

**Вострякова В. І.**

*кандидат економічних наук, докторант  
кафедри економіки підприємства і виробничого менеджменту  
Вінницького національного технічного університету*

**Vostriakova Viktoriia**

*Candidate of Economic Sciences, Doctoral Student at the  
Department of Enterprise Economics and Production Management  
Vinnytsia National Technical University*

## РОЛЬ СТАЛОЇ БІОЕКОНОМІЧНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ У ДОВГОСТРОКОВІЙ СТРАТЕГІЇ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ

**Анотація.** Біоекономічна трансформація промисловості не в змозі охопити усі сучасні галузі національної економіки, що використовують викопне паливо у виробничому процесі. Зокрема, у паливно-енергетичному комплексі, основною сировиною якого є викопне паливо, тому необхідно широко проваджувати безвуглецеві альтернативи. У майбутньому постане питання інтеграції енергетичного сектору в кругові ланцюги створення вартості природного вуглецевого циклу (біомаси) і замкнених циклів переробки відходів виробництва і вловлювання та утилізації вуглецю. Однак сьогодні в Україні політика декарбонізації не має практичної підтримки на законодавчому рівні та зводиться лише до інтенсифікації використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), тому актуальним є дослідження внеску ВДЕ у досягнення цілей декарбонізації та дослідження альтернативних технологій політики декарбонізації, які можуть прискорити трансформацію у напрямку стійкої промислової біоекономіки. Метою статті є дослідження взаємозв'язків між споживанням і виробництвом ВДЕ та викидами CO<sub>2</sub> країн, які найбільше інвестують у розвиток відновлювальної енергетики (США, ЄС, Китай) та дослідження існуючих напрямків політики декарбонізації у світі в процесі біоекономічної трансформації промисловості. Інформаційною базою дослідження є дані Світового банку за 1990–2015 рр. Дослідження проведено з використанням методології лінійного регресійного моделювання. Отримані результати засвідчують той факт, що моделі є адекватними лише на для країн з часткою виробництва та споживання відновлюваної енергії близькою до 30%, для інших країн модель є ненадійною через низький коефіцієнт детермінації. Найбільш репрезентативним виявилось дослідження даних країн ЄС. На основі проведеного теоретичного аналізу закордонних джерел, визначено найбільш перспективні напрямки біоекономічної трансформації галузей промисловості.

**Ключові слова:** декарбонізація, біоекономіка, трансформація, вуглець, утилізація, вловлювання

**Вступ та постановка проблеми.** Біоекономічна трансформація галузей національного господарства, що базуються на викопному паливі, та переведення промисловості на стійку сировинну базу є фундаментальним викликом на найближчі десятиліття. Така трансформація є необхідною через значні викиди вуглецю в лінійних ланцюгах доданої вартості традиційної економіки, заснованої на викопному паливі. Швидкість викидів вуглецю з виробничої сировини в атмосферу у формі CO<sub>2</sub> значно перевищує можливості природного циклу та зберігання вуглецю. В атмосфері зростає концентрація CO<sub>2</sub>, що, як наслідок, призводить до глобального потепління. Отже, трансформація економічної системи, що базується на циркулярних ланцюгах створення вартості та допомагають створити замкнений виробничий цикл та знизити рівень викидів вуглецю, є необхідною передумовою подальшого сталого розвитку. У нашому дослідженні розглядається внесок виробництва та використання ВДЕ на зниження рівня CO<sub>2</sub> та проведено огляд існуючих технологічних можливостей сталої біоекономічної трансформації.

Згідно з чинним визначенням ЄС, біоекономіка базується на вуглецевих та енергетичних ресурсах, отриманих у результаті природного фотосинтетичного циклу вуглецю, а саме «біологічних ресурсах суходолу та водних об'єктів, та включають сільськогосподарські культури, ліси, рибу, тварин та мікроорганізми» [1]. Такі біологічні ресурси можна використовувати у виробничому процесі продуктів харчування, матеріалів, хімічних речовин, палива та енергії, а вуглець, який вони містять, повертається у природний колообіг вуглецю після його використання або утилізації вироблених продуктів. Таким чином, модель біоекономіки ідеально замикає вуглецевий цикл і запобігає накопиченню CO<sub>2</sub> в атмосфері.

