

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра екології та природозахисних технологій

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Леонід ПЛЯЦУК
(підпис)

_____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр
зі спеціальності 101 «Екологія» освітньо-професійної програми
«Екологія та охорона навколишнього середовища»
на тему:

УЛОВЛЮВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ВУГЛЕЦЮ ЯК МЕТОД
ПОМ'ЯКШЕННЯ НАСЛІДКІВ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Здобувачки групи ОС-01 Закорко Анни Сергіївни

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Анна ЗАКОРКО
(підпис)

Керівник – старший викладач кафедри екології
та природозахисних технологій,
кандидат технічних наук

_____ Євген БАТАЛЬЦЕВ
(підпис)

Суми – 2024

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра екології та природозахисних технологій
Спеціальність 101 «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою _____

“ ____ ” _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студентці Закорко Анні Сергіївні

Група ОС-01

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Уловлювання та зберігання вуглецю як метод пом'якшення наслідків зміни клімату».
2. Вихідні дані: БД Scopus та WoS для пошуку статей за темою роботи, наукові статті, аналітичні звіти ООН.
3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:
 - структура джерел викидів в енергетиці;
 - принципова схема уловлювання вуглекислого газу після спалювання органічного палива;
 - схематична діаграма уловлювання вуглекислого газу перед спалюванням органічного палива;
 - механізми зберігання CO₂.
4. Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2	3	4	5	6
1	Літературний огляд	+	+				
2	Аналіз проблеми			+			
3	Оброблення результатів				+		
4	Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях					+	
5	Оформлення роботи						+

Дата видачі завдання – 03.04.2024

Керівник _____

старший викладач, кандидат
технічних наук
Батальцев Є.В.

АНОТАЦІЯ

Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. Робота складається із вступу, 3 розділів, висновків, переліку джерел посилання, який містить 54 найменування. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 53 сторінки, у тому числі 1 таблиця, 9 рисунків, перелік джерел посилання 6 сторінок.

Мета роботи – дослідити технології уловлювання та зберігання двоокису вуглецю як метод пом'якшення наслідків зміни клімату.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та виконано такі завдання:

- провести літературний огляд з досліджуваної проблеми;
- висвітлити технології уловлювання двоокису вуглецю;
- провести аналіз методів зберігання двоокису вуглецю;
- охарактеризувати екологічні наслідки уловлювання та зберігання двоокису вуглецю;
- провести аналіз охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – двоокис вуглецю.

Предмет дослідження – технології вловлювання та зберігання двоокису вуглецю.

У кваліфікаційній роботі проаналізовано літературний огляд з досліджуваної проблеми, висвітлено технології уловлювання двоокису вуглецю, проведено аналіз методів зберігання вуглецю, а також охарактеризовано екологічні наслідки уловлювання та зберігання вуглецю. Виконано аналіз охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Запропоновано подальше дослідження теми уловлювання та зберігання вуглецю як метод пом'якшення наслідків зміни клімату.

Ключові слова: ДВООКИС ВУГЛЕЦЮ, ЗМІНА КЛІМАТУ, ГЛОБАЛЬНЕ ПОТЕПЛІННЯ, ТЕХНОЛОГІЇ УЛОВЛЮВАННЯ ВУГЛЕЦЮ, УЛОВЛЮВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ВУГЛЕЦЮ (УЗВ), ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1 Літературний огляд з досліджуваної проблеми.....	7
1.1. Зміна клімату та її впливи на довкілля.....	7
1.2. Методи уловлювання та зберігання вуглецю.....	11
1.3. Екологічні аспекти та вплив на природне середовище.....	15
Розділ 2 Уловлювання та зберігання вуглецю.....	17
2.1 Технології уловлювання вуглецю.....	17
2.2. Методи зберігання вуглецю.....	29
2.3. Екологічні наслідки уловлювання та зберігання вуглецю.....	34
Розділ 3 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	39
3.1 Безпека праці в умовах уловлювання та зберігання вуглецю.....	39
3.2 Надзвичайні ситуації та їх управління.....	42
Висновки.....	44
Список джерел посилання.....	48

Підп. і дата	
Інв.№доубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№поплд.	

20510030								
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	Уловлювання та зберігання вуглецю як метод пом'якшення наслідків зміни клімату	Літ.	Аркуш	Аркушів
		Закорко А					4	53
		Батальцев Є.				СумДУ, ф-т ТеСЕТ гр. ОС-01		
		Батальцев						
		Пляцук						

ВСТУП

З метою глобального скорочення викидів парникових газів процеси уловлювання та фіксації вуглекислого газу для перетворення його на стабільні сполуки вуглецю сьогодні широко розглядаються та обговорюються вченими та промисловцями в усьому світі.

Загальновідомо, що зміна клімату в основному викликана спалюванням викопного палива для задоволення потреб людей в енергії. Тому для країн, в яких вугілля є основним способом виробництва електроенергії, таких як Австралія, США, Фінляндія, проблема скорочення викидів вуглекислого газу стає все більш актуальною.

В останні десятиліття дослідження методу мінералізації CO₂ швидко прогресують, і різні методи цього процесу були запропоновані різними дослідницькими та академічними установами по всьому світу. Цей метод прийнятий в Австралії, а також для США, Фінляндії, оскільки там зосереджені великі поклади силікатних мінералів, особливо серпентиніту. В австралійських штатах Новий Південний Уельс і Квінсленд великі поклади серпентину розташовані навколо існуючих джерел викидів CO₂.

У Новому Південному Уельсі одним із трьох таких родовищ є Великий змійовий пояс. Обсяг цього відкладення, глибиною 500 метрів, визначено достатньо, щоб уловлювати викиди з усіх стаціонарних джерел у Новому Південному Уельсі протягом 300 років і може використовуватися для накопичення та зберігання кількості CO₂ в інертній формі та без ризику витоку.

В останні десятиліття розробка різних методів уловлювання та зберігання вуглецю призвела до отримання багатьох патентів на нові концепції впровадження та реалізації цих методів. Через енергетичні, економічні вимоги та вимоги до сировини на різних стадіях процесів уловлювання та фіксації вуглецю консервативні викиди газу, ціни та витрати на енергію повинні оцінюватися як частина методу оцінки життєвого циклу (LCA).

Інв. № по одл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	20510030				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД З ДОСЛІДЖУВАНОЇ ПРОБЛЕМИ

1.1 Зміна клімату та її впливи на довкілля

Клімат часто порівнюють із погодою, але між ними є різниця. Погода змінюється щодня – то дощ, то жарко чи холодно. Але клімат – це форма погоди протягом тривалого часу на великій території. За всю історію Землі клімат неодноразово змінювався. Вченим відомо 7 льодовикових періодів, за якими завжди наступало потепління.

Потепління в наш час – не тільки природний процес, адже воно відбувається в 10 разів швидше, ніж будь-коли. Більше вчених використовують термін «кліматична криза» замість «зміна клімату», щоб підкреслити серйозність цієї проблеми та необхідність її вирішення [22].

Парниковий ефект – це процес, за якого парникові гази затримують сонячну енергію на поверхні Землі та в атмосфері та перешкоджають її поверненню в космос. Парниковий ефект підтримує комфортну температуру для життя на Землі. Якби цього ефекту не було, середня глобальна температура була б не +15°C, а – 18°C. Парниковий ефект – звичайне природне явище. Але після промислової революції з середини XIX ст. внаслідок спалювання викопного палива концентрація газів в атмосфері почала різко зростати.

До парникових газів відносять: двоокис вуглецю CO₂; метан CH₄; оксид азоту(I) N₂O; озон O₃; водяна пара [20].

Перші чотири сполуки залишаються в атмосфері протягом місяців і навіть років без фізичних або хімічних змін. Наприклад, молекули метану можуть залишатися незмінними в атмосфері до 14 років, а молекули озону – близько 100 днів. Це сприяє глобальному потеплінню протягом десятиліть [16, с. 35].

Мінливість клімату – загальна властивість кліматичної системи, що характеризує тимчасові зміни стану самої системи та її компонентів.

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			7

Зміни клімату – односпрямовані (протягом певного періоду часу) зміни характеристик стану кліматичної системи, включаючи властивості окремих компонентів (наприклад, властивості стану атмосфери).

Поняття «коливання клімату» зазвичай використовується, коли протягом певного періоду часу відбуваються не зміни односпрямованого характеру, а поперечні зміни з якоюсь періодичністю або циклічністю.

Якщо односпрямовані зміни є незворотними, незалежно від того, сформовані вони зовнішніми чи внутрішніми кліматичними факторами, слід говорити про «незворотні зміни клімату».

Оскільки кліматичні коливання мають широкий діапазон, їх класифікація придатна для подальшого вивчення [12, с. 35]: коливання з періодом до 100 років належать до так званої «мінливості клімату»; коливання з періодом від 100 до 20 тисяч років позначаються як «короткочасні кліматичні коливання»; коливання з періодом понад 20 тис. років вважаються «довгостроковими кліматичними коливаннями».

Для розуміння змін і коливань клімату важливо знати його еволюцію протягом усієї історії існування нашої планети, тобто понад 4,5 млрд років [21].

Про кліматичні умови в деякі давні геологічні епохи та періоди можна судити лише за непрямыми даними – органічними залишками, покладами корисних копалин, наприклад, у вигляді солі, морен, латеритів і т.д. Соляні відкладення – ознака жаркого сухого клімату, морени – холодного клімату, латерити – теплого зі значною кількістю опадів. Це вказує на теплий вологий клімат через наявність заліза та марганцю, покладів торфу та кам'яного вугілля тощо. На початку ХХ століття з'явився новий метод вивчення складу рослинності в третинному і, особливо, в четвертинному плейстоцені – метод пилкового аналізу. У сучасній палеокліматології знайшли значне поширення геохімічні та радіоізотопні методи дослідження [23, с. 71].

Великі зміни і коливання клімату, що відбувалися в історії Землі, є проявом складної взаємодії змін і коливань кліматичних факторів, як зовнішніх (світлимість

Підп. і дата
Інв.№дубл.
Взаєм.інв.№
Підп. і дата
Інв.№подел.

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			8

Сонця, еволюція подвійної системи Земля-Місяць, так і зовнішніх) і внутрішні (зміни вмісту CO₂, інших парникових газів і аерозолу в атмосфері, зміни структури материків і океанів, висоти і розташування гірських систем, глибини Світового океану і т.д.). Але питання про те, який із названих факторів клімату зумовив формування тих чи інших кліматичних епох і коливань, залишається дискусійним.

Існування Землі в двох основних інтервалах (еонах): докембрій (криптозой) і фанерозой, термін якого визначається наявністю слідів життя в фанерозойських відкладеннях, а саме слово фанерозой означає «вік життя». Докембрій займає 85% часу існування Землі і поділяється на архей (2,5 млрд років тому) і протерозой (2,5-0,64 млрд років тому). Фанерозой складається з трьох віків різної тривалості: палеозою – епохи стародавнього життя, мезозою – середньої епохи життя, кайнозою – епохи нового життя. Наша сучасна кайнозойська ера почалася приблизно 66 мільйонів років тому і ділиться на два періоди: третинний, який складається з чотирьох епох (еоцен, олігоцен, міоцен і пліоцен), і четвертинний, в якому була лише одна епоха – плейстоцен.

Останні 1000 років в історії Землі виділяються особливим періодом – голоценом. Кліматичні умови післяльодовикового періоду (голоцену) в основному визначалися цими факторами. Через відносну стабільність вмісту CO₂ в атмосфері в цей час вплив хвиль на земній орбіті, можливо, сили Тасії, зміни прозорості, викликані вулканічною діяльністю та автоколиваннями кліматичної системи [28, с. 124].

