації. James Thomas, Anil Pandey та

Aditya Harneja у [2] досліджено вхідні виклики, з якими стикаються нафтогазові підприємства в процесі декарбонізації. Paul Gargett, Stephen Hall та Jayanti Kar у [4] досліджено фактори, які впливають на інтенсивність викидів парникових газів під час видобування вуглеводнів, виділено три рівня декарбонізації для нафтогазовидобувних підприємств та способи зменшення рівня викидів парникових газів на кожному з них.

Таблиця 1

Глобальні викиди парникових газів нафтогазової галузі у ланцюгу створення вартості

Нафта і газ	Upstream (Видобування)			Midstream (Транспортування)		Downstream (Переробка та збут)		
	Буріння	Освоєння	Видобування	Транспортування	LNG-термінали, передача та розподіл	Сепарація	Конверсія	Інші процеси
Енергія, затрачена на процес	7%	1%	17%	1%	2%	5%	5%	4%
Процес	-	-	-	-	-	-	6%	2%
Вентиляція[1], спалювання попутного нафтового газу, неконтрольовані викиди	3%	1%	36%	3%	6%	-	1%	-
Всього	65%			12%		23%		

Примітки: 1 – видалення газоподібних побічних продуктів.
Джерело: [2, с. 7].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття

Зважаючи на фрагментарний характер вивчення наукової проблеми, необхідним є дослідження викликів, з якими можуть зіткнутися підприємства нафтогазової галузі на шляху досягнення задекларованих цілей Паризької кліматичної угоди, заходів з декарбонізації, які можуть застосовуватись ними, та ймовірних ризиків їх впровадження.

Формулювання цілей статті

Метою статті є ідентифікація ризиків декарбонізації нафтогазової галузі.

Виклад основного матеріалу

Досягнення задекларованих цілей Паризької кліматичної угоди щодо утримання зростання глобальної середньої температури нижче рівня 2 °С і докладання зусиль для обмеження росту температури до рівня 1,5 °С обумовлюють необхідність формування та дотримання «дорожньої» карти декарбонізації для нафтогазової галузі. Міжнародним енергетичним Агентством (IEA) розроблено чотири основні сценарії розвитку світової енергетики, спрямованих на подолання наслідків пандемії COVID – 19 та зменшення викидів діоксиду вуглецю, зокрема:

- сценарій декларованих політик (Stated Policies Scenario, STEPS), відповідно до якого передбачалось, що коронавірус буде «приборканий» у 2021 році, а світова економіка повернеться до докризового стану того ж року. Сценарій ґрунтується на всіх відомих офіційних стратегіях, підкріплених конкретними заходами з їх реалізації;

- сценарій оголошених планів (Announced Pledges Scenario, APS), який передбачає, що всі взяті на себе кліматичні зобов'язання урядами країн, включаючи національно визначені внески (NDCs) і довгострокові цілі, будуть виконані в повному обсязі й вчасно;

- сценарій сталого розвитку (Sustainable Development Scenario, SDS), відповідно до якого імпульс у політиці розвитку чистої енергетики та інвестиціях поставить енергетичну систему на шлях повного досягнення сталих цілей енергетики, в т. ч. цілей Паризької угоди, доступу до енергії та чистого повітря. Інтегрований сценарій, який визначає шлях, спрямований на забезпечення універсального доступу до сучасних енергетичних послуг до 2030 року, суттєве зменшення забруднення повітря та вживання ефективних заходів щодо боротьби зі зміною клімату. Згідно з ним, країни досягнуть нульових викидів в повному обсязі, однак країни з розвиненою економікою зроблять це до 2050 року, Китай – до 2060 року, всі інші країни – не пізніше 2070 року;

- сценарій чистих нульових викидів до 2050 року (Net Zero Emissions by 2050 case, NZE), відповідно до якого передбачається, що світовий енергетичний сектор скоротить викиди діоксиду вуглецю до нульового рівня до 2050 року [5, 6].

