

І. О. Осадченко

ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

Статтю присвячено оцінці прогресу людства на шляху до «зеленого» енергетичного переходу. На світовому рівні собівартість енергії з відновлювальних джерел досягає рівня новозбудованих теплоелектростанцій. Побудована модель багатофакторної регресії показує, що зростання частки відновлювальних джерел, зниження викидів та скорочення імпорту палива тісно пов'язані зі збільшенням віддачі від використання енергії до валового внутрішнього продукту. Дослідження зв'язку між зростанням ВВП та викидами парникових газів в Європі та світі демонструє, що, якщо на рівні розвинених країн залежність між викидами та економічним благополуччям успішно подолана, то на загальносвітовому рівні низьковуглецеве економічне зростання ще не досягнуте. Враховуючи фіскальні стимули, нові електромобілі вже зараз є економічно доцільними в розвинених країнах і очікується, що з 2023 р. вони будуть становити рівну конкуренцію автомобілям з двигуном внутрішнього згорання без заходів стимулювання. Україна наразі відстає від загальносвітового рівня за рівнем впровадження відновлювальної енергетики, енергоємності та електромобілів.

Ключові слова: енергетичний перехід, відновлювальні джерела енергії, електромобілі, енергетична ефективність, декарбонізація, економічна доцільність.

Вступ. Енергетичний перехід (Energy transition) на сучасному етапі розвитку людства передбачає декарбонізацію енергетичного сектора економіки, а саме відмову від використання викопних та невідновлюваних джерел на користь відновлювальних задля збереження клімату планети. Це перехід від використання нафти, газу та вугілля як джерел енергії до використання сонячної та геотермальної енергії, сил вітру та води, біомаси тощо, які доступні практично у необмеженій кількості. Необхідність зміни джерел енергії виходить із розуміння загроз навколишньому середовищу та клімату Землі від енергетичного сектора, який утворює близько 76 % парникових газів і їх прекурсорів, створених діяльністю людини [4]. Надмірні викиди, насамперед парникових газів, спричиняють підвищення середньої температури на планеті, що за причинно-наслідковим зв'язком призводить до змін клімату, які, зі свого боку, спричиняють погіршення умов життя, голод, затоплення і стихійні лиха. У 2021 р., згідно із Всесвітньою продовольчою програмою ООН, настав перший в історії голод, спричинений кліматичними змінами, який загрожує більш ніж мільйону людей на Мадагаскарі.

Проблема зміни клімату, що спричинена більш ніж столітньою діяльністю світогосподарського комплексу, керованого лише ринковими стимулами та короткостроковими, в історичній перспективі, вигодами, зумовила та зумовлює необхідність глобальної «зеленої» трансформації не лише в енергетиці, але й у світовій економіці в цілому. Для подолання цієї глобальної проблеми на рівні ООН ще у 1992 р. прийнято Рамкову конвенцію про зміну клімату, підписантом якої є й Україна. У межах цієї рамкової конвенції також були прийняті два документи: Кіотський протокол (1997 р.) та Паризька угода (2015 р.). Хоча метою усіх цих угод є зменшення і стабілізація викидів парникових газів, донедавна обсяги їх викидів лише зростали через недосконалість КП та фактичну неучасть США, Китаю та Індії – трьох найбільших країн-забруднювачів.

Лідером у боротьбі зі змінами клімату є Європейський Союз, який ставить перед країнами-членами досить амбіційні цілі, приймає широке коло документів і розробляє інструменти для реалізації обраної політики. Так, у Стратегії ЄС щодо зміни клімату до 2020 р. закладено цілі «20-20-20», тобто зниження на 20 % викидів від рівня 1990 р., 20 % ВДЕ, покращення на 20 % енергоефективності. Згідно з попередніми оцінками ЄС досить близький до того, що ці цілі були досягнуті у 2020 р.