Протягом тисячоліть людська діяльність пристосовувалася до навколишніх господарсько-кліматичних умов, але не звертала уваги на те, як це впливає на клімат: позитивно чи негативно. Оскільки населення Землі було порівняно невеликим, здавалося, що антропогенний вплив на природу, обумовлений господарською діяльністю, не міг вплинути на стабільність клімату. Але в ХХ столітті діяльність людини все більше набувала такого порядку, що постало питання про мету господарської діяльності людини в небі. На клімат впливають

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			9

такі процеси, які вже набули глобального характеру: спалювання органічних копалин і надходження в атмосферу CO₂, CH₄; викид промислових відходів в атмосферу, що змінює склад атмосфери, підвищує вміст радіоактивних газів і аерозолів. Обидва процеси посилюють парниковий ефект; розорювання величезних масивів землі, що сприяє зміні альbedo, швидкій втраті вологи, підняттю пилу в атмосферу; знищення лісів, особливо тропічних, що впливає на виробництво кисню, зміни альbedo та випаровування; нашествя великої рогатої худоби, яке перетворює степи та савани на пустелі, через що змінюється альbedo, пересихає земля [31, с. 3].

Зміна клімату різними способами впливає на наше довкілля, економіку, здоров'я та суспільство. Лікарі попереджають, що якщо ми не зробимо суттєвих змін, щоб утримати зростання глобальної температури нижче 1,5°C, результати будуть катастрофічними.

Спеціальний звіт МГЕЗК про глобальне потепління на 1,5 °C було підготовлено з метою встановлення наукових знань про наслідки сценарію глобального потепління на 1,5 °C і більш високого сценарію втрати температури. Давайте підсумуємо деякі з них нижче: рівень моря підвищується внаслідок розширення води при вищих температурах і таненні мас; зростає інтенсивність і частота екстремальних погодних явищ, таких як урагани, повені, посухи та урагани; збільшення дефіциту води в деяких районах призводить до опустелювання та зниження продуктивності. Це також може посилити існуючу регіональну напруженість, збільшуючи ймовірність конфлікту; підкислення океану знижує прибутковість рибної промисловості та руйнує коралові рифи; втрата середовища існування через зміну клімату відбувається набагато швидше, ніж види можуть адаптуватися. Це призведе до втрати видів, біорізноманіття та важливих екосистем; зміна географічних об'єктів; збільшення захворювань, особливо малярії та лихоманки денге, завдяки чому комарі можуть виживати у вищих широтах і на висотах тощо [39, с. 48].

Інв. №подел.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	20510030				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

Раніше вважалося, що боротьба зі зміною клімату потребує величезних фінансових витрат, що може пояснити, чому багато країн і людей відмовляються щось робити. Це вже не так, оскільки зміна клімату матиме величезний економічний вплив. Зміна клімату – це безпрограшна ситуація [24, с. 7].

Отже, зміна клімату є значною та довгостроковою зміною статистичного розподілу погодних моделей. Це може статися через мільйони років. Це можуть бути зміни середніх погодних умов, наприклад середній початок вологого сезону в тропіках, або зміни частоти екстремальних погодних явищ, таких як повені, посухи та урагани.

Зміни в орбітальних циклах Землі, які називаються циклами Міланковича, є найважливішою рушійною силою зміни клімату протягом тисяч або мільйонів років. Особливо на них впливає міжльодовиковий і теплий періоди останніх чотирьох століть. Однак клімат Землі суттєво змінився за останні 150 років, і важливо зрозуміти, що зумовило ці зміни за такий короткий проміжок часу.

1.2. Методи уловлювання та зберігання вуглецю

Кількість викидів вуглекислого газу зростає. Заміна викопного палива чистою енергією – не єдиний спосіб її скоротити. Все частіше стартапи розробляють технології, які поглинають CO₂ безпосередньо з атмосфери або навіть уловлюють його до того, як він у неї потрапить. Пояснюємо, як це відбувається.

Щорічно на енергетичних і промислових об'єктах світу вловлюється близько 45 мільйонів тонн CO₂, але цього недостатньо. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства, до 2050 року необхідно видалити близько 5 Гт вуглекислого газу (5 мільярдів тонн), щоб виконати план обмеження глобального потепління до 1,5°C.

Підтримка урядів та інвесторів сприяє активізації роботи в цьому напрямку. Міністерство енергетики США запустило програму Центрів прямого захоплення

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			11

повітря вартістю 3,5 мільярда доларів, яка привернула увагу європейських стартапів, а Великобританія інвестувала 54 мільйони фунтів стерлінгів у британські проекти декарбонізації [38, с. 108].

Існує кілька способів уловлення вуглецю:

1) Прямий забір повітря.

Як випливає з назви, пряме захоплення повітря (DAC) видаляє вуглекислий газ безпосередньо з повітря.

Способи можуть бути різними: наприклад, швейцарський стартап «Climeworks» за допомогою великого вентилятора подає атмосферне повітря в колектор, де CO₂ осідає на фільтрі. Як тільки колектор заповнюється, він автоматично закривається та нагрівається до 100°C. Потім CO₂ відкачується, змішується з водою та відправляється під землю, де він закачується в гірські породи, де мінералізується. На заводі одночасно працюватиме кілька вентиляторів. Отриманий продукт можна використовувати для екологічного авіаційного палива або будівельних матеріалів.

«Climeworks» має діючий завод в Ісландії, відомий як «Orca». Він може вловлювати 4000 тонн CO₂ на рік і, за даними «Dealroom», наразі залучив 777 мільйонів доларів від інвесторів [44, с. 71];

2) Уловлювання та зберігання вуглецю.

Пряме захоплення повітря іноді плутають з уловлюванням і зберіганням вуглецю (CCS). CSS передбачає видалення вуглецю безпосередньо з джерела викидів, такого як електростанція або промисловий процес, за допомогою великого вентилятора. Процес подібний до DAC, але вимагає встановлення вентилятора безпосередньо над джерелом викидів.

Після вилучення його транспортують трубопроводом або човном до морських свердловин, звідки його можна закачувати в колишні нафтові чи газові родовища чи колишні соляні печери.

Це зворотний видобуток нафти та газу – CO₂ витягується з викидів і повертається глибоко під землю. Ідея полягає в тому, щоб уловлювати CO₂ так

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			12

само ефективно, як природний газ уловлюється під землею. Технологія існує вже майже століття і раніше застосовувалася до старих родовищ для збільшення видобутку нафти.

Закон ЄС про промисловість з нульовими викидами встановлює мету впорскувати щонайменше 50 мільйонів тонн CO₂ у ґрунт до 2030 року. Щоб досягти цієї мети, нафтогазовим компаніям потрібно буде перетворити свої виснажені родовища на сховища CO₂.

За даними «Dealroom», британський стартап «Carbon Clean» є найбільш фінансованим європейським стартапом у сфері CCS. Минулого року компанія залучила 150 мільйонів доларів Серії С для масштабування своїх модульних установок, які вловлюють викиди вуглецю від електростанцій, сталеливарних і цементних заводів;

3) Біочар

Це форма біовуглецю, яка утворюється, коли дерева та рослини нагріваються певним чином. Біовугілля – це стабільна форма вуглецю, яка може зберігати викиди, видаляючи їх з атмосфери.

Біовугілля вже давно використовується в сільському господарстві, оскільки воно покращує якість ґрунту, а сам процес заснований на природній здатності рослин накопичувати вуглець. Це також дозволяє уникнути проблеми розкладання відходів біомаси і викидів накопиченого вуглецю в атмосферу, перетворюючи його в іншу форму.

Фінський стартап «Carbo Culture» нещодавно відкрив поблизу Гельсінкі один із найбільших заводів з виробництва біовугілля в Європі. Стверджується, що він зможе видаляти з атмосфери 3 тисячі тонн вуглекислого газу на рік. Це приблизно як 1500 бензинових автомобілів.

Очікується, що до кінця року в Європі буде 180 заводів з виробництва біовугілля, і прихильники технології кажуть, що її легше масштабувати, ніж інші методи. Біовугілля є однією з кількох форм видалення та зберігання вуглецю з

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			13

біомаси. Для цього також використовують водорості, рослини або промислові відходи [42, с. 4];

4) Лісорозведення та лісовідновлення.

Обидва методи передбачають посадку більшої кількості дерев для створення лісів. Вони діють як поглиначі вуглецю та використовують фотосинтез для видалення CO₂ з атмосфери. Якщо лісорозведення означає посадку дерев на території, де не було лісу, тоді лісовідновлення здійснюється там, де ліс було нещодавно вирубане. Лісовідновлення може здатися простою справою, але проблема може полягати у тому, щоб уникнути використання пасовищ або сільськогосподарських угідь, які використовуються для продукції харчування або матеріали, такі як деревина. У цій сфері працює паризький стартап «MORFO». За даними «Dealroom», наразі було зібрано понад 4 мільйони доларів для покращення процесу лісового господарства за допомогою дронів. Вони фотографують ліси Латинської Америки та Африки, що забезпечує точне відтворення видів рослин [29, с. 76];

5) Вуглецева мінералізація.

Реагуючи з мінералами в гірських породах, CO₂ стає твердим матеріалом, схожим на карбонат. Це відбувається природно, але неймовірно повільно. Промислові процеси можуть прискорити мінералізацію, що дозволяє утримувати набагато більше вуглекислого газу в твердій формі.

Одним із шляхів досягнення цього є посилення вивітрювання гірських порід. Для цього скельну основу розподіляють уздовж узбережжя або великих сільськогосподарських полів, де мінерали в ній реагують із CO₂ із дощової води, зберігаючи її у твердій формі.

Ісландський стартап «Carbfix» використовує іншу форму мінералізації вуглецю. У той же час використовується CO₂, уловлений з джерел викидів, подібно до уловлювання та зберігання вуглецю. Але замість того, щоб перекачувати вуглець у колишні нафтові родовища, його розчиняють у воді та

Інв. №поділ.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	20510030				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

закачують у високоактивні підземні породи, де він перетворюється на камінь [36, с. 211].

Отже, найбільш економічно ефективна та найменш ризикована стратегія для створення потужностей з видалення вуглецю передбачає розробку та впровадження кількох підходів у тандемі.

Кожен підхід до видалення вуглецю пропонує можливості та виклики, але уловлювання та зберігання CO₂, який уже є в повітрі, має бути частиною нашої стратегії зміни клімату в усьому світі, щоб уникнути небезпечних рівнів глобального потепління.

1.3. Екологічні аспекти та вплив на природне середовище

Екологічний аспект – елемент діяльності, продуктів або послуг організації, які взаємодіють або можуть взаємодіяти з навколишнім середовищем.

Екологічний аспект є екологічним аспектом, лише якщо він має або може мати один чи більше впливів на навколишнє середовище. Тут діє правило: чим суттєвіший екологічний аспект, тим значніший можливий його вплив на довкілля.

Відповідно до цього визначення майже кожен вид корпоративної діяльності має більш-менш значний екологічний аспект. У більш широкому сенсі, наприклад, відправка посилки вже має екологічний аспект. Однак те, що може не викликати занепокоєння в окремому випадку, може стати серйозною проблемою для навколишнього середовища, коли посилки відправляються гуртом [18].

ISO 14001 містить пропозиції в додатку А.6.1.2 щодо того, які аспекти навколишнього середовища можна враховувати в цьому відношенні. Однак цей «перелік» не є вичерпним, і згадані аспекти однаково стосуються кожної компанії та організації.

Приклади екологічних аспектів:

- викиди в атмосферу;
- душ у воду;

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

										20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата							15

- забруднення ґрунту;
- споживання сировини і природних ресурсів;
- споживання та виділення енергії;
- утворення відходів;
- споживання землі.

Цей список визначає екологічні аспекти вищого рівня, які можуть вимагати подальшої деталізації. Наприклад, споживання сировини завжди передуює видобутку та транспортуванню цієї сировини. Це знову ж таки призводить до певних аспектів середовища, які можна лише частково контролювати, але на які можна впливати [1].

Отже, розгляд екологічних аспектів має велике значення в екологічному менеджменті відповідно до ISO 14001. На цьому етапі приймається багато рішень щодо ефективної системи управління – і для самого докiлля. Виявлення важливих екологічних аспектів із негативним чи позитивним впливом на навколишнє середовище не схоже на погляд у кришталеву кулю.