Продовольчий (сільське господарство, рибальство, виробництво продуктів харчування, кормів, напоїв) та біогенний (лісове господарство, деревообробний, целюлозний тощо) сектори економіки є традиційною частиною біоекономіки. Крім того, майбутня індустріальна біоекономіка повинна повністю або частково інтегрувати галузі, які сьогодні все ще використовують викопну сировину. Враховуючи масштаби цих промислових секторів, їх швидка інтеграція є проблематичною. Для забезпечення сталої біоекономічної трансформації таких галузей, необхідно поступово адаптувати масштаби переорієнтації промисловості від викопної сировини до біогенної.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процес розвитку біоекономічної думки в Україні знаходиться на початковому етапі формування та адаптації підходів та концепцій до українських реалій. Вітчизняна наукова думка представлена висвітленням біоекономічного потенціалу аграрного сектору економіки такими вченими як Літвак О.А. [2], Байдала В.В. [3], Макарчук О.Г. [4], Талавири М.П. [5], в той час як поняття промислової біоекономіки досліджується не достатньо. Однак закордонні науковці стверджують, що сьогодні світова економіка споживає майже вдвічі більше вуглецю з викопних джерел, ніж увесь лісовий та сільськогосподарський сектор виробляє у вигляді біомаси [6]. Біогенна сировина може замінити викопну, однак зниження вуглецевих викидів буде лише вдвічі меншим, а її переробка супроводжуватиметься значними втратами вуглецю. Для заміни сучасної потреби у викопній сировині біогенними джерелами, за деякими оцінками [7], виробництво біомаси необхідно збільшити більше, ніж у 5 разів, що є неможливим з огляду на екологічні фактори. Фактично, жодна з понад

40 схвалених національних біоекономічних стратегій, не передбачає такого розвитку [8]. Усі ці суперечності вимагають критичного аналізу використання вуглецю. В усьому світі більше 90% виробленої сировини припадає на паливно-енергетичний сектор; менше ніж 10% постає у промисловість, здебільшого у хімічну, і зовсім незначна частка припадає на будівельну галузь [9]. На відміну від органічної хімії, яка покладається на вуглець, енергетичний сектор, включаючи альтернативну енергетику, все ж має безвуглецеві альтернативи. У енергетичному секторі також широко використовують непродовольчу біомасу. Однак тут постає інше питання – раціональне використання сільськогосподарських земель та продовольча безпека. Адаже інтенсифікація використання землі для промислових цілей і нарощування виробництва енергетичних культур матиме зворотній до сталого ефект. Викиди парникових газів від землекористування також є фактором стійкості, який не можна недооцінювати. Певною мірою процес виділення вуглецю є неминучим, його потрібно компенсувати за рахунок спорудження поглиначів CO<sub>2</sub>. Тому процес біоекономічної трансформації промисловості повинен передусім включати розробку власних сталих ланцюгів доданої вартості, що не завдають шкоди довкіллю. Технічні можливості для цього постійно розширюються [10], однак для їх ефективного впровадження в Україні необхідно сформулювати та адаптувати нормативну базу у відповідності до вимог ЄС.

**Метою статті** є дослідження взаємозв'язків між споживанням і виробництвом ВДЕ та викидами CO<sub>2</sub> країн, які найбільше інвестують у розвиток відновлювальної енергетики (США, ЄС, Китай) та дослідження існуючих напрямків політики декарбонізації у світі в процесі біоекономічної трансформації промисловості.

**Методологія.** У проведеному дослідженні альтернативна енергетика у двох проєкціях: з точки зору чистої енергетики – REO (Renewable Energy Output) та сталої енергетики – REC (Renewable Energy Consumption). Показник чистої енергетики вимірюється як частка електроенергії, виробленої ВДЕ, у загальній кількості електроенергії, виробленої усіма типами генерації. Показник сталої енергетики вимірюється являє собою частку споживання альтернативної енергії, у загальному споживанні. Рівень декарбонізації вимірюється за рахунок зниження викидів CO<sub>2</sub>. Інформаційною базою дослідження є щорічні дані бази даних Світового банку [11] (з 1990 по 2015 рр.) показників досліджуваних країн-лідерів за залученням інвестиційних потоків у ВДЕ (США, Європейський Союз, Китай) для порівняння з Україною та Росією. Для цілей дослідження використано рівняння лінійної регресії виду (1)

$$Y_i = a_1 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} \quad (1)$$

де  $Y$  – викиди CO<sub>2</sub>, показник для вимірювання рівня декарбонізації;  $X_1$  представляє частку REC у загальному споживанні енергії, а  $X_2$  – частку REO у загальному обсязі виробництва енергії,  $\beta_1$  та  $\beta_2$  – їх відповідні коефіцієнти.

