

ТРАНСПОРТ

УДК 636.086.7

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/23>

Кірсанова В.В.

Дунайський інститут

Національного університету «Одеська морська академія»

СПОСОБИ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ ДІОКСИДУ КАРБОНУ

В останні десятиліття істотно збільшилася концентрація діоксиду карбону в атмосфері. Спостерігається підвищення середньої температури кліматичної системи Землі. Від діоксиду карбону залежать масштаби глобального потепління протягом століть пропорційно його концентрації в атмосфері. Мета наших досліджень – аналіз можливих способів нейтралізації діоксиду карбону, а також скорочення викидів двоокису карбону, зокрема, під час експлуатації водного транспорту.

Розглянуто методи фіксації CO₂ і його використання як сировини. В результаті численних досліджень доведено, що двоокис карбону може стати в найближчі роки одним із найбільш важливих сировинних матеріалів у хімічній промисловості. У Сіднейському університеті розроблено метод уловлювання вуглецю, аналогічний фотосинтезу. Для широкого застосування результатів досліджень необхідно розробити технологічні процеси синтезу каталізаторів і конструкцію реактора для великомасштабної конверсії.

У Сінгапурі опублікована робота в журналі Science Advances, в якій повідомляється, що за впливу видимого світла матеріал «губчастий» нікель органічної кристалічної структури перетворив діоксид карбону (CO₂) в реакційній камері виключно в оксид карбону (CO) газу, який може бути додатково перетворений у рідке паливо, розчинники, а також інші корисні продукти.

У Тихоокеанській північно-західній національній лабораторії під керівництвом доктора Джона Лінехана і доктора Аарона Аппеля перетворюють вуглекислий газ у форміат. У каталізаторі використовується нікель, набагато більш доступний, ніж платина та інші рідкісні метали, і використовує бікарбонат натрію як основу, а не хімічні речовини, які коштують дорого.

Інтерес становить можливість фіксації діоксиду карбону під час вирощування мікроводоростей, які характеризуються більш інтенсивним зростанням порівняно з вищими рослинами.

Обговорено способи збільшення енергоефективності під час експлуатації водного транспорту. Наведено ключові моменти плану управління енергоефективністю судна. Рекомендовано судовласникам і морським транспортним організаціям зосередити свою увагу на низці ключових моментів, а саме: ефективному витрачанні палива, дизайні корпусу і рухової установки, обслуговуванні та експлуатації механізмів і обладнання, управлінні судном і флотом, оптимізації вантажних операцій, енергопостачанні та кадровій підготовці.

Кайт-вітрило на малих суднах і ротор Флеттнера на великих суднах розглянуто як елементи нейтралізації діоксиду карбону.

Розроблення технологічних способів фіксації CO₂ в поєднанні з розробленням технологічних способів збільшення енергоефективності дадуть змогу зменшити концентрацію і досягти нейтральності діоксиду карбону.

Ключові слова: глобальне потепління, абсорбція двоокису карбону, енергоефективність судна, енергія вітру.

Постановка проблеми. Із середини 70-х рр. ХХ ст. спостерігається підвищення середньої температури кліматичної системи Землі. Було встановлено, що накопичені парникові гази внаслідок антропогенного впливу є основною причиною виникнення цієї екологічної проблеми. Парникові гази частково поглинаючи інфрачервоне випромінювання утримують у нижніх шарах атмосфери

енергію, що йде в космос. У результаті спостерігається нерівномірний обігрів атмосфери [1; 2].

Наслідками глобального потепління є підвищення рівня моря, зміна кількості опадів, збільшення територій пустелі. Також до наслідків потепління належать такі: збільшення частоти екстремальних погодних явищ, включно з посухами та повенями; окислення океану, вимирання

біологічних видів через зміну температурного режиму. До важливих для людства наслідків належить загроза продовольчій безпеці і втрата місць проживання людей.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. У статті проводиться аналіз можливості нейтралізації, а також скорочення викидів двоокису карбону, зокрема, під час експлуатації водного транспорту.

Новизна статті полягає в констатації факту, згідно з яким діоксид карбону, який становить 72% від загальної кількості парникових газів, може бути зафіксованим різними способами, зокрема під час експлуатації водного транспорту і використаний як сировина.