Хоча стандарт не вказує на конкретний метод, орієнтовані на процес інструменти та процедури можуть бути розроблені відносно простим способом для визначення екологічних аспектів.

Інв. № докл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата					20510030	Арк
										16
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

РОЗДІЛ 2 УЛОВЛЮВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ВУГЛЕЦЮ

2.1 Технології уловлювання вуглецю

2.1.1. Застосування та особливості різних технологій

Технологія уловлювання та зберігання вуглецю (УЗВ) зменшує викиди парникових газів, запобігаючи витоку вуглекислого газу (CO₂), який виробляється у великих кількостях із точкових джерел, в атмосферу, а потім транспортує та закачує вуглекислий газ у підземне сховище для постійного зберігання. Вуглекислий газ можна вловлювати та зберігати з багатьох точкових джерел, таких як електростанції, що працюють на викопному паливі, нафтопереробні заводи, сталеливарні заводи, цементні заводи та заводи з виробництва біопалива. Технологія УЗВ може забезпечити виробництво низьковуглецевої електроенергії з викопного палива та низьковуглецевої промислової продукції. Використовуючи біомасу або біопаливо, технологія УЗВ може потенційно видаляти CO₂ з атмосфери, зменшуючи негативні наслідки зміни клімату.

Вуглекислий газ спочатку потрібно вловити та відокремити від точкового джерела за допомогою різних хімічних або механічних процесів. Чистий потік CO₂ потім стискається в рідкий стан під високим тиском для полегшення транспортування, як правило, по трубопроводах. Потім CO₂ доставляється до відповідного місця зберігання, де його вловлюють, демобілізують та вводять у шари гірських порід на глибині понад кілометр від поверхні Землі. Технологія УЗВ пропонує можливості для радикального скорочення викидів вуглекислого газу від великих точкових викидів, таких як вугільні та газові електростанції та промислові підприємства з високою інтенсивністю викидів. Для енергоємного промислового використання технологія УЗВ пропонує лише сучасні варіанти значного зменшення викидів. Технологія УЗВ стане необхідною частиною декарбонізації всіх важких промислових структур і об'єктів з високим вмістом

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			17

вуглецю. Жодна технологія не може запобігти руйнівній зміні клімату. Тільки повне використання всіх доступних технологій і заходів, таких як відновлювані джерела енергії, підвищення енергоефективності, скорочення викидів у сільському та лісовому господарстві та використання технології УЗВ, допоможе успішно зменшити шкідливі викиди.

Технологія УЗВ є загальновідомою технологією декарбонізації багатьох національних і глобальних програм боротьби зі зміною клімату. Численні дослідження, проведені такими організаціями, як Міжурядова група експертів зі зміни клімату, Форум провідних економік і Міжнародне енергетичне агентство, вказали на необхідність значного глобального впровадження ультразвукових технологій у промисловий та енергетичний сектори для ефективної роботи зі зміною клімату. Згідно з прогнозами програми Міжнародного енергетичного агентства «Перспективи розвитку технологій уловлювання та зберігання вуглекислого газу» від 2013 року, технологія УЗВ забезпечить загальне скорочення викидів вуглекислого газу на 17% до 2050 року. При цьому близько 8 млрд. тонн CO₂ буде вловлюватися та зберігатися на рік різними об'єктами в країнах, що не входять до ОЕСР (рисунок 2.1) [34, с. 16-17].

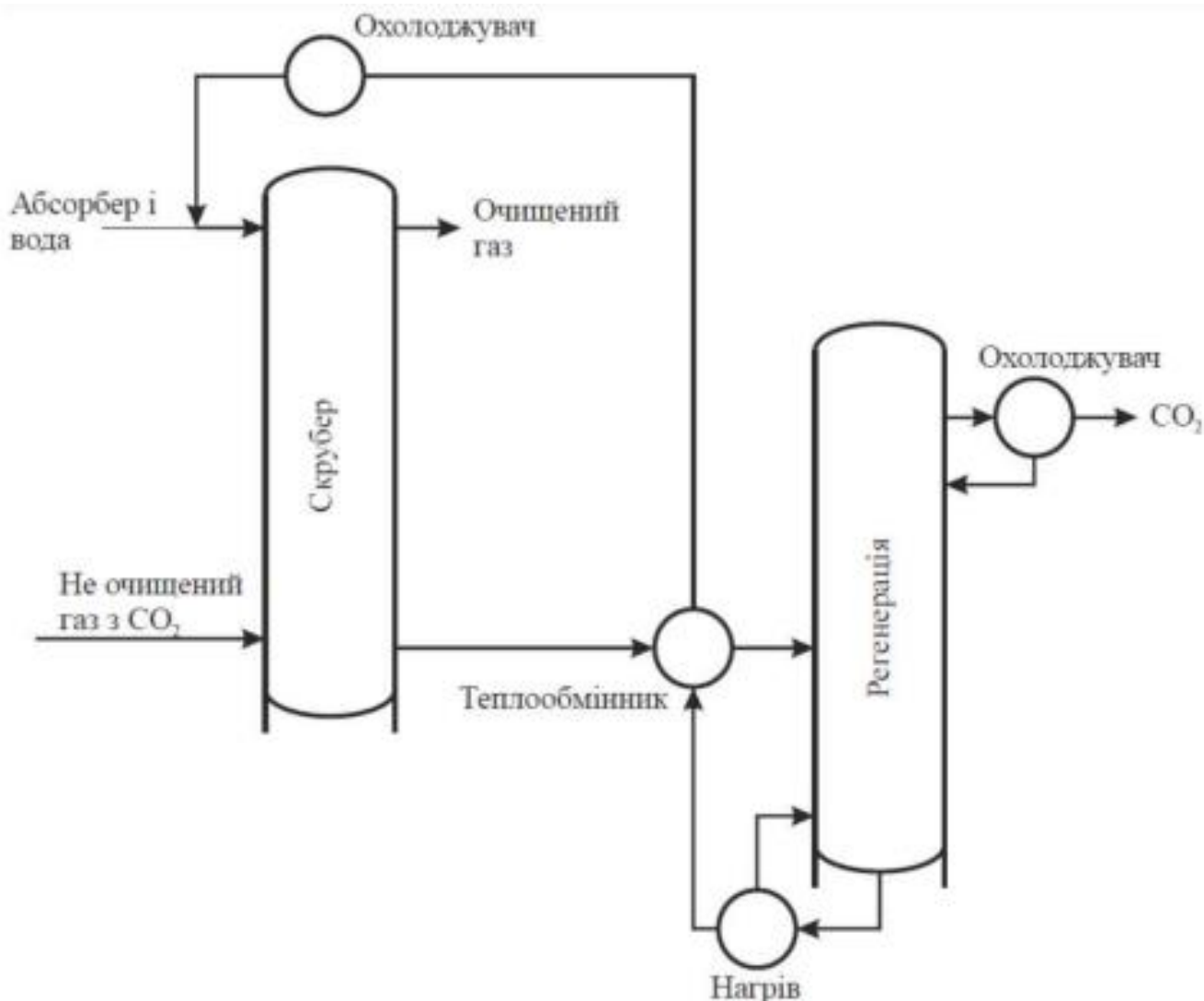
Хоча в прогнозах очікується, що розвинені країни візьмуть на себе провідну роль у створенні та розгортанні ультразвукових технологій, у 2050 році більше двох третин необхідних пристроїв буде розташовано в Китаї, Індії та країнах, що розвиваються. Зрозуміло, що УЗВ також буде необхідним для будь-якого процесу декарбонізації української економіки.

Інв. № докл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № доубл.	Підп. і дата

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			18

хімічних реакцій з річковими газами виділяють двоокис. Як розчинники можуть бути використані такі хімічні сполуки, як аміни, аміак тощо [50].

Схематична діаграма вуглекислого газу, уловленого після спалювання органічного палива, показана на рисуюнок 2.3.



Рисуюнок 2.3. - Принципова схема уловлювання вуглекислого газу після спалювання органічного палива

Для уловлювання вуглекислого газу димові газу направляються в очисний резервуар, де вони безпосередньо контактують з рідким розчинником (водним розчином аміну). Пройшовши через контактну частину абсорбера, очищений димовий газ виводиться за межі установки, а насичений розчин аміну надходить

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

у теплообмінник, де нагрівається. Після теплообмінника розчин аміну регенерується і направляється в ємність очищення [37, с. 12-13].

Технологія уловлювання вуглекислого газу перед спалюванням пов'язана з переробкою палива і використовується у виробництві різних видів добрив і водню. Використовуючи процес газифікації, можна отримати суміш водню, оксиду вуглецю та вуглекислого газу з вичопного палива або біомаси. Ця технологія є значно складнішою порівняно з технологією допалювального уловлювання, що робить її менш привабливою з точки зору впровадження на промислових об'єктах.

Принципова схема уловлювання вуглекислого газу перед спалюванням органічного палива показана на рисунку 2.4.

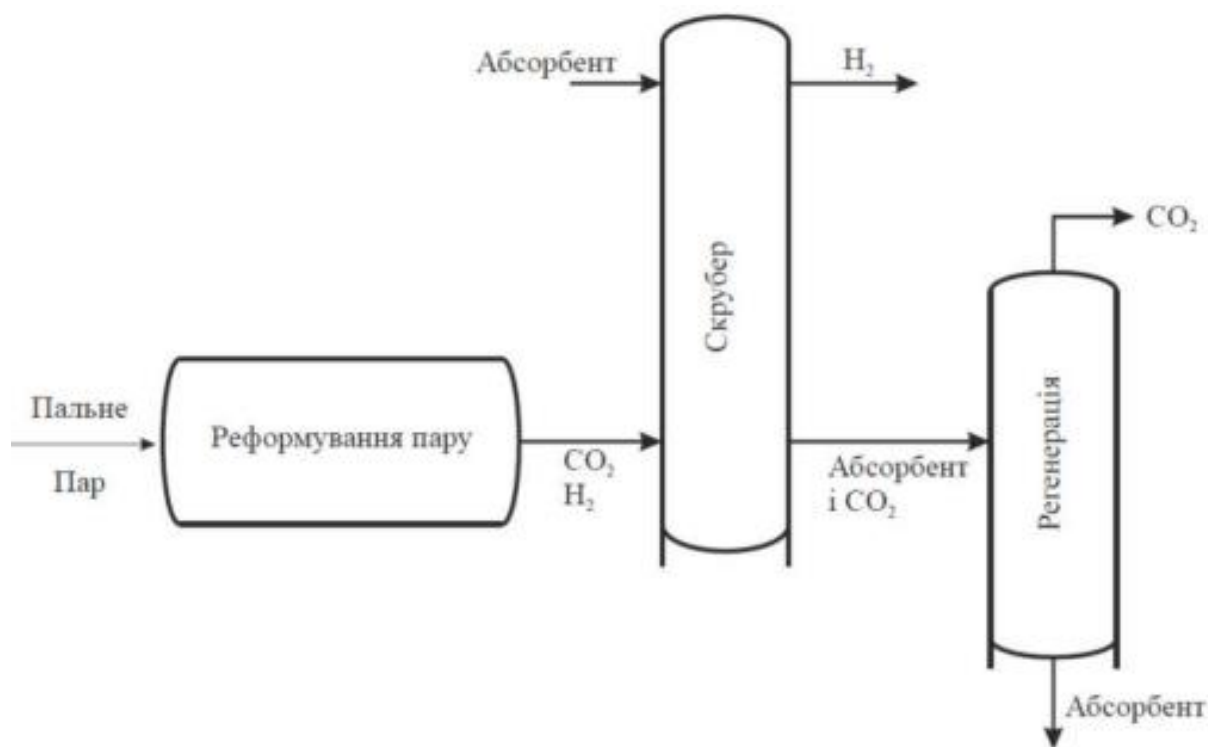


Рисунок 2.4 – Схематична діаграма уловлювання вуглекислого газу перед спалюванням органічного палива

Однією з найефективніших технологій отримання вуглекислого газу є спалювання збагаченого киснем органічного палива. За цією технологією в якості окислювача використовується паливо, а не повітря. Від спалювання органічного палива утворюється пара, яка служить енергією для роботи турбін і виробництва

Підп. і дата
Взаєм.інв.№
Інв.№дубл.
Інв.інв.№
Підп. і дата
Інв.№поодл.