Нами проаналізовано чотири сценарії зменшення викидів вуглекислого газу, розроблені Міжнародним енергетичним агентством і встановлено, що за кожним сценарієм очікуються відповідні зміни в обсягах викидів CO_2 та досягнення цілей утримання глобального потепління. Відповідно до [7], за сценарієм STEPS глобальні викиди CO_2, пов'язані з енергетикою та промисловими процесами, зростуть до

36 гігатонн у 2030 році, за сценарію APS викиди досягають піку в середині 2020-х років і зменшаться до рівня нижче 34 гігатонн у 2030 році, за сценарієм NZE викиди зменшаться до 21 гігатонни у 2030 році (рис. 1).

За сценарієм APS викиди зменшуватимуться, однак не раніше 2030 року, за сценарієм SDS – зменшуватимуться із швидшими темпами, відповідаючи при цьому Паризькій угоді. Приріст глобальної середньої температури за сценаріями представлено у таблиці 2. Так, за сценарієм NZE максимальний приріст глобальної температури у 2050 році становитиме більше 1,5 °С, за сценарієм SDS – 1,7 °С. Сценарій SDS відповідає цілям Паризької угоди в частині «утримання підвищення глобальної середньої температури нижче 2 °С», у той час як сценарій NZE відповідає меті Паризької угоди в частині «докладання зусиль щодо обмеження підвищення температури до 1,5 °С». Більшість країн прагнуть досягнути нульових викидів діоксиду вуглецю до 2050 року, зокрема Фінляндія прагне досягти цієї мети до 2035 року, Австрія та Ісландія до 2040 року, Швеція до 2045 року. Очікується, що Україна досягне рівня нульових викидів після 2050 року [9, с. 34]. З цією метою Уряд України вирішив розробити Енергетичну стратегію України до 2050 року з урахуванням сучасних кліматичних викликів, проєкт із розробки якої виграла компанія КПМГ (Klynveld Peat Marwick Goerdeler, KPMG).

Відповідно до нового сценарію Міжнародного енергетичного Агентства (IEA) «Net Zero Emissions by 2050» (NZE) протягом наступних 28 років прогнозується зменшення попиту на нафту, зокрема з 88 млн. барелів на добу у 2020 році до 72 млн барелів на добу у 2030 році та до 24 млн барелів на добу у 2050 році. Розвідка та розробка нових нафтових родовищ за таких умов не будуть економічно доцільними, окрім тих, що вже схвалені для розробки, натомість актуальним надалі залишатиметься залучення інвестицій для освоєння залишкових запасів вуглеводнів. Прогнозується, що попит на газ також зменшиться, зокрема до 3700 млрд куб. м у 2030 році та до 1750 млрд куб. м у 2050 році.