**Результати дослідження.** Сучасні умови розвитку суспільства ставлять світ перед важким, але надзвичайно важливим вибором – вибором майбутнього для себе та для наступних поколінь. І вибір цей полягає в стратегії розвитку енергетичного сектору: продовжувати підтримку екстенсивної традиційної енергетики з використанням вичерпного, а отже й стабільно зростаючого в ціні викопного палива або переходити до якісно нового та економічно-екологічно обґрунтованого використання відновлюваних джерел енергії.

Оскільки рівень добробуту населення планети поступово збільшується і світова економіка розвивається, глобальний попит на енергію встановиться протягом найближчих десятиліть. Вплив цих процесів на клімат ставить

нас перед вибором джерел генерації електроенергії і вирішальне значення в цьому процесі займає співвідношення того, скільки ми споживаємо в порівнянні з тим, скільки ми економімо та як це впливатиме на якість життя наступних поколінь. Тому важливим в процесі біоекономічної трансформації є аналіз впливу відновлювальної енергетики, як однієї зі складових біоекономічної трансформації промисловості, на довгострокові стратегії декарбонізації, тобто оцінка впливу частки REC та REO на стан навколишнього природного середовища, а саме на викиди CO<sub>2</sub>. На рис. 1. представлено результати проведеного кореляційно-регресійного аналізу досліджуваних країн.

Відповідно до отриманих результатів можна сказати, що модель адекватна для країн з часткою REC та REO близькою до 30% у загальному споживанні. Для інших країн модель ненадійна через низький коефіцієнт детермінації. Найбільш очевидний ефект від скорочення викидів CO<sub>2</sub> із збільшенням споживання та виробництва відновлюваної енергії для країн ЄС. Дані, отримані для Китаю, демонструють той факт, що виробництво відновлюваної енергії може мати протилежний ефект і призвести до збільшення викидів CO<sub>2</sub>, що безпосередньо пов'язано з тим, що Китай є одним з лідерів по виробництву устаткування, зокрема для фотоелектричних станцій, що потребує значного зростання видобутку корисних копалин, що відповідно супроводжується збільшенням викидів CO<sub>2</sub>. Однак для більш точного порівняння необхідно врахувати рівень промислового виробництва країн.

Згідно дослідження «Енергетичний Дарвінізм II» [12], витрати, необхідні для переходу на енергію з низьким вмістом вуглецю, складуть протягом наступної чверті століття 190,2 трлн доларів, що значно менше вартості продовження використання традиційних видів палива (192,0 трлн доларів). Такі цифри обумовлені швидким зниженням витрат на поновлювані джерела енергії, скороченням споживання палива завдяки інвестиціям в підвищення заходів з енергоефективності і відповідно скорочення паливної складової у вартості електроенергії. В результаті цього у довгостроковій перспективі рахунки споживачів зменшаться. Уже сьогодні ми спостерігаємо значне зниження цін на альтернативну енергетику (рис. 2).

За даними рис. 2. сонячні фотоелектричні (PV) модулі впали у ціні більш ніж на 80 % між 2010 і 2017 роками, разом з тим середня вартість виробленої кВт-год знизилася на 73 % до 0,10 дол. США (LCOE), з потенціалом подальшого зниження до 0,03 дол. США за правильних умов експлуатації. Вітрова енергія також демонструвала значне зниження вартості за кВт-год до глобального середньозваженого значення у 0,06 доларів США (LCOE), що на 23 % нижче, ніж у 2010 році, при цьому деякі проєкти регулярно постачали електроенергію по 0,04 дол. США за кВт-год. Отже, різке падіння вартості використання поновлюваних джерел енергії роблять не просто можливим глобальний перехід на ВДЕ в процесі біоекономічної трансформації промисловості, а й менш затратним. Ще в 2014 році вартість технологій ВДЕ була економічно вигіднішою за традиційну енергетику, а з поступовим щорічним здешевленням «зелена» енергетика стає безальтернативною. Так, енергія вітру в багатьох регіонах світу є найдешевшою технологією, в основному через зниження цін на вітрові турбіни (майже на третину за останні 6 років). За прогнозами Bloomberg, потужність вітру в усьому світі може досягти більше 2000 ГВт у 2040 році (в порівнянні з ~ 370 ГВт наприкінці 2014 року) [13]. В той час як нове будівництво в секторі сонячної енергетики в усьому світі зростає майже до 5000 ГВт встановленої потужності до 2040 (у порівнянні з 177 ГВт у 2014 році). Загалом, про-