електроенергії. Суміш річкових газів, вуглекислого газу та водяної пари рециркулює для підтримки температури та поступово охолоджується. Після цього вловлений вуглекислий газ висушують, стискають і передають у місце зберігання [8, с. 46]. Однак значні витрати на отримання кисню дещо обмежують використання цієї технології.

Схематична діаграма уловлювання вуглекислого газу після спалювання багатого киснем органічного палива показана на рисунку 2.5.

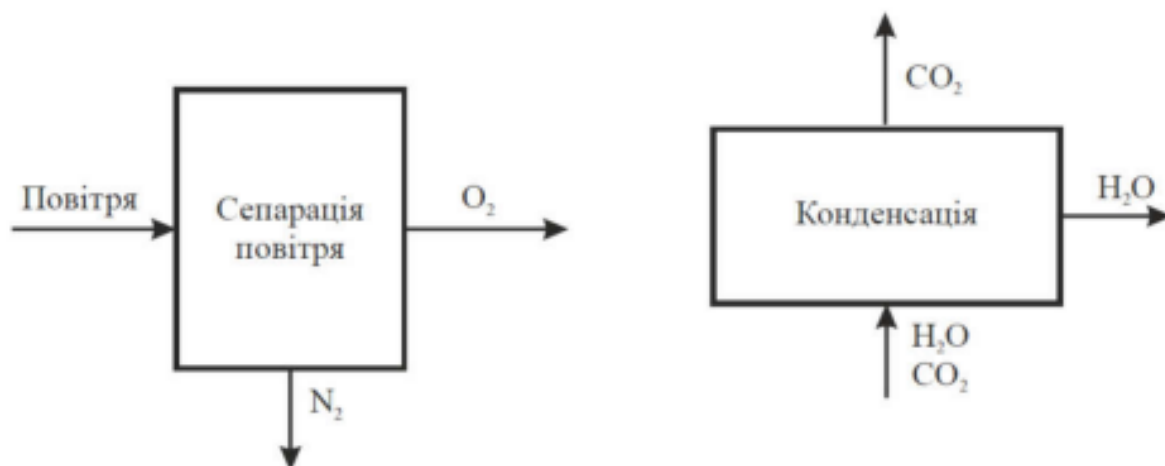


Рисунок 2.5 – Схематична діаграма вуглекислого газу, який уловлюється після багатого киснем органічної пожежі

Висока вартість промислових установок і відсутність інфраструктури, як правило, перешкоджають використанню традиційних методів уловлювання вуглекислого газу з димових газів. Це доступна і дуже ефективна технологія карбонатно-кальцієвого циклу, в якій використовується оксид кальцію, отриманий з вапнякових і доломітових сорбентів.

Суть методики полягає в переміщенні сорбенту між двома реакторами, в одному з яких при нижчій температурі знаходиться вуглекислий газ, а в іншому при вищій температурі розчиняється карбонат кальцію. Цей тип технології ефективний на електростанціях з високими викидами вуглекислого газу на одиницю виробленої енергії. Ця технологія характеризується швидким

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Взаєм. інв. №
Підп. і дата
Інв. № подл.

поглинанням вуглекислого газу в процесі за рахунок теплоти реакції, зменшення кількості необхідного для реакції кисню та відносною дешевизною методу.

Сучасні технології уловлювання вуглекислого газу після або до спалювання розроблені для використання в енергоємних виробництвах і можуть вловлювати до 85-95% вуглекислого газу. На уловлювання і стиснення вуглекислого газу витрачається на 10-40% більше енергії, порівняно з відсутністю установок уловлювання. Технології уловлювання вуглекислого газу при спалюванні збагаченого киснем палива можуть уловлювати 95-100% вуглекислого газу. Враховуючи необхідність додаткової обробки газу для видалення сірки та азоту, обсяги вуглекислого газу трохи зменшуються і зводяться до понад 90%. У розвинених країнах світу вже розпочато повне впровадження вуглекислотної технології. Сьогодні вуглекислий газ у Канаді та США вловлюється великими енергоємними промисловими підприємствами. В Європі лідерами у напрямку декарбонізації енергетичної системи є такі країни, як Нідерланди, Велика Британія, Німеччина та Норвегія.

Метою технології уловлювання вуглекислого газу є створення компактного потоку неуглеводневого газу під високим тиском, який необхідно транспортувати до місця його захоронення [26, с. 48].

Прикладом використання технології уловлювання вуглецю є те, що в Ісландії розпочав роботу найбільший у світі завод з висмоктування вуглецю з атмосфери. Він працює наче гігантський вакуум (рисунок 2.6).

Інв. № докл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № доубл.	Підп. і дата	20510030				Арк
									24
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					

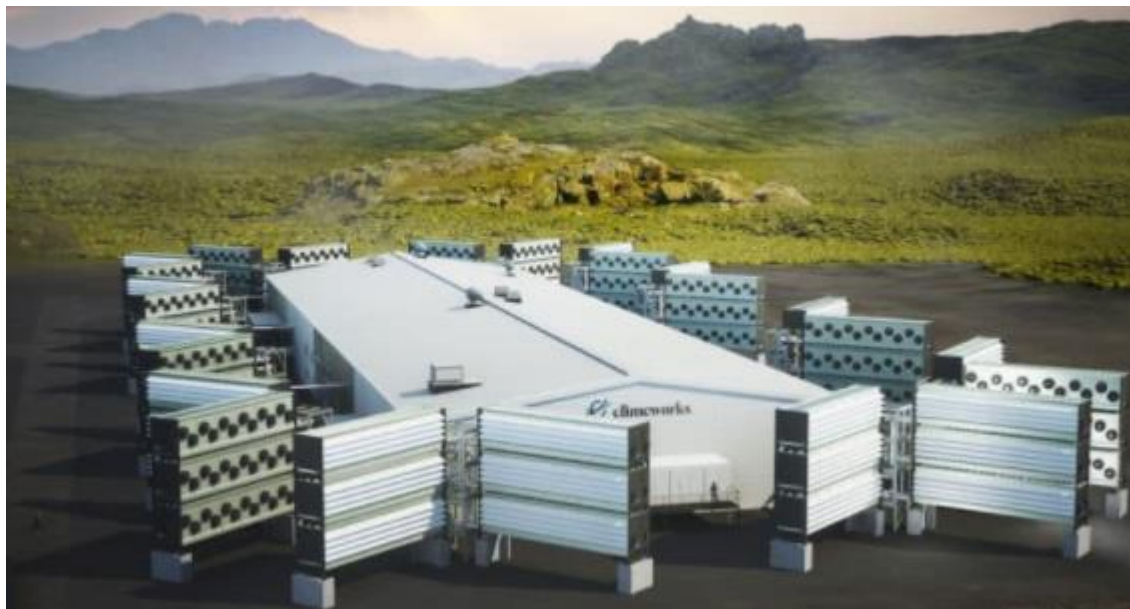


Рисунок 2.6 – Найбільший у світі завод з висмоктування вуглецю з атмосфери

Швейцарська компанія «Climeworks» запустила другий комерційний завод прямого захоплення повітря, який у 10 разів більший за свого попередника «Огса», що розпочав роботу у 2021 році.

Технологія прямого захоплення повітря (DAC) використовує хімічні реакції для вилучення вуглецю з атмосфери. Потім зібраний вуглець може бути використаний для різних цілей, включаючи зберігання під землею або перетворення на корисні продукти.

«Climeworks» планує транспортувати зібраний вуглець під землю, де він природним чином перетвориться на камінь, зберігаючи вуглець назавжди. Для цього процесу, відомого як секвестрація, компанія співпрацює з ісландською фірмою «Carbfix».

Унікальність цього проєкту полягає в тому, що вся операція забезпечується чистою геотермальною енергією Ісландії.

Це означає, що процес збору вуглецю та його подальшої конвертації в безпечний камінь відбувається без викидів від самих технологій, що сприяє зменшенню вуглецевих викидів у процесі.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			25

Технології видалення вуглецю, такі як пряме захоплення повітря (DAC), залишаються об'єктом суперечок і критики через деякі значні проблеми. Критики називають їх дорогими, енергоємними та недостатньо перевіреними за масштабом. Деякі захисники клімату також висловлюють обурення тим, що акцент на таких технологіях може відволікти увагу від необхідності зменшення споживання викопних палив.

«Climeworks» розпочала будівництво «Mammoth» у червні 2022 року, і цей завод наразі є найбільшим у світі свого типу. Він має модульну конструкцію з місцем для 72 колекторних контейнерів, які вловлюють вуглець з повітря. Зараз вже функціонує 12 таких контейнерів, а протягом наступних місяців планується додати ще більше.

За даними «Climeworks», «Mammoth» зможе витягувати з атмосфери 36 000 тонн вуглецю на рік на повну потужність. Це еквівалентно вилученню з доріг близько 7800 автомобілів, які працюють на газу, протягом року.

Цей проєкт є важливим кроком у зменшенні впливу вуглецю на клімат та демонструє потенціал технологій з видалення вуглецю у масштабах, необхідних для боротьби зі зміною клімату.

Отже, техногенна діяльність людини призвела до збільшення викидів парникових газів і, як наслідок, негативного впливу на довкілля. Одним із можливих шляхів зниження промислових викидів парникових газів є впровадження технологій уловлювання двоокису в об'єктах важкої промисловості з подальшим їх захороненням у підземних резервуарах штучного або природного походження.

2.1.2. Ефективність та обмеження

Розвиток технологій уловлювання та фіксації CO₂ може слугувати способом зменшення глобальної зміни клімату. Щоб уникнути глобального потепління,

Підп. і дата	
Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			26

викиди CO₂ можуть бути вловлені на виробленні теплових електростанцій і зафіксовані в певній стабільній формі.

Для уловлювання CO₂ (виділення його із суміші відхідних газів після вугілля на ТЕС) найбільш поширені такі методи: хімічна дифузія, мембранна сепарація, криогенний метод і адсорбція при коливаннях тиску [40, с. 225].

Найвідомішим методом є використання хімічної абсорбції. Таким чином CO₂ із відпрацьованих газів вступає в реакцію з хімічним розчинником з утворенням сполуки, яка потім пригнічує його під час нагрівання в процесі регенерації. Типовими розчинниками є моноетаноламіни, діетаноламіни та карбонати калію.

Після вилучення CO₂ з газової суміші його необхідно зберігати та стабільно закріпити таким чином, щоб запобігти його подальшому витоку в атмосферу. Одним із таких способів є закачування та зберігання CO₂ у глибинах океану. Іншим методом є геологічне зберігання, коли CO₂ закачується в підземні резервуари (наприклад, глибокі вугільні пласти, які не мають промислового використання; соляні водоносні горизонти; резервуари відпрацьованого газу та нафти), де його можна відокремити від атмосфери протягом кількох сотень років.

Огляд літератури показує, що багато дослідників мають можливість уловлювати CO₂ з морської води за допомогою лужного розчину гідроксиду натрію, який, у свою чергу, виробляється електролітичним шляхом для створення лужного рН [17]. Методи включають уловлювання CO₂ і секвестрування його як стабільного продукту з лужних металевих вод, а потім розміщення продукту для безпечної утилізації або використання його у виробничих процесах.