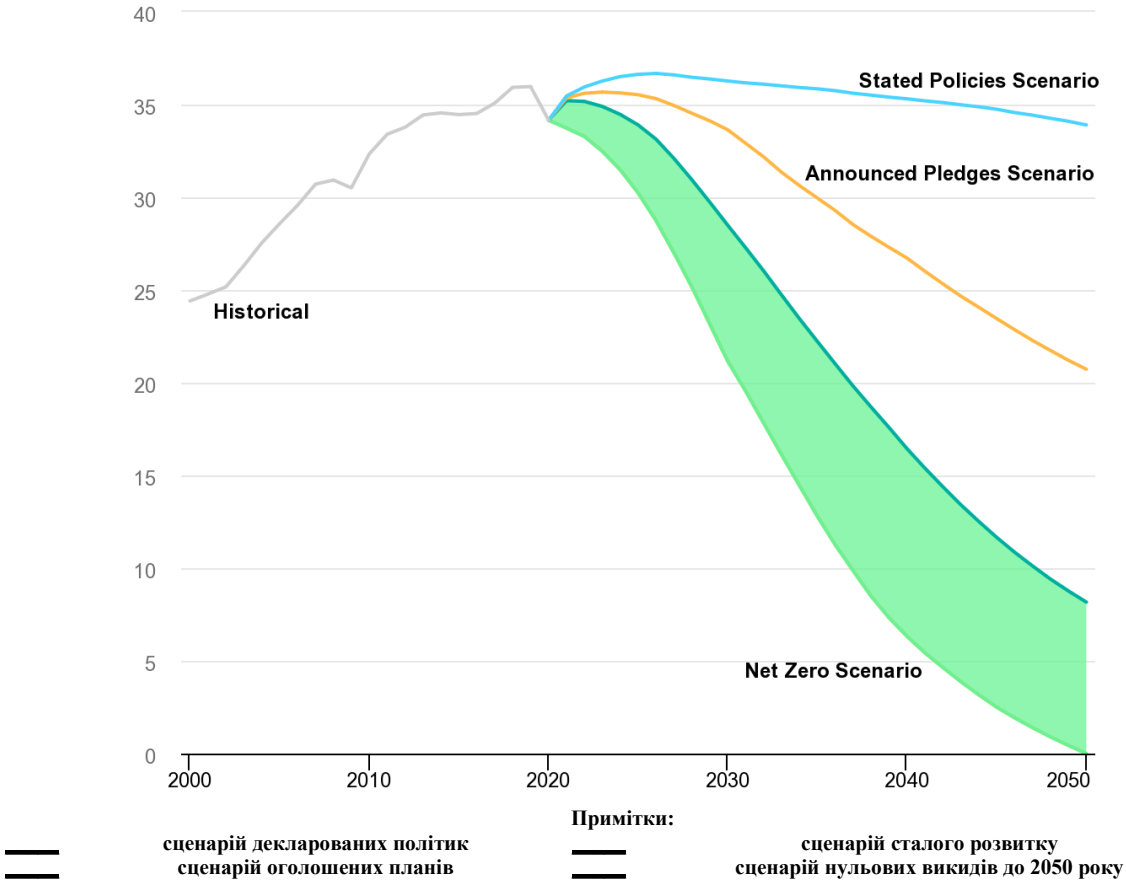

Рис. 1. Викиди CO_2 за сценаріями розвитку світової енергетики

Джерело: [8].

Викиди парникових газів від видобування нафти сьогодні становлять менше 100 кг еквіваленту вуглекислого газу (kg CO_2-eq) на барель нафти. Збільшення екологічного податку за викиди CO_2 без зменшення емісії парникових газів призведе до зростання собівартості вуглеводнів.

Таблиця 2

Приріст глобальної середньої температури за сценаріями розвитку світової енергетики

Сценарій / Рік	2030 р.		2050 р.	
Рівень достовірності	50%	33%-67%	50%	33%-67%
Сценарій декларованих політик (STEPS)	1,5	1,4 – 1,6	2,0	1,8 – 2,1
Сценарій оголошених планів (APS)	1,5	1,4 – 1,6	1,8	1,7 – 2,0
Сценарій сталого розвитку (SDS)	1,5	1,4 – 1,6	1,7	1,5 – 1,8
Сценарій нульових викидів (NZE)	1,5	1,4 – 1,5	1,5	1,4 – 1,7

Джерело: [7].

Сценарій NZE створює значні виклики для нафтогазової галузі, однак й відкриває ряд можливостей. Нафтогазова галузь надзвичайно різноманітна і безліч нафтогазових підприємств можуть реалізовувати різні стратегії при переході до нульових викидів. Однак мінімізація викидів парникових газів від основних нафтогазових операцій повинна бути першочерговим завданням для всіх нафтогазових підприємств. Це і зменшення викидів метану, і припинення спалювання попутного нафтового газу на факелах. Підприємства нафтогазової галузі також повинні здійснити електрифікацію із використанням відновлювальних джерел енергії, де це можливо. Ресурси нафтогазової галузі добре поєднуються з деякими новими технологіями, необхідними для боротьби з викидами в секторах, де скорочення викидів, ймовірно, буде найбільш складним, і для виробництва низьковуглецевого рідкого палива та газу, попит на які швидко зростатиме за NZE-сценарію. Завдяки партнерству з урядом та іншими зацікавленими сторонами нафтогазова галузь могла б відіграти провідну роль у розробці масштабних чистих технологій, таких як технологія уловлювання, використання та зберігання вуглецю, виробництві низьковуглецевого водню, біопалива, шельфової вітрової енергетики. Підприємства нафтогазової галузі мають потенціал для прискорення темпів розроблення та впровадження цих інноваційних технологій, а також для отримання потужної конкурентної переваги.