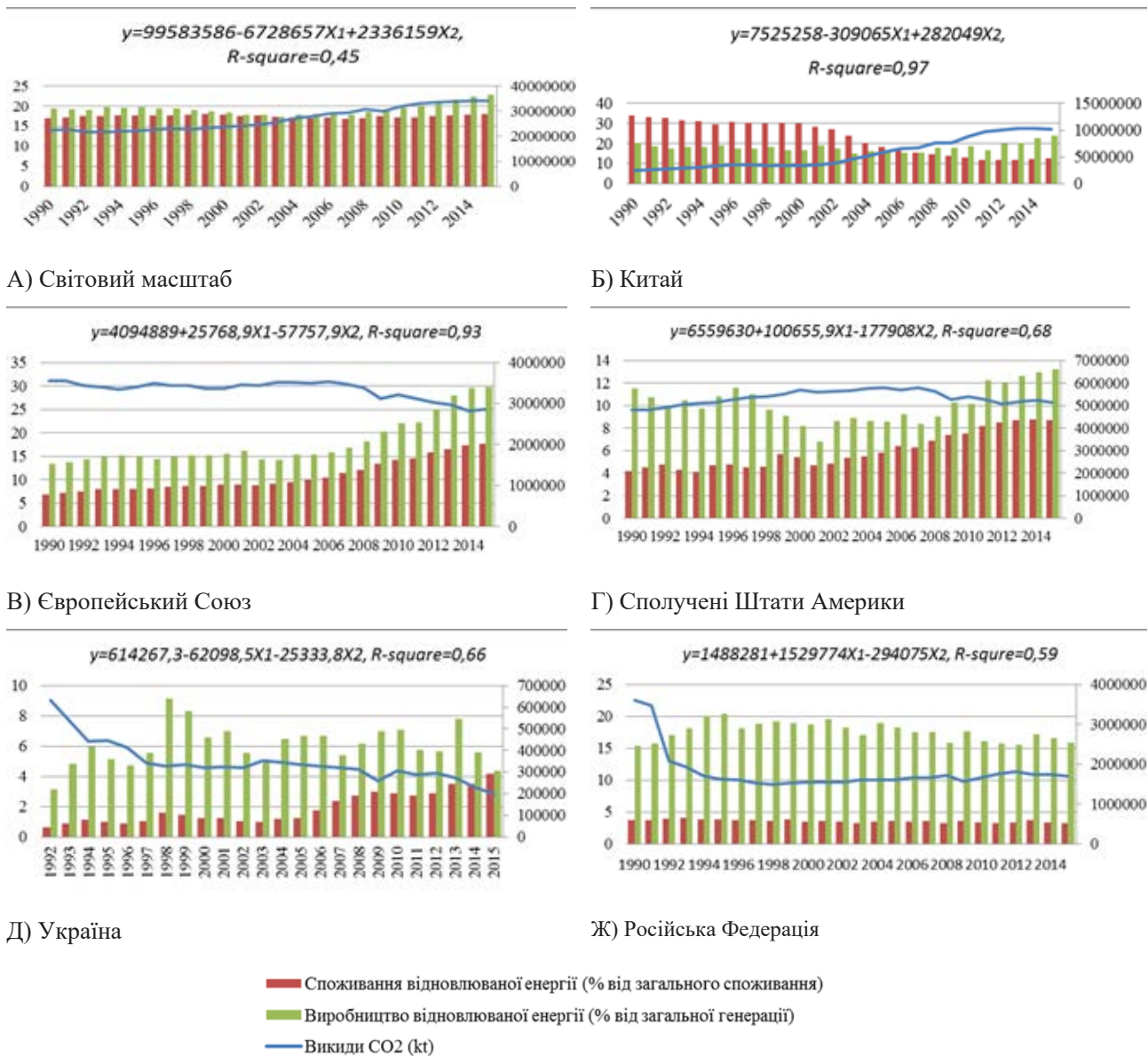


Рис. 1. Вплив REC та REO на викиди CO<sub>2</sub> досліджуваних наборів даних країн за 1990–2015 рр.