Альтернативним способом уловлювання та зберігання CO₂ є так зване мінеральне уловлювання, при якому CO₂ зв'язаний у твердій карбонатній породі [54, с. 5]. Цей метод імітує природний процес вивітрювання гірських порід, який, як відомо, відіграв важливу роль в історичному зниженні концентрації CO₂ в атмосфері після формування Землі. Основна перевага цього процесу полягає в тому, що карбонатні мінерали утворюються як кінцевий продукт геологічних процесів і завдяки своїй стабільності протягом тривалих геологічних періодів

Інв. № докл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № доубл.	Підп. і дата	20510030				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

(мільйони років). Уловлювання мінерального CO₂ є новою концепцією, яка недостатньо досліджена порівняно з іншими методами уловлювання CO₂ [46, с. 117].

Процес поглинання CO₂ в ААU є багатоступеневим процесом, тоді як гідроксид магнію Mg(OH)₂ спочатку утворюється з силікату магнію. Потім Mg(OH)₂ реагує з CO₂ у реакторі з киплячим шаром при високій температурі та тиску, утворюючи чистий, стабільний та екологічно чистий MgCO₃. Пріоритетні напрямки та можливості зменшення екологічних потреб та впливу на навколишнє середовище, пов'язані з мінералізацією CO₂, а ексергетичний аналіз використовується для аналізу запасів у оцінці життєвого циклу.

Дослідження в цій галузі також проводилися в Національному університеті (департамент хімічної та біомолекулярної інженерії) у Сінгапурі та Інституті хімічних наук та техніки [47, с. 4017]. У цих дослідженнях методологія оцінки життєвого циклу була застосована для кількісної оцінки впливу CO₂, захопленого мінеральними породами, на навколишнє середовище. П'ять альтернативних процесів фіксації мінералів порівнюються в поєднанні з різними технологіями уловлювання CO₂ (хімічне поглинання, розділення мембраною, криогенний метод, поглинання під тиском).

Оцінка життєвого циклу процесів карбонізації мінералів у Сінгапурі також розглядала можливі варіанти, коли кінцеві продукти потенційно можуть бути використані в будівельній галузі та як матеріали для рекультивациі ландшафту [48, с. 11356].

Отже, за допомогою оцінки життєвого циклу були досліджені та порівняні різні технології уловлювання CO₂ шляхом закачування в глибини океану та технології в різних геологічних формаціях (підземних резервуарах).

Бібліографічної інформації про оцінку життєвого циклу методів поглинання та фіксації CO₂ морською водою не знайдено.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подел.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			28

2.2. Методи зберігання вуглецю

2.2.1. Геологічне зберігання

Природні поклади відносно чистого CO₂ знаходяться по всьому світу в різних геологічних умовах. CO₂ утримується в таких природних резервуарах протягом багатьох тисяч років, і є докази того, що введений CO₂ може зберігатися мільйони років.

Механізм накопичення CO₂, який утримується в рідкісній породі під покриваючими шарами, і поглинання залишкового вуглецю рухається через накопичувальну формацію. З часом значна кількість CO₂ розчиняється у пластовій воді, глибше в пласті для зберігання. З часом CO₂ може зазнавати кількох геохімічних взаємодій із гірською породою та пластовою водою (рисунок 2.7).

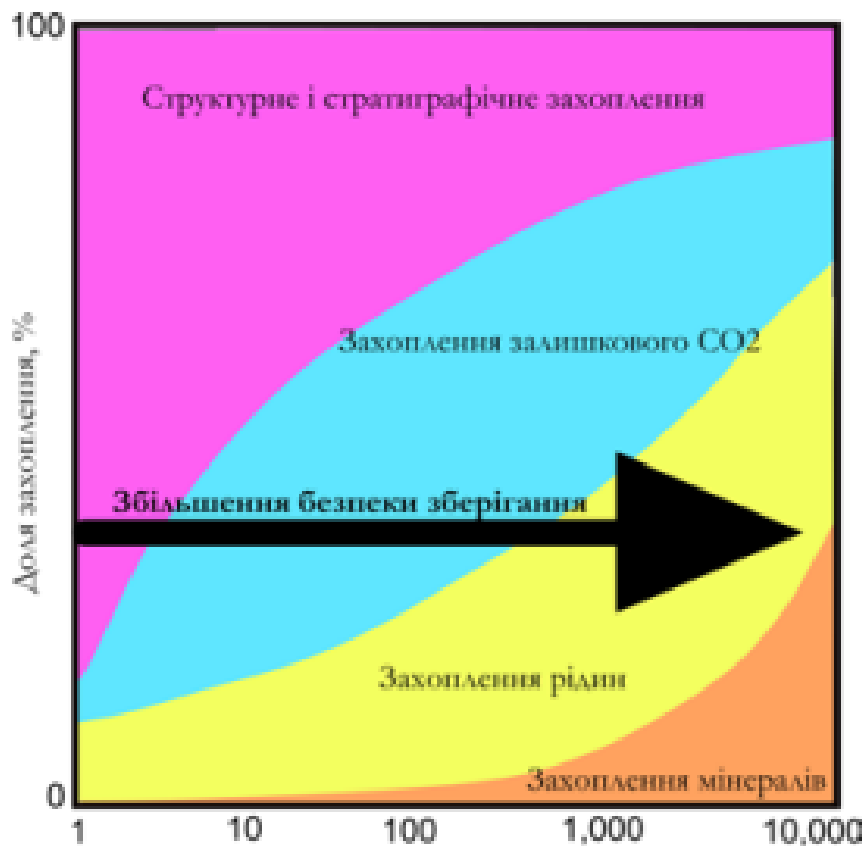


Рисунок 2.7 – Механізми зберігання CO₂

Інв. №поділ.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

Ефективність геологічного зберігання залежить від поєднання фізичних і геохімічних механізмів захоплення. Основними безпечними механізмами зберігання є фізичне та залишкове уловлювання CO₂, причому розчинність та уловлювання мінералів зазвичай відіграють дедалі важливішу роль у довгостроковій перспективі.

CO₂ постійно зберігається глибоко під землею у відповідній породі. Відповідні геологічні утворення знаходяться в шарах пористої породи, у яких є місця, куди може поміститися CO₂, так само як у губці є місця для води. Щоб переконатися, що CO₂ міститься в шарі пористої породи, твердий непористий шар породи повинен лежати поверх пористого шару, створюючи «межу», яка перешкоджає руху CO₂ вгору. Підземне зберігання CO₂ вимагає майже тих самих методів і принципів, які використовуються в нафтовій і газовій промисловості. Процес дуже схожий на підземне зберігання газу. Геологічне зберігання CO₂ може здійснюватися в різних геологічних умовах у гірничих басейнах. Можливими сховищами в цих басейнах є нафтові родовища, родовища виснаженого газу, глибокі пласти вугілля та солончакові пласти. Існують умови для зберігання CO₂ на суші в Україні в Дніпровсько-Донецькій западині на сході та на схилах Львівської та Молдовської гір на заході (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Рекомендовані критерії для запропонованого місця зберігання CO₂

Властивості резервуара	
Глибина	>1000 м <2500м
Товщина формації	>50 м
Пористість	>20%
Проникність	>50 mD
Солоність	>100gl-1
Стратиграфія	Постійна
Покривний пласт	
Бічна цілісність	Стратиграфічно постійна, незначна або без недоліків
Товщина	>100 м
Капілярний тиск входу	Набагато більший ніж максимальне передбачуване підвищення тиску, викликане закачуванням

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

Ефективність резервуара	
Ємність для статичного зберігання Оцінена ефективна ємність зберігання набагато більша ніж загальна кількість CO ₂ , що має бути введена	Ємність для статичного зберігання Оцінена ефективна ємність зберігання набагато більша ніж загальна кількість CO ₂ , що має бути введена
	Передбачуване підвищення тиску, викликане закачуванням нижче рівнів, ймовірно, викличе геомеханічне пошкодження резервуара або покривного пласта
Властивості резервуара	
Глибина	>1000 м <2500м
Товщина формації	>50 м
Пористість	>20%
Проникність	>50 mD
Солоність	>100gl-1
Стратиграфія	Постійна
Покривний пласт	
Бічна цілісність	Стратиграфічно постійна, незначна або без недоліків
Товщина	>100 м
Капілярний тиск входу	Набагато більший ніж максимальне передбачуване підвищення тиску, викликане закачуванням
Ефективність резервуара	
Ємність для статичного зберігання	Оцінена ефективна ємність зберігання набагато більша ніж загальна кількість CO ₂ , що має бути введена
.	Передбачуване підвищення тиску, викликане закачуванням нижче рівнів, ймовірно, викличе геомеханічне пошкодження резервуара або покривного пласта

Загалом CO₂ може зберігатися у виснажених нафтових і газових покладах. Їх перевага в тому, що вони мають достатньо інформації про виробничі операції. Однак потужність зберігання CO₂ виснажених родовищ вуглеводнів в Україні часто обмежена. Такі утворення, відомі як соляні болота, мають набагато більший потенціал для зберігання CO₂ в Україні. Солончаки – це глибокі осадові породи, насичені пластовими водами або водами з високою концентрацією розчинених солей, ці утворення зазвичай ідентичні вуглеводневим родовищам, але без

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

вуглеводнів. Соляні утворення широко поширені в Україні та мають потенціал для постійного зберігання великих обсягів CO₂.

Проект «Sleipner» у Північному морі є одним із прикладів зберігання CO₂ у соляній формації. З вересня 1996 року газове родовище Слейпнер у Північному морі викидає 1 мільйон тонн CO₂ на рік без жодних ознак витоку.

Таким чином, геологічне зберігання вуглецю передбачає уловлювання CO₂, що утворюється при спалюванні викопного палива, а потім його концентрацію у вигляді рідини або газу, який можна закачати в підземний резервуар. Наприклад, CO₂, що виробляється вугільною електростанцією в Північній Дакоті, концентрується, транспортується по трубопроводу до Вейберна на півдні Саскачевану та вводиться в геологічну формацію для підвищення тиску та видобутку нафти. Також створюється компенсація вуглецю – до 40 мільйонів тонн CO₂ протягом 30 років.

2.2.2. Інші методи та їх переваги та недоліки

Інші методи зберігання вуглецю:

1) Фізичне поглинання.

Найефективнішими сховищами є ті, де CO₂ є нерухомим, оскільки він постійно утримується під товстим ізоляційним шаром із низькою проникністю.

Гірничі басейни – це закриті, фізично обмежені пастки або структури, які містять переважно солону воду, нафту та газ. Структурні пастки включають пастки, утворені складчастими або тріщинуватими породами, і такі пастки утворюються внаслідок зміни типу гірської породи, спричиненої зміною умов, за яких порода відкладалася. Під час нагнітання CO₂ необхідно стежити за тим, щоб не перевищувати допустимий тиск, щоб уникнути надмірного руйнування розкритої породи або повторних дефектів. Коли вуглець закачується в пласт, він витісняє соляну рідину, а потім активно рухається вгору, оскільки має меншу щільність, ніж вода. Коли він досягає верхньої частини пласта, він продовжує мігрувати як окрема фаза, поки не буде захоплений у вигляді залишкового

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	20510030				Арк
									32
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					

поглинання CO₂ або локально структурно захоплений ущільненою формацією. Поглинання також може відбуватися в соляних утвореннях, які не мають закритої пастки, але де гази переміщуються дуже повільно на великі відстані.

2) Залишкова абсорбція.

Коли надкритичний вуглець вводять у пласт, він витісняє газ, просуваючись крізь пористу губку породи. Під час міграції CO₂ він замінюється газом, захоплюючи CO₂ як залишкову рідину в порах, що робить його нерухомим. Подібним чином нафта зберігалася мільйони років.

Розчинна абсорбція У довгостроковій перспективі значна кількість CO₂ розчиняється у пластовій воді, а потім мігрує з підземними водами. Якщо відстань від глибокого місця закачування до кінця непроникної формації, що лежить вище, становить сотні кілометрів, можуть знадобитися мільйони років, щоб газ досягнув поверхні з глибокого басейну. Основна перевага розчинної абсорбції полягає в тому, що коли CO₂ розчиняється, він більше не існує як окрема структура, таким чином усуваючи виштовхувальні сили, які змушують його підніматися.