Загальні капітальні витрати нафтогазових підприємств на технології з низьким рівнем викидів парникових газів та на традиційні процеси становитимуть у середньому 650 млрд. дол. США на рік протягом 2021-2050 років (рис. 2).

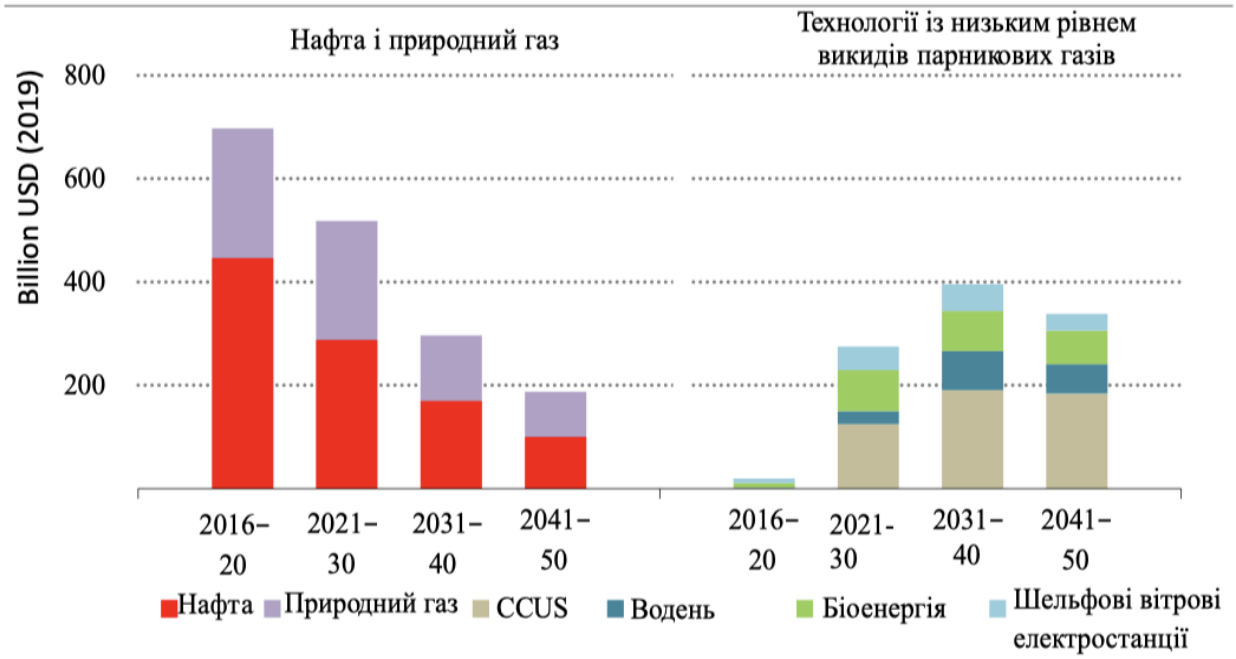

Рис. 2. Середньорічні інвестиції нафтогазових підприємств у технології із низьким рівнем викидів парникових газів та в традиційні процеси в рамках сценарію NZE

Джерело: [9, с. 162].

Відповідно до сценарію NZE, обсяг інвестицій в технології з низьким рівнем викидів, які відповідають навикам та досвіду підприємств нафтогазової галузі, до 2030 року значно перевищить обсяг інвестицій в традиційні процеси нафтогазових підприємств.