Методологічне або загальнонаукове значення полягає в дослідженні методів фіксації діоксиду карбону з метою його використання як сировини в промисловості та для вирощування водоростей, а також в аналізі способів енергоефективності під час експлуатації водного транспорту з метою зменшення діоксиду карбону в атмосфері.

Виклад основного матеріалу дослідження. Діоксид карбону фактором зміни клімату став із моменту початку спалювання вугілля і вуглеводнів у промислових масштабах. З початку індустріалізації концентрація двоокису карбону в атмосфері підвищилася з 280 ppm в 1880 році до 440 ppm у 2018 році. Середня температура поверхні Землі зросла на один градус, і швидкість її збільшення зростає. Якщо тенденція продовжиться, ситуація може вийти з-під контролю. Тому стабілізація клімату передбачає скорочення викидів двоокису карбону до обсягів, які в змозі абсорбувати біосфера. Щоб уникнути незворотних порушень кліматичних процесів, наш економічний уклад повинен стати карбоно нейтральним не пізніше 2050 року [3; 4].

Найперспективніший шлях – заміна викопних джерел енергії поновлюваними. Оскільки стабілізація клімату залежить від інтенсивності скорочення CO₂, в останні роки ведуться дослідження в галузі фіксації та вторинної переробки двоокису карбону. Якщо так вдасться на стабільній основі накопичувати CO₂ з атмосфери або замінити викопні джерела енергії оксидом карбону, навантаження на клімат зменшиться. В результаті численних досліджень підтверджена концепція: двоокис карбону може стати в найближчі роки одним із найбільш важливих сировинних матеріалів у хімічній промисловості. Розроблено технології виробництва двадцяти шести будівельних мате-

ріалів, виробництва пластика з двоокису карбону. Розчинник на основі CO₂ використовується під час видалення кофеїну з кави.

Використання вуглекислого газу як поживної речовини під час вирощування мікродоростей збільшує їхню врожайність приблизно в п'ятеро. При цьому скорочення викидів діоксиду карбону поєднується із збільшенням виробництва необхідної для промисловості та сільського господарства біомаси [5; 9].

Ширшому застосуванню діоксиду карбону заважає його стійкість. Його взаємодія з іншими хімічними сполуками можливі за високих температур і під високим тиском. Тому важливо розробляти біохімічні каталізatori і процеси, які прискорять реакцію двоокису вуглецю з іншими речовинами, що дасть змогу знизити енергоспоживання. Використовуючи спеціальні каталізatori, вже сьогодні можна підвищити реактивність CO₂ і скоротити енергоспоживання.

Професор Цзюнь Хуан зі Школи хімічного і біомолекулярного інжинірингу Сіднейського університету розробив метод уловлювання вуглецю, за якого діоксид вуглецю (CO₂) перетворюється в сировину, яку можна використовувати для створення палива і хімічних речовин. Розроблено метод аналогічний фотосинтезу. Діоксид карбону може бути використаний як вуглецева сировина або хімічний прекурсор палива. Для широкого застосування результатів досліджень необхідно розробити технологічні процеси синтезу каталізatori і конструкцію реактора для великомасштабної конверсії [6].

Каталізатор команди вчених Тихоокеанської північно-західної національної лабораторії під керівництвом доктора Джона Лінехана і доктора Аарона Аппеля перетворює вуглекислий газ у форміат. Ця каталітична система використовує воду, яка є зеленим розчинником. У каталізаторі використовується нікель, набагато доступніший, ніж платина та інші рідкісні метали, і бікарбонат натрію як основа, а не хімічні речовини, які коштують дорого [7].

Міжнародна дослідницька група на чолі з ученими з Національної лабораторії енергетики ім. Ловренса Берклі (Berkeley Lab) і Технологічного університету Наньян (NTU) в Сінгапурі опублікувала роботу в журналі Science Advances, в якій повідомляється, що за впливу видимого світла матеріал «губчастий» нікель органічної кристалічної структури перетворив діоксид карбону (CO₂) в реакційній камері виключно в оксид карбону (CO) газу, який може бути додатково

перетворений у рідке паливо, розчинники, а також інші корисні продукти [8].