3) Мінералізація.

CO₂ у поверхневому шарі ґрунту може зазнавати низки геохімічних взаємодій із гірською породою та пластовою водою, що призведе до подальшого збільшення ємності та ефективності зберігання; цей механізм відомий як геохімічне захоплення або мінералізація. Вуглець, розчинений у воді, утворює іонні частинки, які реагують з породою та утворюють стабільні карбонати. Цей процес можна назвати уловлюванням корисних копалин, яке є найбільш постійною формою геологічного зберігання. Уловлювання мінералів відбувається відносно повільно, потенційно займаючи тисячі років або більше. Тим не менш, стабільність зберігання корисних копалин у поєднанні з потенційно великою ємністю зберігання в деяких геологічних умовах робить його бажаною властивістю довгострокового зберігання [36, с. 217-218].

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			33

агротехніки призводить також до викидів інших парникових газів (ПГ) із ґрунтів на додаток до вуглекислого газу, а зміна клімату посилює цю проблему. При внесенні добрив та при посадці азотфіксуючих культур ґрунту виділяють закис азоту. При вирощуванні рису на заливних полях ґрунту виділяють також метан.

Вплив концентрації CO_2 у атмосфері на продуктивність рослин (фотосинтезу).

За способом фіксації CO_2 переважна більшість рослин відносяться до типів фотосинтезу C_3 та C_4 . До групи C_3 належить більшість відомих видів рослин (близько 95% рослинної біомаси Землі – це C_3 -рослини). До групи C_4 належать деякі трав'янисті рослини, зокрема важливі сільськогосподарські культури: кукурудза, цукрова тростина, просо.

C_4 механізм фіксації вуглецю виробився як пристосування до умов низьких концентрацій CO_2 в атмосфері. Практично у всіх видів рослин зростання концентрації CO_2 у повітрі призводить до активізації фотосинтезу та прискорення зростання.

У C_3 рослин крива починає виходити на плато при концентрації CO_2 більше 1000 ppm.

Однак у C_4 -рослин зростання швидкості фотосинтезу припиняється вже за концентрації CO_2 в 400 ppm. Тому сучасна його концентрація, що становить зараз понад 400 молекул на мільйон (ppm), вже досягла оптимуму для фотосинтезу у C_4 -рослин, але все ще дуже далека від оптимуму для C_3 -рослин.

За експериментальними даними, подвоєння поточної концентрації CO_2 призведе (у середньому) до прискорення приросту біомаси у C_3 -рослин на 41%, а у C_4 – на 22%.

Додавання в навколишнє повітря 300 ppm CO_2 призведе до зростання продуктивності у C_3 -рослин на 49 % та у C_4 – на 20 %, у фруктових дерев та баштанних культур – на 24 %, бобових – на 44 %, коренеплодних – на 48 %, овочевих – на 37%.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			35

2.3.2. Потенційні екологічні ризики

Екологічні ризики можуть призвести до втрати ресурсів, зниження економічної ефективності металургійних підприємств, що, у свою чергу, призводить до зниження обсягів продажів та спроможності підприємства розраховуватися за зобов'язаннями. Внаслідок цього виникають нові ризики нанесення шкоди зовнішньому соціально-економічному середовищу, а також довкіллю. Це призводить до необхідності використання системи управління екологічними ризиками в загальній еколого-економічній системі металургійного підприємства. Пріоритетним є вивчення та оцінка екологічних ризиків, визначення їх економічного значення, обґрунтування природоохоронних заходів для управління еколого-економічною діяльністю підприємства та порівняння економічних результатів впровадження природоохоронних заходів з витратами на впровадження, що дозволяє прогнозувати розвиток в умовах невизначеності.

Процес економічної оцінки екологічного ризику включає визначення вартості та структури можливих втрат, пов'язаних із забрудненням повітря, води, поверхні та надр. В Україні затверджено Методику розрахунку розміру відшкодування збитків, завданих державі внаслідок понаднормативних викидів, що забруднюють атмосферне повітря, водні басейни, земельні ресурси [3].

Методики розроблено відповідно до законів України «Про охорону навколишнього природного середовища» [6] та «Про охорону атмосферного повітря» (2707-12) [5, с. 678], указу Кабінет Міністрів України від 17 листопада 2001 р. № № 1520 (1520-2001-п) «Про затвердження Положення про Державну екологічну інспекцію України» від 13 квітня 2011 року № 454/2011 [2] «Про затвердження нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин зі стаціонарних джерел», зареєстрований в Міністерстві юстиції України 27 червня 2006 р. № 309 [4].

Використання ефективних методів управління екологічними ризиками є визначальним для сталого розвитку в стратегічній перспективі самих

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№ Інв.№дубл.	
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			36

підприємств, металургійного комплексу України та української економіки в цілому. Особливості управління екологічними ризиками визначаються масштабами виробництва, особливостями виробничих процесів, суттєвим впливом на зміну стану довкілля на територіях самих підприємств.

Необхідною умовою управління екологічними ризиками є його інтеграція в загальну систему управління підприємством. Зазвичай металургійні компанії включають у свої корпоративні стратегії розділи, які пов'язані із забезпеченням ефективного управління екологічними ризиками.

Враховуючи досвід побудови систем управління різними видами ризиків, нами запропоновано принципову схему процесів управління екологічними ризиками як окремого специфічного об'єкта управління (рисунок 2.8).

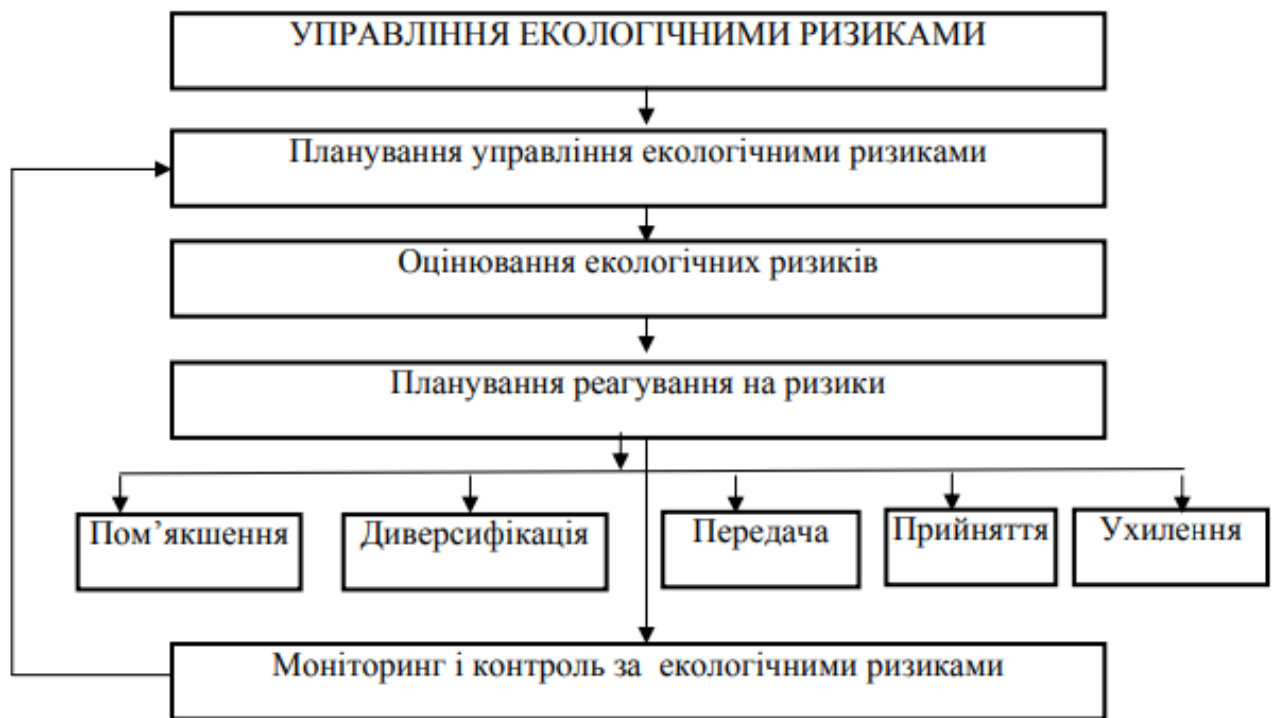


Рисунок 2.8 – Схема процесів управління екологічними ризиками

Планування процесами управління екологічними ризиками покликане забезпечити підвищення ймовірності успішного досягнення результатів всього процесу управління ризиками та передбачає прийняття рішень щодо вибору принципового підходу, планування та здійснення заходів управління екологічними ризиками.

Підп. і дата	
Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Інв.№поодл.	

Планування процесів управління екологічними ризиками покликане підвищити ймовірність успішного досягнення результатів усього процесу управління ризиками та передбачає прийняття рішень щодо вибору принципового підходу, планування та впровадження заходів з управління екологічними ризиками.

Планування реагування на ризики передбачає розробку альтернативних стратегій реагування на ризики, спрямованих на збільшення сприятливих можливостей і зменшення несприятливого впливу екологічних ризиків [32]. Процес включає проектування можливих і вибір оптимальних стратегій, а також планування дій для їх реалізації. Результатами планування реагування на ризики зазвичай є карти ризиків, які також включають дії реагування на ризики.

Моніторинг і контроль екологічних ризиків передбачає відстеження ідентифікованих ризиків, моніторинг залишкових і виявлення нових ризиків, впровадження планів реагування на ризики та оцінку їх ефективності протягом життєвого циклу проекту [43, с. 224].

Метою моніторингу та контролю є з'ясування таких аспектів управління екологічними ризиками: відповідність впровадження (контроль відповідності) системи реагування на ризики; рівень реагування на ризики; зміни ризиків порівняно з попередніми значеннями; ефективність заходів реагування на ризики; рівень впливу заходів на екологічні ризики; аналіз запасів.

Результатом цього процесу мають бути переглянуті та оновлені плани реагування на ризики, коригувальні дії, запити на зміни та стандартні звіти про управління екологічними ризиками.

Контроль полегшує вибір альтернативних стратегій, прийняття виправлень, перепланування проекту з метою забезпечення базового плану

Отже, проведені дослідження впливу виробничої діяльності на забруднення навколишнього середовища, аналіз процесів оцінки та управління екологічними ризиками дають чітке розуміння того, що ЄЕС сприяє вирішенню низки еколого-економічних проблем.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			38

РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

3.1 Безпека праці в умовах уловлювання та зберігання вуглецю

Небезпека у вигляді різних негативних факторів може підстерігати нас практично всюди. Навіть на самих нешкідливих робочих місцях можна говорити про шкідливий вплив комп'ютера, тривалу сидячу роботу та багато іншого. Але в цій статті я хотів би торкнутися шкідливих виробничих факторів, з якими люди стикаються на підприємствах.

Шкідливі та небезпечні виробничі фактори нерозривно пов'язані між собою. ВПФ – це ті чинники, які внаслідок тривалого або короткочасного впливу на людину призводять до погіршення її здоров'я або травми.

ВПФ – це фактори, які, діючи на працівника, знижують його працездатність або призводять до різних захворювань, їх часто ще називають професійними захворюваннями. Варто зазначити, що межа між цими двома групами факторів досить умовна. За певних умов шкідливі виробничі фактори можуть стати небезпечними. Наприклад, підвищена вологість відноситься до несприятливих умов праці, вона може викликати різні захворювання дихальної системи. Якщо людині доводиться працювати з електричним струмом в таких умовах, то це стає надто небезпечно, а не просто шкідливо [27].

Усі фактори будь-якого підприємства можуть мати різне походження. Часто можна зіткнутися з несприятливими умовами праці, які виникають з вини керівництва. Це питання потребує особливої уваги з боку перевіряючих органів. Більшість небезпечних факторів мають природне походження, і людині просто необхідно вжити всіх заходів, щоб мінімізувати їх вплив. ГОСТ поділяє всі шкідливі виробничі фактори на такі групи: фізичний, хімічний, біологічний.