У процесі декарбонізації підприємства нафтогазової галузі стикаються із трьома вхідними викликами:

1) відсутність технологій для вимірювання фактичних викидів парникових газів, які продукує суб'єкт господарювання;

2) необхідність визначення фактичної інтенсивності викидів парникових газів для різних активів;

3) недостатній рівень поінформованості керівника суб'єкта господарювання про доступні рішення (заходи) з декарбонізації нафтогазової галузі;

У наукових джерелах виділяють значну кількість заходів з декарбонізації, які можуть застосовуватись підприємствами нафтогазової галузі. Зокрема, до таких заходів відносять [2, с. 8; 3, с. 13; 9, с. 160-161]:

- підвищення енергоефективності;
- переведення підприємств на відновлювальні джерела енергії;
- скорочення (або ж повне виключення) спалювання попутного нафтового газу;
- зменшення неконтрольованих викидів метану за рахунок покращення технічного обслуговування, своєчасної ідентифікації витоків;
- моніторинг неконтрольованих викидів парникових газів в атмосферу на недіючих свердловинах;
- застосування технологій уловлювання, використання та зберігання вуглецю (CCUS);
- виробництво водню. За сценарієм NZE близько 40% водню вироблятиметься з природного газу на об'єктах, обладнаних CCUS, що дасть змогу підприємствам використовувати природний газ у спосіб, який не суперечить сценарію NZE;
- шельфова вітроенергетика. Підприємства нафтогазової галузі мають значний досвід роботи на шельфі, який може бути корисним під час будівництва підводних споруд морських вітрових електростанцій, досвід підтримки стандартів безпеки на підприємствах нафтогазової галузі, який може бути корисним під час технічного обслуговування та інспектування морських вітрових електростанцій після їх введення в експлуатацію;
- виробництво біопалива та біометану.

Так, необхідність досягнення нульових викидів діоксиду вуглецю вплине на діяльність кожного підприємства нафтогазової галузі. Однак не всі нафтогазові підприємства виберуть стратегію диверсифікації, розвитку нових джерел енергії з низькими викидами парникових газів. Деякі зосередять свою увагу виключно на постачанні природного газу та нафти, при цьому зробивши акцент на енергоефективності функціонування [10]. Відповідно до [2], заходи з декарбонізації можна класифікувати за ознакою «технологічна зрілість підприємства до впроваджуваних заходів». Підвищення енергоефективності, моніторинг неконтрольованих викидів парникових газів вже впроваджено нафтогазовими підприємствами, у той час як електрифікація знаходиться на етапі масштабування; переведення підприємств на відновлювальні джерела енергії – на етапі пілотних проєктів або ж розпочалось і масштабується. Для виробництва чистого водню, застосування технологій уловлювання, використання та зберігання вуглецю сьогодні проводяться науково-дослідні роботи та розробляються пілотні проєкти.

Уловлювання, використання і зберігання CO_2 (CCUS) – це промислові процеси, де діоксид вуглецю може бути використаний як цінна сировина для підвищення нафтовіддачі пластів (ПНП) у вуглеводневому секторі. CO_2 використовується в комерційних проєктах з підвищення нафтовіддачі пластів (ПНП) з початку 1970-х років. Процес включає в себе впорскування CO_2 в зрілий нафтовий резервуар, де при належних умовах CO_2 змішується з нафтою, збільшуючи її рухливість, що призводить до збільшення видобутку нафти [11]. Нафтогазова галузь є світовим лідером у розробці та використанні технологій CCUS. Так, з 40 млн. тон CO_2, які сьогодні уловлюються, близько три четвертих – саме на нафтогазових підприємствах, які продукують концентровані потоки діоксиду вуглецю. Варто зазначити, що технологія уловлювання, використання та зберігання вуглецю має найбільший потенціал скорочення викидів парникових газів і потребує залучення інвестицій для їх впровадження. У той час як підвищення ефективності технологічних процесів, енергоефективності мають помірний потенціал скорочення викидів парникових газів, однак реалізуються за рахунок власних фінансових ресурсів підприємства [2].