Джерело: власні розрахунки автора [11]

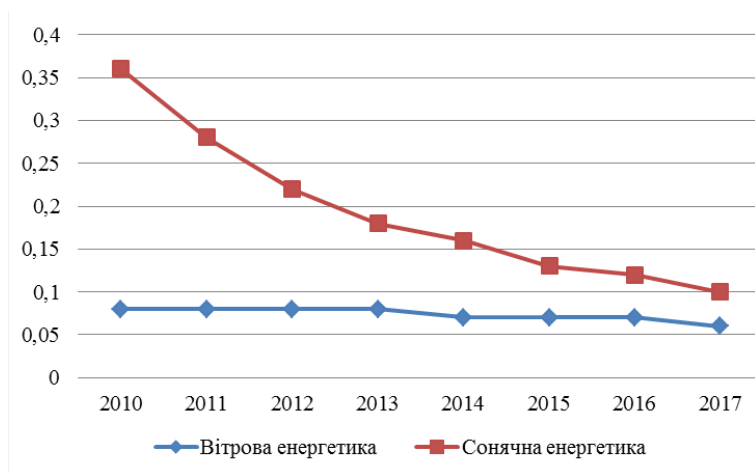


Рис. 2. Динаміка вартості виробництва електроенергії (LCOE) (дол. США/кВт-год)

Джерело: [13]

гнозована частка ВДЕ (сонця, вітру, гідро) у Європі може скласти близько 70% до 2040 року.

Крім того, іншими варіантами зниження вуглецевого сліду є використання інших сучасних технологій вловлювання, зберігання та утилізації вуглецю, до прикладу. На основі теоретичного аналізу закордонних літературних джерел, нормативних та програмних документів нами виокремлено пріоритетні напрямки біоекономічної трансформації промисловості (таблиця 1).

Очікується, що технології уловлювання та утилізації вуглецю (CCU) стануть актуальними в ході біоекономічної трансформації промисловості на засадах сталого розвитку. Науковці вважають, що 26% вуглецю, необхідного для світового виробництва пластмас, буде перероблятися за допомогою CCU [9, 16]. Однак постає інша проблема – зростання потреби в енергії для виробництва водню. Для задоволення очікуваного значного попиту на енергію, відповідно на водень, необхідно об'єднати як європейські, так і неєвропейські потужності [20].

Цікаві пілотні проекти реалізують у Саудівській Аравії [21] і Марокко [19]. У якості джерел біогенного вуглецю використовують частково висококонцентровані викиди CO<sub>2</sub> з ферментаційних заводів. Для того, щоб збільшити потік CO<sub>2</sub> з порівняно невеликих біогазових заводів, їх поєднують у мережу. У США провели дослідження про те, що 60% викидів CO<sub>2</sub> від 216 існуючих біопереробних заводів можна було б уловити та стиснути для транспортування трубопроводом за ціною менше 25 доларів США/т CO<sub>2</sub> [22]. Усі ці приклади засвідчують той факт, що на етапі переходу до біоекономіки викиди вуглецю від спалювання викопних джерел енергії, можуть бути доповнені процесами декарбонізації, які також мають місце в біоекономічній трансформації, зокрема і отримання етанолу із синтез-газу (CO) сталеливарних заводів [23], що виробляють «зелену» сталь.

Технології уловлювання та зберігання вуглецю CCS визнані кліматично нейтральними, однак використання землі для виробництва біомаси спричиняє значні антропогенні викиди парникових газів, які становлять 24% у всьому світі [18]. Ці викиди також мають шкідливий вплив на клімат і повинні бути зменшені. Усі запропоновані вище заходи, у найкращому випадку матимуть вплив на те, що концентрація CO<sub>2</sub> в атмосфері більше не зростатиме, однак підвищена концентрація CO<sub>2</sub> порівняно з доіндустріальними часами залишиться незмінною і може бути зменшена лише поглиначами вуглецю.

Усі запропоновані технологічні рішення виявляться безперспективними, без такої необхідної секторальної інтеграції: формування ланцюгів доданої вартості усіх секторів переробки вуглецю та енергетичного/водневого сектору. Доволі часто такі процеси вимагають адаптації до біосировини лише процесів первинної обробки; проміжна продукція може бути інтегрована у існуючі або модифіко-

вані технологічні ланцюги. Таким чином, часто мова йде не про заміну усього ланцюга доданої вартості викопного палива, а про окремі етапи, які мають сприяти інтеграції ланцюжків створення вартості на основі біосировини. На цьому етапі, для формування замкненого вуглецевого циклу, необхідно не лише інтеграція виробничих галузей, але й модернізація сектору управління відходами.