Психофізіологічні, до яких відносяться важкі та стресові умови праці.

Підп. і дата						
Інв. № дубл.						
Взаєм. інв. №						
Підп. і дата						
Інв. № покл.						
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	20510030	Арк
						39

У виробництві завжди є технологічні процеси, обладнання, які є джерелом виділення ВПФ. Ці провадження включають: очищення деталей хімічними засобами; фарбування обладнання; зварювальні роботи; процеси нанесення захисних антикорозійних покриттів; переробка або переробка металів.

При здійсненні всіх цих процесів виділення шкідливих речовин неминуче, але, як правило, їх підвищене утворення пов'язане з недотриманням технологій або їх невмілим використанням [33, с. 148].

Фізичні фактори. У багатьох галузях уникнути впливу тих чи інших факторів просто неможливо. Серед них особливе місце займають: температура, висока вологість і радіація; електромагнітні поля; лазерне та ультразвукове випромінювання; вібрація; гучний шум; освітлення може бути як занадто інтенсивним, так і недостатнім, що однаково шкодить зору; вплив пилу та аерозолів; заряджений повітрям; робочі частини обладнання [41, с. 39].

Хімічні фактори. Речовини з цієї групи можна виділити за такими категоріями: за впливом на організм людини шкідливі та небезпечні виробничі фактори хімічної природи; за способом надходження в організм: через дихальну систему; через шлунково-кишковий тракт; через шкіру та слизові оболонки [27].

На будь-якому підприємстві, щоб створити сприятливі умови для працівників, необхідно постаратися створити комфортні умови. Це стосується, перш за все, чистоти повітря у виробничих приміщеннях. Санітарно-гігієнічні служби поділяють основні шкідливі виробничі фактори на хімічні речовини та промисловий пил. Перші, в свою чергу, поділяються на: промислові отрути, які часто використовуються на виробництві; пестициди для сільського господарства; препарати; бойова хімія; отруйні речовини.

Велика запиленість також є актуальною проблемою в гірничодобувній, металургійній, машинобудівній, сільськогосподарській промисловості. Негативний вплив пилу проявляється в тому, що він може спровокувати розвиток легеневих захворювань. На будь-якому підприємстві працівники піддаються впливу шкідливих виробничих факторів відразу декількох груп, тобто

Підп. і дата	
Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.
Підп. і дата	
Інв. № покл.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			40

комплексно. Тому у виробничій сфері досить гостро стоїть питання забезпечення захисту від їх негативної дії [28, с. 419].

Незважаючи на всі заходи, спрямовані на нейтралізацію шкідливої дії факторів, ідеальних умов праці досягти неможливо. Особливості технологічних процесів, продуктів і сировини для його виготовлення не дозволяють це зробити. Тому захист від шкідливих виробничих факторів є першочерговим завданням керівників. При цьому необхідно керуватися наступними пріоритетами: усунути небезпечний фактор або знизити ризик його впливу; використовувати безпечні методи праці; боротися з небезпечним фактором і його джерелом; ефективно використовуйте засоби індивідуального захисту [40, с. 351].

Можна зробити висновок, що засоби індивідуального захисту, з одного боку, знижують вплив шкідливих факторів, а з іншого – можуть створювати інші небезпеки для здоров'я працівника.

Заходи безпеки спрямовані, перш за все, на те, щоб шкідливі виробничі фактори не чинили свого небезпечного впливу на людину. Для цього на будь-якому підприємстві повинен бути проведений інструктаж з техніки безпеки. Дата і зміст записуються в спеціальному журналі за підписами всіх слухачів і того, хто проводив навчання. Всього можна виділити кілька видів такої роботи: вступний інструктаж. Проводиться в обов'язковому порядку з найманими особами. Вік, стаж чи посада тут не мають значення; первинний. Воно здійснюється вже на робочому місці, як правило, ведеться майстром або начальником даного відділу чи цеху; повторний. Проводиться кожні півроку для всіх без винятку працівників.

Позаплановий проводиться, якщо: правила змінилися; змінився технологічний процес; закуплено нове обладнання; були випадки порушення працівниками правил техніки безпеки тощо [45, с. 272-273].

Отже, досить часто на практиці можна зустріти ситуацію, коли працівникам просто дозволяють розписатися в журналах безпеки без інструктажу. Це просто неприпустимо. Будь-який нещасний випадок у цій ситуації буде цілком на совісті таких недбайливих керівників, які працюють лише для галочки.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			41

3.2 Надзвичайні ситуації та їх управління

Основними проблемами при виборі та експлуатації сховища CO₂ є: ризик витоку; підвищення тиску в сховищі.

У чітко визначеному місці зберігання та вибраних надійних шарах покриття ризик будь-яких великих витоків дуже малий. У будь-якому випадку невеликі об'єми води не можуть досягти поверхні, оскільки CO₂ може мігрувати горизонтально через шари розрідження або може бути заблокований додатковими непроникними шарами. Покинуті, занедбані або неправильно встановлені свердловини є основними кандидатами на місця витоку, де CO₂ може мігрувати через обсадну трубу або бетон. З цієї причини вкрай важливо, щоб усі законні колодязі були зареєстровані та задокументовані на відведеній території.

За допомогою закачування CO₂ у резервуар збільшення тиску може збільшити напругу в резервуарі та в ізоляційному шарі, а також у пластах вище, що зрештою призводить до тріщин у породі резервуару та навантаженні. Тому важливо мати достатню кількість інформації про властивості породи-колектора, особливо про тиск розриву та властивості руйнування. Слід уникати надмірного тиску, щоб запобігти пошкодженню цілісності вантажу. Аномальне підвищення тиску в нагнітальних свердловинах ретельно контролюється, і закачування припиняється, якщо проблема не зникає [52].

Причинами витоку вуглекислого газу на поверхню можуть бути як діяльність людини, так і природні фактори. Свердловини є основними маршрутами, оскільки вони забезпечують прямий зв'язок між поверхнею та місцем захоронення. Свердловини, що використовуються в нафтогазовій промисловості для видобутку природних вуглеводнів, як правило, будуються зі штучних матеріалів, які мають властивість руйнуватися під впливом високих тисків, значних навантажень, агресивних корозійних середовищ тощо.

Враховуючи вищевикладене, причинами витоку вуглекислого газу є: негерметичність цементних перемичок у свердловинах; дефекти корпусу та

Інв. № докл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № доубл.	Підп. і дата	20510030	Арк
						42
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

робочих колонок, спричинені їх корозією; негерметичність обсадної та експлуатаційної колон; неякісна та неповна цементация обсадних та експлуатаційних колон.

При реалізації проектів з утилізації техногенного вуглекислого газу на виснажених нафтових і газових родовищах необхідно обладнати свердловини спеціальним обладнанням, яке дозволить здійснювати моніторинг і контроль рівня концентрації вуглекислого газу. Ефективним у цьому випадку буде використання високочутливих геохімічних і геофізичних методів контролю.

Що стосується природних шляхів витоку техногенного вуглекислого газу, то потенційними шляхами можуть бути тектонічні порушення, розломи. Прорив вуглекислого газу може відбуватися також через систему тріщин у пористо-тріщинному колекторі.

Поклади вуглеводнів зазвичай неоднорідні і характеризуються мінливістю властивостей фільтраційної здатності як за потужністю, так і за площею, що значно ускладнює ефективний контроль за міграцією неуглеводневого газу. В рамках реалізації таких проектів рекомендується проводити повторну сейсмозвідку для відстеження підземної міграції вуглекислого газу. Такі методи, як гравітаційні та електричні вимірювання, також можуть бути корисними. Щоб безпосередньо виявити витік вуглекислого газу, необхідно регулярно брати проби ґрунтових вод і ґрунту [26, с. 48].

Отже, методи поверхневого рівня можна використовувати для виявлення неконтрольованих викидів вуглекислого газу. У рамках усіх існуючих проектів промислового значення та експериментальних проектів необхідно розробляти програми апробації цих та інших методів моніторингу. Враховуючи тривалий характер зберігання вуглекислого газу, може виникнути необхідність у моніторингу місця зберігання протягом тривалих періодів часу.

Інв. № докл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № доубл.	Підп. і дата

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			43

ВИСНОВКИ

У роботі проведено вивчення та поглиблення знань з теми уловлювання та зберігання вуглецю як метод пом'якшення наслідків зміни клімату. А також зроблено наступні висновки:

1) Провівши літературний огляд з досліджуваної проблеми, ми можемо сказати, що великі зміни і коливання клімату, що відбувалися в історії Землі, є проявом складної взаємодії змін і коливань кліматичних факторів, як зовнішніх (світимість Сонця, еволюція подвійної системи Земля-Місяць, так і зовнішніх) і внутрішні (зміни вмісту CO₂, інших парникових газів і аерозолу в атмосфері, зміни структури материків і океанів, висоти і розташування гірських систем, глибини Світового океану і т.д.). Але питання про те, який із названих факторів клімату зумовив формування тих чи інших кліматичних епох і коливань, залишається дискусійним. Клімат Землі суттєво змінився за останні 150 років, і важливо зрозуміти, що зумовило ці зміни за такий короткий проміжок часу.

Кількість викидів вуглекислого газу зростає. Заміна викопного палива чистою енергією – не єдиний спосіб її скоротити. Все частіше стартапи розробляють технології, які поглинають CO₂ безпосередньо з атмосфери або навіть уловлюють його до того, як він у неї потрапить. Пояснюємо, як це відбувається.

Щорічно на енергетичних і промислових об'єктах світу вловлюється близько 45 мільйонів тонн CO₂, але цього недостатньо. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства, до 2050 року необхідно видалити близько 5 Гт вуглекислого газу, щоб виконати план обмеження глобального потепління.

Існує кілька способів уловлення вуглецю: прямий забір повітря; пряме захоплення повітря; біочар; лісорозведення та лісовідновлення; вуглецева мінералізація. Кожен підхід до видалення вуглецю пропонує можливості та виклики, але уловлювання та зберігання CO₂, який уже є в повітрі, має бути

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			44

частиною нашої стратегії зміни клімату в усьому світі, щоб уникнути небезпечних рівнів глобального потепління.

Екологічний аспект – елемент діяльності, продуктів або послуг організації, які взаємодіють або можуть взаємодіяти з навколишнім середовищем. Розгляд екологічних аспектів має велике значення в екологічному менеджменті відповідно до ISO 14001. На цьому етапі приймається багато рішень щодо ефективної системи управління – і для самого докiлля. Виявлення важливих екологічних аспектів із негативним чи позитивним впливом на навколишнє середовище не схоже на погляд у кришталеву кулю.

2) Висвітливши технології уловлювання вуглецю, можна підсумувати, що технологія уловлювання та зберігання вуглецю (УЗВ) зменшує викиди парникових газів, запобігаючи витоку вуглекислого газу (CO₂), який виробляється у великих кількостях із точкових джерел, в атмосферу, а потім транспортує та закачує вуглекислий газ у підземне сховище для постійного зберігання. Вуглекислий газ можна вловлювати та зберігати з багатьох точкових джерел, таких як електростанції, що працюють на викопному паливі, нафтопереробні заводи, сталеливарні заводи, цементні заводи та заводи з виробництва біопалива. Технологія УЗВ може забезпечити виробництво низьковуглецевої електроенергії з викопного палива та низьковуглецевої промислової продукції. Використовуючи біомасу або біопаливо, технологія УЗВ може потенційно видаляти CO₂ з атмосфери, зменшуючи негативні наслідки зміни клімату.

Техногенна діяльність людини призвела до збільшення викидів парникових газів і, як наслідок, негативного впливу на довкілля. Одним із можливих шляхів зниження промислових викидів парникових газів є впровадження технологій уловлювання двоокису в об'єктах важкої промисловості з подальшим їх захороненням у підземних резервуарах штучного або природного походження.