З огляду на вищенаведене можемо стверджувати, що рішення стосовно обрання заходів з декарбонізації вітчизняними підприємствами нафтогазової галузі повинно прийматись на основі трьох факторів: необхідний обсяг початкових інвестицій, технологічна зрілість суб'єкта господарювання до впроваджуваних заходів, їх потенціал щодо скорочення викидів парникових газів. З метою формування зважених рішень на рівні нафтогазового підприємства, необхідно враховувати не тільки позитивний вплив нових технологій на зменшення викидів парникових газів, але й своєчасно виявляти ймовірні небезпечні чинники їх впровадження. З метою виявлення факторів ризику, які впливають на доцільність реалізації проєктів з впровадження технологій уловлювання та зберігання вуглецю або ж уловлювання, використання і зберігання CO_2 нами проаналізовано наукові джерела, які присвячені декарбонізації нафтогазової галузі та вказаним технологіям. На основі проведеного аналізу нами було ідентифіковано ризики декарбонізації нафтогазової галузі, зокрема виділено наступні групи ризиків: інвестиційні, соціально-економічні, геологічні, техніко-технологічні, інформаційні, особистісні ризики, та їх відповідні ризикутворюючі фактори (табл. 3). Розроблена класифікація ризиків декарбонізації може бути використана під час розробки проєктів з декарбонізації вертикально-інтегрованих нафтогазових компаній, зокрема у частині формування реєстру ризиків проєктів.

Таблиця 3

Класифікація ризиків впровадження заходів з декарбонізації нафтогазової галузі[2]

№ з/п	Група	Ризик-фактор
1	Інвестиційні ризики	недостатній обсяг власних фінансових ресурсів, спрямованих на впровадження технологій
		складність залучення інвестицій (неприйняття технології через спекуляцію та перекручування фактів, недостатню роз'яснювальну роботу)
		високий ступінь невизначеності кошторису витрат через відсутність достатньої кількості досліджень щодо вартості технологій
		не налагоджене міжнародне партнерство
		невизначеність обсягу державного цільового фінансування від сплати екологічного податку за викиди CO_2 на заходи зі скорочення викидів CO_2
		термін реалізації проєкту (довший, ніж очікувалось)
2	Соціально-економічні фактори	структура економіки регіону, обсяг випуску продукції
		наявність державних регулятивних механізмів
		величина екологічного податку за викиди CO_2
		відсутність жорсткої політичної волі на шляху модернізації виробництва
3	Геологічні ризики	непридатність нафтових родовищ до застосування CO_2 – підвищення нафтовіддачі пластів (тиск, густина, насиченість нафти, пористість, проникність, розмір та ін.)
		обмежена ємність зберігання формації CO_2 та проникність (глибина, товщина формації, пористість та ін.)
		неналежний покривний пласт або обмежуючий блок (бічна щільність, товщина, капілярний тиск входу) – ймовірна міграція CO_2
		нестабільність геологічного середовища – ймовірне порушення цілісності місця зберігання
4	Техніко-технологічні ризики	незначний відсоток використання енергії з відновлювальних джерел
		відсутність додаткових вільних площ біля енергетичних об'єктів
		транспортні можливості наявних трубопроводів не є технічно і економічно доцільними (невідповідні потужності, обмежений термін служби, виведення з експлуатації або неналежне розташування)
		фізико-хімічний склад парникових газів
		швидке зношення обладнання через застосування розчинників для отримання «чистого» газоподібного CO_2
		корозія, закупорювання трубопроводів, якими CO_2 транспортується до нафтових родовищ для підвищення нафтовіддачі пласта (через домішки)
		пришвидшення корозійних процесів в свердловині, вихід з ладу обладнання (через домішки)
		викиди продуктів розпаду (збільшує професійний ризик)
5	Інформаційні ризики	відсутність якісної геологічної інформації (гірничо-геологічні умови залягання пласта) для розгортання технологій CO_2 – підвищення нафтовіддачі пластів
		відсутність достовірної інформації про фактичні обсяги парникових газів
		недостатньо інформації про місце зберігання та навколишнє середовище
		несвоєчасний збір даних, необхідних для отримання надійної чіткої картини
		несистемність процедур моніторингу (швидкості і тиску введення, розподілу та міграції CO_2 у поверхневому шарі ґрунту, цілісності нагнітальних свердловин та місцевих екологічних наслідків)
6	Особистісні ризики	відсутність досвіду розгортання технологій уловлювання, використання і зберігання CO_2
		хибність висновків на етапі аналізу та формалізації виробничих процесів
		помилки, допущені під час моделювання проєктів для підземного закачування CO_2