**Висновки.** Підводячи підсумок, біоекономічна трансформація в цілому повинна по-перше, забезпечувати продовольчу безпеку на основі первинної біомаси та органічних хімікатів, а по-друге, частково забезпечувати енергетичну безпеку за рахунок використання нехарчової біомаси, залишків, відходів і газоподібних джерел вуглецю, по третє – сприяти декарбонізації.

Відповідно до результатів дослідження, скорочення викидів CO<sub>2</sub> відбувається пропорційно із збільшенням споживання та виробництва відновлюваної енергії, однак із часткою REC та REO близькою або більше 30% у загальному споживанні. Отже, необхідність збільшення частки поновлюваних джерел енергії в даний час є безумовною через повний спектр переваг, які вони можуть принести. Перехід до низьковуглецевої економіки буде мати позитивний ефект не лише з екологічної, а й з економічної точки зору, оскільки витрати, необхідні для такого переходу є значно меншими від витрат за умови продовження стимулювання розвитку викопного палива. Потенційний вплив зміни клімату на водні ресурси, виробництво харчових продуктів, здоров'я і навколишнє середовище буде створювати значні втрати для економіки. Натомість, розвиток відновлюваних джерел енергії позитивно впливатиме на якість життя в цілому.

Підсумовуючи, представлені дослідження та приклади демонструють, що розвиток промислової біоекономіки, як очікується, опиратиметься не лише на природний цикл вуглецю, а й на його каскадування, переробку та утилізацію. Це вимагатиме інтенсивного взаємозв'язку ланцюгів доданої вартості різних секторів: від сільського господарства та лісового господарства до хімічної промисловості, хімікатів, управління відходами та енергетики.

Тож стала промислова біоекономіка має можливість інтегрувати три вуглецеві цикли: (а) природний вуглецевий цикл, (б) каскадування та переробка залишків і відходів і (в) технічний вуглецевий цикл (утилізація). Не дарма ЄС нещодавно змінив термін «біоекономіка» на «циркулярну біоекономіку» у своїй поточній ініціативі, таким чином посилюючи важливість циркулярності.

Отже, інтеграція технічних вуглецевих циклів призводить до подальшого розвитку розуміння моделі біоекономіки. Через необхідність тісної інтеграції з енергетичним сектором біоекономіка відповідає не стільки трактуванню як автономна економічна система, скільки у якості динамічної центральної складової циркулярної економіки, заснованої на викидах вуглецю.

Таблиця 1

**Пріоритетні напрямки біоекономічної трансформації промисловості**

| Напрямок  | Джерело                                |
|---|--|
| Пріоритетне використання біомаси перед хімічними речовинами та викопним паливом   | CEFIC, 2015 [14], Rothermel, 2020 [15] |
| Закриття сировинних циклів шляхом каскадного переходу від використання сировини до використання енергії та переробки вуглецю з відходів                         | Carus, 2018 [9].                       |
| Доповнення природного циклу вуглецю технічним циклом (вловлювання вуглецю та його подальше використання; або утилізація (CCU))                                  | Dechema, Future Camp, 2019 [16]        |
| Створення мереж та інтеграція галузей переробки вуглецю   | Manfred, 2021 [17]                     |
| Спорудження поглиначів вуглецю (вловлювання та зберігання вуглецю (CCS) для компенсації викидів парникових газів, які не поглинаються природним циклом вуглецю. | EPA, 2020 [18], DII, 2020 [19]         |

Джерело: сформовано автором

Список використаних джерел:

1. EC. Bioeconomy. URL: [https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/researcharea/bioeconomy\\_en](https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/researcharea/bioeconomy_en) (дата звернення: 19.08.2022).
2. Літвак О. А. Біоекономічні пріоритети у розвитку аграрного сектора. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2015. № 8. URL: <http://global-national.in.ua/issue-8-2015> (дата звернення: 19.08.2022).
3. Байдала В. В. Біоекономіка в Україні: сучасний стан та перспективи: *Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету (економічні науки)*. 2013. № 1(3). С. 22–28. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpdau\\_2013\\_1\\_3\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpdau_2013_1_3_4) (дата звернення: 19.08.2022).
4. Макаруч О. Г., Савчук В. К. Біоенергетичний потенціал сільськогосподарського виробництва: економічний вимір, прогноз використання : монографія. Київ : Аграр Медіа Груп, 2011. 177 с.
5. Талавиря М. П., Клименко А. М., Жебка В. В. [та ін.]. Розвиток біоекономіки та управління природокористуванням в умовах глобалізації : монографія. Київ, 2012. 339 с.
6. Piotrowski S., et al., Global bioeconomy in the conflict between biomass supply and demand. *Novapaper*. 2015. № 7.
7. O'Neill D.W., et al. A good life for all with in planetary boundaries. *Nat. Sustain*. 2018. 1. P. 88–95.
8. Dietz T. Governance of the bioeconomy: a global comparative study of national bioeconomystrategies. *Sustainability*, 2018. № 10. P. 3190–3210. The Federal Government, 2020. National Bioeconomy Strategy.
9. Carus M. Renewable carbon is key to a sustainable and future-oriented chemical industry. *Nova paper*. 2018. № 10.
10. Lange, L., et al. Developing a sustainable and circular bio-based economy in EU: by partnering a crosssectors, upscaling and using new knowledge faster, and for the benefit of climate, environment & biodiversity, and people & business. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2021. № 8. P. 1–16.
11. World Development Indicators of World Bank. URL: <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>
12. Energy Darwinism II Why a Low Carbon Future Doesn't Have to Cost the Earth. 2015. URL: <https://www.citivelocity.com/citigps/energy-darwinism-ii/>
13. KPMG. Renewables in Ukraine. 2019. URL: <http://kpmg.ua>
14. CEFIC. Bioeconomy. 2015. URL: <https://cefic.org/policy-matters/bioeconomy/>
15. Rothermel J. Chemistry4Climate. VCW Conference, Frankfurt. 2020.
16. Dechema, Future Camp., 2019. Road map Chemie 2050. URL: <https://dechema.de/chemie2050.html>
17. Manfred K. The framework conditions must bealigned to the requirements of the bioeconomy. *EFB Bioeconomy Journal*. 2021, 1000003.
18. EPA. Overview of greenhouse gases. 2020. URL: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overviewgreenhouse-gases>
19. DII. Dii desert energy. 2020. URL: <https://dii-desertenergy.org>
20. RCI The renewable carbon initiative (RCI). 2020. URL: <https://renewable-carbon-initiative.com>
21. NEOM. The future of energy. 2020. URL: <https://www.neom.com/en-us/sector/energy/>
22. State CO2-EOR Deployment Work Group. Adding economic value and jobs to rural economies and communities while reducing emissions. 2017. URL: [http://www.kgs.ku.edu/PRS/ICKan/2018/March/WhitePaper\\_EthanolCO2Capture\\_Dec2017\\_Final2.pdf](http://www.kgs.ku.edu/PRS/ICKan/2018/March/WhitePaper_EthanolCO2Capture_Dec2017_Final2.pdf)
23. Lanzatech. CCU-Now: fuels and chemicals from waste. 2018. URL: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/25\\_sean\\_simpson-lanzatech.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/25_sean_simpson-lanzatech.pdf)

References:

1. EC. Bioeconomy. Available at: [https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/researcharea/bioeconomy\\_en](https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/researcharea/bioeconomy_en) (accessed 19 August 2022).
2. Litvak, O. A. (2015) Bioekonomichni priorytety u rozvytku ahrarnoho sektora [Bioeconomic priorities in the development of the agricultural sector]. *Globality and national economic problems*, no. 8. Available at: <http://global-national.in.ua/issue-8-2015> (accessed 20 September 2022).
3. Baidala, V. V. (2013) Bioekonomika v Ukraini: suchasnyi stan ta perspektyvy [Bioeconomy in Ukraine: current state and prospects] *Collection of scientific works of the Tavri State Agro-Technological University (Economic Sciences)*, no. 1(3), pp. 22–28. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpdau\\_2013\\_1\\_3\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpdau_2013_1_3_4) (accessed 20 September 2022).
4. Makarchuk, O. H., Savchuk V. K. (2011) Bioenerhetychnyi potentsial silskohospodarskoho vyrobnytstva: ekonomichni vymir, prohnoz vykorystannia: monohrafiia [Bioenergy potential of agricultural production: economic dimension, forecast of use: monograph]. Kyiv: Ahrar Media Hrup, 177 p.
5. Talavyria, M. P., Klymenko, A. M., Zhebka, V. V. [ta in.] (2012) Rozvytok bioekonomiky taupravlinnia pryrodokorystuvanniam v umovakh hlobalizatsii: monohrafiia [Development of bioeconomy and nature management in the conditions of globalization: monograph]. Kyiv, 339 p.
6. Piotrowski S., et al. (2015) Global bioeconomy in the conflict between biomass supply and demand. *Novapaper*, no. 7.
7. O'Neill D.W., et al. (2018) A good life for all with in planetary boundaries. *Nat. Sustain*, 1, pp. 88–95.
8. Dietz T. (2018) Governance of the bioeconomy: a global comparative study of national bioeconomystrategies. *Sustainability*, no. 10, pp. 3190–3210. The Federal Government, 2020. National Bioeconomy Strategy.
9. Carus M. (2018) Renewable carbon is key to a sustainable and future-oriented chemical industry. *Nova paper*, no. 10.
10. Lange, L., et al. (2021) Developing a sustainable and circular bio-based economy in EU: by partnering a crosssectors, upscaling and using new knowledge faster, and for the benefit of climate, environment & biodiversity, and people & business. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, no. 8, pp. 1–16.
11. World Development Indicators of World Bank. Available at: <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>
12. Energy Darwinism II Why a Low Carbon Future Doesn't Have to Cost the Earth. 2015. Available at: <https://www.citivelocity.com/citigps/energy-darwinism-ii/>
13. KPMG. Renewables in Ukraine (2019). Available at: <http://kpmg.ua>
14. CEFIC. Bioeconomy (2015). Available at: <https://cefic.org/policy-matters/bioeconomy/>
15. Rothermel J. (2020) Chemistry4Climate. VCW Conference, Frankfurt.