Спостерігаємо значущі результати досліджень у галузі абсорбції двоокису карбону, які в перспективі дають змогу скоротити його викиди і перетворити CO₂ в доступну та дешеву сировину.

Однак сукупність усіх цих технологічних процесів не може стати єдиною альтернативою поновлюваних джерел енергії. Оскільки до 2050 року необхідно скоротити викиди двоокису карбону на 50%, адсорбцію необхідно розробити, зокрема, і для транспорту і поєднувати зі зменшенням викидів шляхом використання відновлюваних джерел енергії.

Ми проаналізували розвиток вимог до енергоефективності водного транспорту. Міжнародна морська організація (далі – ІМО), до складу якої входить комітет по захисту навколишнього середовища (Мерс) розробила план управління енергоефективністю судна. У травні 2016 року на щорічному засіданні Міжнародного транспортного форуму (ITF) в Лейпцігу обговорювався типовий план із забезпечення енергоефективності судна (Ship Energy Efficiency Management Plan) і операційного індикатора ефективності судна (Ship Energy Operational Indicator). На цьому ж форумі було представлено напрацювання практичних рекомендацій щодо оптимізації енергоефективності використання судів від Міжнародної шипінгової палати (ICS) У жовтні того ж року Мерс опублікував Резолюцію 282(70) Настанова 2016 року з розроблення плану управління енергоефективністю судна (ПУЕС).

План Управління енергоефективності судна є обов'язковим для судів із валовою місткістю понад 400 тонн. Метою ПУЕС є оцінка і контроль ефективності використання судів і енергоресурсів. У ньому вказується на необхідність надання допомоги компанії тагалузі в управлінні екологічними показниками судів і вказується на те, що ця ефективність експлуатації зробить неоцінений внесок у зниження світових викидів двоокису карбону [10].

На думку експертів Міжнародної морської організації, досягнення оптимальної енергоефективності за використання й управління судна можливе у разі наявності комплексного підходу до вирішення цієї проблеми. Автори Плану управління енергоефективністю судна рекомендують судновласникам і морським транспортним організаціям зосередити свою увагу на низці ключових моментів, а саме: ефективне витрачання палива, дизайн корпусу і рухової установки, обслуговування та експлуатація механізмів і обладнання,

управління судном і флотом, оптимізація вантажних операцій, енергопостачання та кадрова підготовка. Міжнародна шипінгова палата до головних умов зменшення викидів двоокису карбону відносить такі: зниження швидкості руху, оптимізацію водного баласту і маршрутів з урахуванням погодних умов, своєчасність заходу судна в порт, застосування нових видів палива. Такі заходи, за оцінками експертів, зможуть скоротити викиди газів на 50% до 2050 року.

У судноплаванні вже сьогодні використовуються нетрадиційні шляхи енергоефективності судна, зокрема енергія вітру. Аналізуючи чинні розробки, доходимо висновку, що вітроенергетика є однією з перспективних технологій судноплавання. Сучасні технології та інновації дають можливість використовувати енергію вітру більш ефективно, ніж традиційні вітрила. У 2016 році була опублікована доповідь незалежної науково-дослідницької консалтингової організації, що спеціалізується на розробленні інноваційних рішень екологічних проблем PC Deifi. Було проаналізовано чотири види сучасних вітряних установок: жорсткі вітрила, буксирувальні кайти, ротори і вітрові турбіни. Найкращі показники економії палива для великих суден досягнуто під час застосування Ротора Флеттнера, а для малих суден – Кайт-вітрила.

Кайт-вітрило генерує в 25 разів більше тягове зусилля на квадратний метр площі порівняно зі звичайним вітрилом. У разі сильного вітру відповідає потужності приводу до 2000 кВт. Уперше система кайт-парус була встановлена на вантажному судні «Michel». Сьогодні кайт-парус успішно застосовується на малогабаритних судах. Установка цієї технології не потребує висновку судна з експлуатації, можливість монтажу не залежить від року побудови судна. Немає необхідності в збільшенні штату екіпажу для обслуговування та експлуатації установки. Під час використання системи кайт-вітрила економія палива становить від 10 до 20%, при цьому вона не впливає на остійність судна. Отже, не впливає на безпеку плавання, оскільки не провокує крен і не змінює габарити судна. З урахуванням глобального потепління систему кайт-вітрило слід більш широко застосовувати і вдосконалювати [11].