3) Провівши аналіз методів зберігання вуглецю, зробимо підсумок, що технології уловлювання та фіксації CO₂ може слугувати способом зменшення глобальної зміни клімату. Щоб уникнути глобального потепління, викиди CO₂

Інв. № докл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № доубл.	Підп. і дата	20510030				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

можуть бути вловлені на виробленні теплових електростанцій і зафіксовані в певній стабільній формі.

Для уловлювання CO₂ (виділення його із суміші відхідних газів після вугілля на ТЕС) найбільш поширені такі методи: хімічна дифузія, мембранна сепарація, криогенний метод і адсорбція при коливаннях тиску.

Природні поклади відносно чистого CO₂ знаходяться по всьому світу в різних геологічних умовах. CO₂ утримується в таких природних резервуарах протягом багатьох тисяч років, і є докази того, що введений CO₂ може зберігатися мільйони років.

Ефективність геологічного зберігання залежить від поєднання фізичних і геохімічних механізмів захоплення. Основними безпечними механізмами зберігання є фізичне та залишкове уловлювання CO₂, причому розчинність та уловлювання мінералів зазвичай відіграють дедалі важливішу роль у довгостроковій перспективі. Інші методи зберігання вуглецю: фізичне поглинання; залишкова абсорбція; мінералізація.

Фактори навколишнього середовища вугільної промисловості не лише впливають на забруднення повітря, управління водними ресурсами та землекористуванням, а й спричиняють серйозні наслідки для здоров'я через спалювання вугілля.

4) Охарактеризувавши екологічні наслідки уловлювання та зберігання вуглецю, можна сказати, що за індексом забруднення атмосферного повітря (ІРА), який враховує рівень забруднення атмосферного повітря п'ятьма попередніми забруднювачами, найвищий рівень забруднення на початку 2022 року, до початку повномасштабної війни в Україні, спостерігався в Маріуполі та Дніпрі, найвищий – в Одесі, Кам'янському, Київ, Кривий Ріг, Луцьк, Миколаїв, Слов'янськ, Краматорськ, Рубіжний, Львів, Запоріжжя, Лисичанськ, Херсон, Кременчук (рис. 2.7). Слід зазначити, що з шістнадцяти перелічених міст сім мають потужні металургійні підприємства.

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата
--------------	--------------	---------------	--------------	--------------

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			46

Аналіз процесів оцінки та управління екологічними ризиками дають чітке розуміння того, що ЄЕС сприяє вирішенню низки еколого-економічних проблем. проблем сталого розвитку металургійних підприємств, регіону розміщення та економіки України в цілому.

3) Провівши аналіз охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, можна сказати в підсумок, що провідні світові експерти працюють над вдосконаленням існуючих технологій уловлювання, транспортування та зберігання CO₂.

ГОСТ поділяє всі шкідливі виробничі фактори на такі групи: фізичний, хімічний, біологічний. Кожен фактор окремо не представляє особливої небезпеки для здоров'я людини при короткочасному впливі. Але часто працівник проводить тривалий час у своєму оточенні, а то й одразу декілька, тому їх вплив стає досить помітним. Тому у виробничій сфері досить гостро стоїть питання забезпечення захисту від їх негативної дії.

Заходи безпеки спрямовані, перш за все, на те, щоб шкідливі виробничі фактори не чинили свого небезпечного впливу на людину. Для цього на будь-якому підприємстві повинен бути проведений інструктаж з техніки безпеки.

Причинами витoku вуглекислого газу є: негерметичність цементних перемичок у свердловинах; дефекти корпусу та робочих колонок, спричинені їх корозією; негерметичність обсадної та експлуатаційної колон; неякісна та неповна цементация обсадних та експлуатаційних колон. Що стосується природних шляхів витoku техногенного вуглекислого газу, то потенційними шляхами можуть бути тектонічні порушення, розломи.

Отже, у рамках усіх існуючих проектів промислового значення та експериментальних проектів необхідно розробляти програми апробації цих та інших методів моніторингу. Враховуючи тривалий характер зберігання вуглекислого газу, може виникнути необхідність у моніторингу місця зберігання протягом тривалих періодів часу.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			47

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ISO 14001:2015 – Environmental management systems. URL: <https://www.iso.org>.

2. Положення про Державну екологічну інспекцію України: Указ Президента України № 454 / 2011 від 13 квіт. 2011 р. Офіційний вісник України. 2011. № 29. С. 1260.

3. Про затвердження змін до Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів: наказ М-ва екології та природ, ресурсів України від 30 черв. 2011 р. № 220. Офіційний вісник України. 2011. № 58. Ст. 2331.

4. Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел: наказ М-ва охорони навкол. природи, середовища України від 27 черв. 2006 р. № 309. Офіційний вісник України. 2006. №31. Ст. 2259.

5. Про охорону атмосферного повітря: Закон України від 16 жовт. 1992 р. № 2707-ХІІ: за станом на 14 лип. 2016 р. Відомості Верховної Ради України. 1992. № 50. С. 678.

6. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25.06.1991 р. № 1264-ХІІ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>.

7. Проект Стратегії сталого розвитку України на період до 2030 року URL: http://www.ua.undp.org/content/dam/ukraine/docs/SD%20Project_Ukraine_version%203-2-1.pdf?download.

8. Ахмедов Р. Б. Автономное энергосбережение нефтяных месторождений с попутным производством CO2 с целью повышения нефтеотдачи и улучшения экологии. Нефтяное хозяйство. 1998. №9. С. 46-48.

Інв. № докл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № доубл.	Підп. і дата	20510030					Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	48

18. Екологічні аспекти – що вимагає стандарт? 2023. URL: <https://www.dqsglobal.com/uk-ua/navchajtesya/blog/ekologichni-aspekti-scho-vimagae-standart>.

19. Загвойська Л. Д., Пелюх О. Р. Епістемологічний інструментарій дослідження еколого-економічних систем. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2019. № 18. С. 154- 163.

20. Зміна клімату: причини та наслідки. URL: <https://www.ekoenergy.org/uk/extras/climate-change/>.

21. Зміна клімату в Україні та світі. URL: <https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html>.

22. Зміна клімату 2023: збільшення викидів внаслідок війни та прогнози. URL: <https://ecolog-ua.com/news/zmina-klimatu-2023-zbilshennya-vykydivvnaclidok-viyny-ta-prognozy>.

23. Іванюта С. П. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації : аналітична доповідь. К. : НІСД, 2020. 110 с.

24. Казанцев Т. Адаптація до змін клімату: Зелені зони міст на варті прохолоди. К., 2016. 40 с.

25. Каленська О. О. Еколого-економічна система регіону: визначення, структура, взаємодії. Вісник СумДУ. Сер. Економіка. 2016. № 1. С.83-84.

26. Кіт Уїрріскі. Уловлювання та зберігання вуглецю: Українські перспективи для промисловості та забезпечення енергетичної безпеки. Міжнародне екологічне об'єднання «Біллона». 2013. Осло. Норвегія. С. 48.

27. Класифікація небезпечних і шкідливих виробничих факторів. 2021. URL: <https://oppb.com.ua/articles/klasyfikaciya-nebezpechnyh-i-shkidlyvyh-vyrobnychyh-faktoriv>.

28. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату : колект. монографія. С. М. Степаненко та ін.; Одес. держ. екол. ун-т. Одеса : ТЕС, 2018. 546 с.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			50

29. Кліматологія : підруч. для студентів ВНЗ / О. О. Врублевська, Л. Д. Катеруша, Л. Д. Гончарова ; Одес. держ. екол. ун-т. Одеса : Екологія, 2018. 343 с.

30. Кузьменко О. К. Еколого-економічна система: поняття та структура. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2017. № 2. С. 217-221.

31. Листопад О. Новий погляд на зону, клімат і національні парки. Урядовий кур'єр. 2016. 17 серпня (№ 154). С. 3.

32. Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря: наказ Міністерства охорони навкол. природи, середовища України від 10 груд. 2008 р. № 639. Офіційний вісник України. 2009 №5. С. 151.

33. Мешеніна Н. В., Мареха І. С. Аналіз підходів до визначення еколого-економічних систем. Сталий розвиток та екологічна безпека суспільства в економічних трансформаціях: матеріали Другої наук.-практ. конф., 23-24 вересня 2010 р. Сімферополь: Фенікс, 2018. С.147-148.

34. Обиход Г. Організаційно-економічні механізми превентивації впливу кліматичних змін на урботоруральні території. Економіка природокористування і сталий розвиток. 2020. № 7 (26). С. 15–20.

35. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України у 2018 році. URL: http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1.

36. Олійник Я. Б. Основи екології. Київ : Знання, 2017. 558. с.

37. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна : наук.-метод. дослідження / О. Шевченко, О. Власюк, І. Ставчук, М. Ваколюк, М. Ілляш, А. Рожкова. К. : НЕЦУ, 2019. 72 с.

38. Панасюк Б. Я. Перспективи кліматичних змін на планеті Земля. Економіка АПК. 2021. № 4. С. 108–120.

39. Прентіс Е. Клімат для початківців; проіл. Е. П. Рамон ; пер. з англ. Т. Кузьменко. Київ : Книголав, 2021. 127 с.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			51

40. Природні ресурси і природно-ресурсний потенціал біосфери. Олійник Я. Б. Основи екології. Київ : Знання, 2017. С. 199-354.

41. Розум Р. І., Буряк М. В., Любезна І. В. Еколого-економічні системи: основні аспекти. Науковий огляд. Київ. 2015. № 6 (16). С. 33-49.

42. Устінова І. І. Збереження природно-ресурсного потенціалу в контексті змін клімату як шлях до системної екологізації середовища перебування людини. Екологічний вісник. 2016. № 3 (травень-червень). С. 4–5.

43. Фещенко О. Л., Каменева Н. В. Теоретичні засади визначення поняття еколого-економічної безпеки підприємства. Університетські наукові записки. 2017. № 1. С. 223-231.

44. Шеченко О. Сучасні шляхи врегулювання глобальної зміни клімату. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка : Міжнародні відносини. 2018. № 1/2 (47/48). С. 70–77.

45. Юрченко Л. І. Екологія. К. : ЦУЛ, 2019. 304 с.

46. Experience Nduagu, Joule Bergerson, Ron Zevenhoven. Life cycle assessment of CO2 sequestration in magnesium silicate rock – A comparative study. Energy Conversion and Management, 2017, Vol. 55, pp. 116-126.

47. Hsien H. Khoo and Reginald B. H. Tan. Life Cycle Investigation of CO2 Recovery and Sequestration. Environmental Science & Technology, 2019, Vol. 40, №12, pp. 4016-4024.

48. Hsien H.Khoo, Paul N.Sharratt, Jie Bu, Tze Y.Yeo, Armando Borgna, James G.Highfield, Thomas G.Bjorklof and Ron Zenenhoven. Carbon capture and mineralization in Singapore: preliminary environmental impacts and costs via LCA. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2019, Vol. 50, pp. 11350-11357.

49. Joris Koornneef, Andrea Ramirez, Toon van Harmelen, Arjan van Horssen, Wim Turkenburg, Andre Faaij. The impact of CO2 capture in the power and heat sector on the emission of SO2, NOx, particulate matter, volatile organic compounds and NH3 in the European Union. Atmospheric Environment, 2018. №44(11), Pp. 1369-1385.

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

						20510030	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			52

50. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. URL: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>.

51. Paris_agreement. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/parisagreement_publication.pdf.

52. 5 методів видалення вуглецю з атмосфери. 21.08.2023. URL: <https://www.imena.ua/blog/methods-of-carbon-removal/>.

53. 6 способів видалити забруднення вуглецю з неба. 30 ЧЕРВНЯ 2020. URL: <https://www.greenindustryplatform.org/uk/blog/6-ways-remove-carbon-pollution-sky>.

54. 26-а конференція учасників рамкової конвенції ООН щодо зміни клімату (COP26) у Глазго // Економіст. 2021. № 11. С. 4–6.

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата				
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	20510030			
					Арк			
					53			