16. Dechema, Future Camp. (2019) Road map Chemie 2050. Available at: <https://dechema.de/chemie2050.html>
17. Manfred K. (2021) The framework conditions must be aligned to the requirements of the bioeconomy. *EFB Bioeconomy Journal*. 1000003.
18. EPA. Overview of greenhouse gases (2020). Available at: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overviewgreenhouse-gases>
19. DII. Dii desert energy (2020). Available at: <https://dii-desertenergy.org>
20. RCI The renewable carbon initiative (RCI) (2020). Available at: <https://renewable-carbon-initiative.com>
21. NEOM. The future of energy (2020). Available at: <https://www.neom.com/en-us/sector/energy/>
22. State CO<sub>2</sub>-EOR Deployment Work Group. Adding economic value and jobs to rural economies and communities while reducing emissions (2017). Available at: [http://www.kgs.ku.edu/PRS/ICKan/2018/March/WhitePaper\\_EthanolCO2Capture\\_Dec2017\\_Final2.pdf](http://www.kgs.ku.edu/PRS/ICKan/2018/March/WhitePaper_EthanolCO2Capture_Dec2017_Final2.pdf)
23. Lanzatech. CCU-Now: fuels and chemicals from waste (2018). Available at: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/25\\_sean\\_simpson-lanzatech.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/25_sean_simpson-lanzatech.pdf)

## THE ROLE OF SUSTAINABLE BIECONOMIC TRANSFORMATION IN THE LONG-TERM STRATEGY OF DECARBONIZATION

**Summary.** Bioeconomic transformation of industry will not be able to cover all modern branches of the national economy that use fossil fuels in the production process. In particular, in the fuel and energy complex, the main raw material of which is fossil fuel, it is necessary to widely promote carbon-free alternatives. In the future, the issue of integrating the energy sector into circular value chains of the natural carbon cycle (biomass) and closed cycles of production waste processing and carbon capture and utilization will arise. However, today in Ukraine, the decarbonization policy has no practical support at the legislative level and is reduced only to the intensification of the use of renewable energy sources (RES), therefore it is relevant to study the contribution of RES to achieving the goals of decarbonization and research on alternative technologies of the decarbonization policy that can accelerate the transformation to a sustainable industrial bioeconomy. The purpose of the article is to study the interrelationships between the consumption and production of RES and CO<sub>2</sub> emissions of the countries that invest the most in the development of renewable energy (USA, EU, China) and to study the existing directions of decarbonization policy in the world. The information base of the research is World Bank data for 1990–2015. The research was conducted using the linear regression modeling methodology. The obtained results confirm the fact that the models are adequate only for countries with a share of production and consumption of renewable energy close to 30%, for other countries the model is unreliable due to a low coefficient of determination. The study of data from EU countries turned out to be the most representative. On the basis of the conducted theoretical analysis of foreign sources, the most promising directions of bio-economic transformation of industries are determined.

**Key words:** decarbonization, bio economy, transformation, carbon, utilization, capture.