На великогабаритних судах сьогодні встановлюються ротори Флеттнера, засновані на використанні ефекту Магнуса. Ротори Флеттнера були встановлені в 1924 на судні «Баку», яке в 1926 році здійснило рейс з Європи в Америку через Атлантичний океан. Економічна криза кінця

1920-х років зупинила розвиток технології використання роторів на судах Enercoson. На ньому встановлено чотири ротори типу Флеттнер, висотою 27 метрів і в діаметрі 4 метри, що встановлено на верхній палубі. Двигунами служать дев'ять силових установок Mitsubishi, ротори обертаються за допомогою парової турбіни виробництва Siemens, яка працює від відпрацьованих газів. Сьогодні ця технологія дає змогу зекономити паливо на 15%. Передбачається, що роторні вітрила можуть досягти до 30–40% економії. Застосування технології використання ефекту Магнуса можливе на нових судах, від самого початку для цього спроектованих. Раніше побудовані судна вимагають серйозних конструктивних змін і великих капіталовкладень. Модернізація і переобладнання вже побудованих суден економічно недоцільна [12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема досягнення карбону нейтральності є глобальною. Споживання енергії на душу населення неухильно зростає, і це зростання поєднується з ростом чисельності населення. Вископні джерела енергії утворюють надмірну кількість діоксиду карбону, який накопичується в атмосфері. Його зменшення в атмосфері можливе завдяки використанню відновлюваних джерел енергії. Однак альтернативні джерела енергії не в змозі повністю замінити вископні джерела. На нашу думку, доцільно фіксувати частину діоксиду карбону для його зменшення в атмосфері. Становлять інтерес результати досліджень, згідно з якими можливе перетворення діоксиду карбону в метанол. Є перспективним метод фіксації CO₂ аналогічний фотосинтезу. Для зменшення викидів під час експлуатації водного транспорту найбільш перспективним є матеріал «губчастий» нікель органічної кристалічної структури, який перетворив діоксид карбону (CO₂) в реакційній камері

виключно в оксид карбону (CO) газу, що може бути додатково перетворений у рідке паливо. Під час розроблення доступних технологій отримання палива з CO₂ безпосередньо під час експлуатації судна і взагалі під час будь-яких викидів діоксиду карбону дасть змогу істотно зменшити концентрацію діоксиду карбону в атмосфері.

Було проаналізовано види сучасних вітряних установок: жорсткі вітрила, буксирувальні кайти, ротори і вітрові турбіни. В результаті сьогодні застосовуються ротори Флеттнера, а для малих суден – Кайт-вітрила. Однак під час експлуатації водного транспорту не використано всі можливості впровадження альтернативних джерел, а отже – всі можливості збільшення енергоефективності. Перспективи використання результатів дослідження полягають у розробленні способів фіксації діоксиду карбону під час експлуатації водного транспорту, а також мають значення під час розроблення методів використання енергії.

Висновки. Надмірне накопичення діоксиду карбону в атмосфері є причиною підвищення середньої температури кліматичної системи Землі. Ця екологічна проблема може стати причиною загибелі живої матерії на Землі. Глобальне зобов'язання скоротити викиди двоокису карбону на 50% не пізніше 2050 є проблемою, яку важко досягти, оскільки з кожним роком збільшуються потреби в енергії. Вирішення цієї проблеми можливе під час використання поновлюваних джерел у поєднанні з успішною та інтенсивною фіксацією діоксиду карбону в атмосфері та ефективним використанням енергії. Перспективи використання результатів дослідження полягають у розробленні способів фіксації діоксиду карбону під час експлуатації водного транспорту, а також мають значення під час розроблення методів використання енергії вітру.