Примітки: [2] – на прикладі впровадження технологій CCUS.
Джерело: сформовано автором на основі [11].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У результаті проведеного дослідження можна відзначити, що підприємства нафтогазової галузі продукують 45% глобальних антропогенних викидів парникових газів, 65% з яких припадає саме на видобування. Курс на декарбонізацію створює значні виклики для нафтогазової галузі – значне зменшення попиту на вуглеводні до 2050 року, відсутність технологій для вимірювання фактичних викидів парникових газів, необхідність визначення фактичної інтенсивності викидів за різними активами, необхідність вибору саме оптимальних заходів з декарбонізації, однак й відкриває ряд можливостей. При переході до нульових викидів підприємства нафтогазової галузі можуть реалізовувати різні стратегії, відігравати провідну роль у розробці технологій із низьким рівнем викидів парникових газів, однак мінімізація викидів – першочергове завдання для всіх нафтогазових підприємств. Нами досліджено заходи з декарбонізації, визначено критерії, на основі яких повинні ґрунтуватись рішення щодо вибору заходів з декарбонізації на рівні підприємства. З метою формування зважених рішень щодо впровадження «чистих» технологій», нами ідентифіковано групи ризиків та відповідні ризикутворюючі фактори, які суттєво впливають на ефективність їх впровадження.

Література

1. The Oil and Gas Industry in Energy Transitions. Paris: IEA, 2020. 164 p. URL: https://www.iea.org/reports/the-oil-and-gas-industry-in-energy-transitions (date of access: 08.06.2022).

2. Thomas J., Anil Pandey, Aditya Harneja. Translating net-zero ambitions into action in the oil and gas industry. Dubai: Strategy & Part of the PwC network, 2021. 17 p. URL: https://www.strategyand.pwc.com/m1/en/strategic-foresight/sector-strategies/energy-chemical-utility-management/greening-the-barrel.html (date of access: 07.06.2022).

3. Wood M., Jonathon Curry, John O'Brien Addressing the challenge of decarbonization. An oil and gas

perspective. Deloitte. URL: https://www2.deloitte.com/global/en/pages/energy-and-resources/articles/decarbonization-of-oil-and-gas.html (date of access: 10.05.2022).

4. Gargett P., Stephen Hall, Jayanti Kar Toward a net-zero future. Decarbonizing upstream oil and gas operations. McKinsey & Company. URL: https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/toward-a-net-zero-future-decarbonizing-upstream-oil-and-gas-operations (date of access: 27.04.2022).

5. Міжнародна енергетична ягенція: ВДЕ і ядерна енергія можуть забезпечити оптимістичні сценарії виходу з теперішньої кризи. Uatom. URL: https://www.uatom.org/2020/10/19/mizhnarodna-energetichna-agentsiya-vde-i-yaderna-energiya-mozhut-zabezpechiti-optimistichni-stsenariyi-vihodu-z-teperishnoyi-krizi.html (дата звернення: 18.05.2022).

6. World Energy Model. Paris: IEA, 2021. 111 p. URL: https://www.iea.org/reports/world-energy-model (date of access: 20.04.2022).