Список літератури:

1. Білявський Г.О. Основи екології. Київ : Лібра, 2006. С. 64–71.
2. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього середовища. Київ : Знання, 2007. С. 347–354.
3. Голледж Н.Р., Келлер Е.Д., Гомес Н. и соавт. Глобальные экологические последствия таяния ледникового покрова XXI века. *Nature*. 2019/ № 566(7742). Р. 65–72. DOI: 10.1038
4. Аномальная жара приходит все чаще в европейские дома, вынуждая их приспособиться к новому климату URL: <https://ru.euronews.com/2019/10/07/abnormal-heat-comes-to-european-cities-more-often-forcing-them-to-adapt-to-the-new-climat> (дата звернення: 05.11.19).
5. Хан М.И., Шин Дж.Х., Ким Дж.Д. Многообещающее будущее микроводорослей: текущее состояние, проблемы и оптимизация устойчивой и возобновляемой промышленности для производства биотоплива, кормов и других продуктов. *Microb Cell Fact* . 2018. № 17 (1): 36. DOI: 10.1186 / s12934-018-0879-x.
6. Haitao Li et al. Квантовые точки углерода и оксид меди с двойной защитой углеродного слоя для эффективного уменьшения CO₂ в видимом свете. 2019. *Chemical Communications*. DOI: 10.1039/c9cc00830f.
7. Samantha A. Burgess et al. Гидрирование CO₂ в воде с использованием бис (дифосфин) Ni – Н комплекса. *ACS Catalysis*. 2017. DOI: 10.1021/acscatal.7b00350.

8. Губчатый никель-органический фотокатализатор восстановления CO₂ для почти 100% селективного производства CO₂. *Science Advances*. 2017. advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700921

9. Halley E. Froehlich и др. Потенциал синего роста для смягчения последствий изменения климата посредством компенсации морских водорослей. *Current Biology*. 2019. DOI: 10.1016/j.c.201.201.07.041.

10. Горб С. Новые правила энергоэффективности для судов. *Порты Украины*. 2013. №1 (123). С. 34–35.

11. Ветряные фрахтовщики. URL: <https://phys.org/news/2015-01-wind-powered-freighters.html> (дата звернення 11.11.19).

12. Максимов С.Б. Использование энергии ветра – один из потенциальных путей повышения энергоэффективности морских судов. *VIII Міжнародна науково-практична конференція Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту. Збірник тез доповідей*. Ізмаїл, 2017. С. 172–176.

Kirsanova V.V. METHODS OF NEUTRALIZING CARBON DIOXIDE

In recent decades, the concentration of carbon dioxide in the atmosphere has increased significantly. An increase of the average temperature of the Earth's climate system is observed. The concentration in the atmosphere of carbon dioxide leads to global warming during the centuries. The purpose of our research is to analyze a possible way to neutralize carbon dioxide, as well as to reduce its emissions while operating water transport.

The methods of CO₂ fixation and its use as raw materials are considered. It is noted that carbon dioxide can become one of the most important raw materials in the chemical industry in the coming years.

University of Sydney has developed a method of capturing, carbon, which is similar to photosynthesis. For widespread use of research results, it is necessary to develop technological processes for the synthesis of catalysts and the design of a reactor for large-scale conversion.

In Singapore it is published the work in the journal Science Advances, in which it is reported that when exposed to visible light, the material "spongy" nickel of the organic crystal structure, has converted carbon dioxide (CO₂) in the reaction chamber exclusively into carbon monoxide (CO) gas, which can be further converted into liquid fuel, solvents and other useful products.

The Pacific Northwest National Laboratory, led by Dr. John Linehan and Dr. Aaron Appel, converts carbon dioxide into formate. In the catalyst it is used nickel, which is much more affordable than platinum and other rare metals and it is used sodium bicarbonate as the base, rather than chemicals that are expensive.

The possibility of fixing carbon dioxide during the cultivation of micro seaweeds, which are characterized by more intensive growth in comparison with higher plants is the subject of our scientific research.

The methods of increasing energy efficiency in the operation of water transport are analyzed. The key points of the ship's energy efficiency management plan are presented. It was recommended to ship owners and marine transport organizations to focus on a number of key points, namely: efficient fuel consumption, hull and propulsion system design, maintenance and operation of mechanisms and equipment, ship and fleet management, optimization of cargo operations, energy supply and personnel training.

Kite-sails on small vessels and the Flettner's rotor on large vessels are considered as carbon dioxide neutralization elements.

The development of technological methods for fixing CO₂ in combination with the development of technological methods of increasing energy efficiency will reduce the concentration and achieve neutrality of carbon dioxide.

Key words: global warming, carbon dioxide absorption, ship energy efficiency, wind energy.