7. World Energy Outlook 2021. Paris: IEA, 2021. 383 p. URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf (date of access: 12.04.2022).

8. CO2 emissions in the WEO-2021 scenarios, 2000-2050. IEA. URL: https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/co2-emissions-in-the-weo-2021-scenarios-2000-2050 (date of access: 04.05.2022).

9. Net Zero by 2050. Paris: IEA, 2021. 222 p. URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf (date of access: 20.04.2022).

10. The Oil and Gas Industry in Energy Transitions. Paris: IEA, 2020. 164 p. URL: https://www.iea.org/reports/the-oil-and-gas-industry-in-energy-transitions (date of access: 20.04.2022).

11. Уіпіскі К. Уловлювання та зберігання вуглецю: українські перспективи для промисловості та забезпечення енергетичної безпеки. Осло : Міжнар. екол. об-ня «Біллона», 2013. 46 с. URL: https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/UKRAINE_CCS_Energy_Security_Industry_Ukrainian.pdf (дата звернення: 08.03.2022).

References

1. The Oil and Gas Industry in Energy Transitions. Paris: IEA, 2020. 164 p. URL: https://www.iea.org/reports/the-oil-and-gas-industry-in-energy-transitions (date of access: 08.06.2022).

2. Thomas J., Anil Pandey, Aditya Harneja. Translating net-zero ambitions into action in the oil and gas industry. Dubai: Strategy & Part of the PwC network, 2021. 17 p. URL: https://www.strategyand.pwc.com/m1/en/strategic-foresight/sector-strategies/energy-chemical-utility-management/greening-the-barrel.html (date of access: 07.06.2022).

3. Wood M., Jonathon Curry, John OBrien Addressing the challenge of decarbonization. An oil and gas perspective. Deloitte. URL: https://www2.deloitte.com/global/en/pages/energy-and-resources/articles/decarbonization-of-oil-and-gas.html (date of access: 10.05.2022).

4. Gargett P., Stephen Hall, Jayanti Kar Toward a net-zero future. Decarbonizing upstream oil and gas operations. McKinsey & Company. URL: https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/toward-a-net-zero-future-decarbonizing-upstream-oil-and-gas-operations (date of access: 27.04.2022).

5. Mizhnarodna enerhetychna yahentsiia: VDE i yaderna enerhiia mozhut zabezpechyty optymistychni stsenarii vykhodu z teperishnoi kryzy. Uatom. URL: https://www.uatom.org/2020/10/19/mizhnarodna-energetichna-agentsiya-vde-i-yaderna-energiya-mozhut-zabezpechiti-optimistichni-stsenariyi-vihodu-z-teperishnoyi-krizi.html (data zvernennia: 18.05.2022).

6. World Energy Model. Paris: IEA, 2021. 111 p. URL: https://www.iea.org/reports/world-energy-model (date of access: 20.04.2022).

7. World Energy Outlook 2021. Paris: IEA, 2021. 383 p. URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf (date of access: 12.04.2022).

8. CO2 emissions in the WEO-2021 scenarios, 2000-2050. IEA. URL: https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/co2-emissions-in-the-weo-2021-scenarios-2000-2050 (date of access: 04.05.2022).

9. Net Zero by 2050. Paris: IEA, 2021. 222 p. URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf (date of access: 20.04.2022).

10. The Oil and Gas Industry in Energy Transitions. Paris: IEA, 2020. 164 p. URL: https://www.iea.org/reports/the-oil-and-gas-industry-in-energy-transitions (date of access: 20.04.2022).

11. Uiiriski K. Ulovliuvannia ta zberihannia vuhletsiu: ukrainski perspektyvy dlia promyslovosti ta zabezpechennia enerhetychnoi bezpeky. Oslo : Mizhnar. ekol. ob-nia «Billona», 2013. 46 s. URL: https://network.bellona.org/content/uploads/sites/3/UKRAINE_CCS_Energy_Security_Industry_Ukrainian.pdf (data zvernennia: 08.03.2022).