Україна, яка є підписантом та учасником кліматичних угод, знаходиться в особливо сприятливій, з погляду впровадження ВДЕ, ситуації: застарілі фонди теплоенергетики, курс на євроінтеграцію, а також залежність і збройний конфлікт з головним постачальником своїх енергоресурсів – Російською Федерацією. Наразі стан енергоефективності та енергетичної безпеки

України є незадовільними, частка ВДЕ становить лише близько 5 %, а тому енергетичний перехід є досить складним і амбіційним завданням. Держава у своїй Енергетичній стратегії до 2035 р. ставить завдання досягти 20 % частки ВДЕ, диверсифікувати джерела енергоресурсів за видами і постачальниками, знизити енергоємність ВВП до 0,17 кг н.е. на 1 дол. США за ПКС тощо [14]. Однак згідно з дорожньою картою для пришвидшеної декарбонізації «REmap 2030» від Міжнародної агенції з відновлювальних джерел енергії (IRENA) Україна може досягти показника 21,8 % частки ВДЕ уже в 2030 р. [7].

Декарбонізація як процес охоплює практично всю реальну економіку, змінюючи не лише характер і принципи функціонування енергетичного сектора, але й через впровадження енергоефективних технологій усіх інших галузей. Для найшвидшого розв'язання проблеми зміни клімату потрібно прискорити процеси декарбонізації, тобто здійснити значні трансформації в структурі світового господарства.

Аналіз останніх публікацій. Дослідження енергетичного переходу стало особливо популярним серед науковців в останні роки. Найбільш ґрунтовні праці, присвячені цій темі, розробляються науковцями, що пов'язані з такими організаціями, як IRENA та Міжнародне енергетичне агентство (IEA). До дослідників IRENA належать: Гілен Д., Горіні Р., Вагнер Н., Леме Р., Пракаш Г., Ферухі Р., Реннер М., Гарсія-Баньош С., Халід А. [2, 3, 7, 8, 12].

Економічні ефекти від впровадження «зеленого» переходу варто оцінювати, враховуючи оцінку шкоди від викидів парникових газів та інших токсичних речовин. За оцінкою IRENA, кожний долар, вкладений у трансформацію глобальної енергетичної системи, приносить принаймні 3 дол. США і потенційно більше 7 дол. США, залежно від того, як оцінюються зовнішні ефекти. Заразом повідомляється, що на кінець ХХІ ст. очікується глобальне скорочення ВВП приблизно на 20 % при глобальному потеплінні на 2°C і на 35 % при глобальному потеплінні на 5°C [2, с. 33–40]. Якщо людство піде шляхом сценарію досягнення 1,5°C, то завдяки інвестиціям на багатьох напрямках енергетичного переходу світовий ВВП отримає зростання в середньому на 1,2 % до 2050 р., порівнюючи із запланованим сценарієм. Навіть у разі негативного впливу на ВВП через кліматичні збитки сценарій 1,5°C є переконливим варіантом, оскільки статус-кво буде набагато гіршим [3, с. 248].

У соціально-економічній площині від впровадження «зеленої» енергетики очікується зростання кількості робочих місць в енергетичному секторі в цілому до 122 млн. у 2050 р. за умови досягнення цілі 1,5°C проти 114 млн. в рамках поточної політики країн. Відповідно до сценарію 1,5°C до 2030 р. в енергетичному секторі буде зайнято 137 млн. людей проти 111 млн. за статусом-кво. Порівнюючи з сьогоdnішнім днем, кількість робочих місць на викопному паливі в рамках нинішньої політики фактично зростає на 7,1 млн. у 2030 р. та на 9,4 млн. до 2050 р. За сценарієм 1,5°C в енергетиці, що використовує викопне паливо, втрачається менше робочих місць, ніж з'являється у галузях, пов'язаних із використанням технологій ВДЕ [13, с. 59].

Геополітичні наслідки здійснення «зеленого» переходу призведуть надалі до значних трансформацій міжнародних відносин і тимчасової регіональної нестабільності через можливу політичну нестабільність в країнах-експортерах нафти й газу. Зокрема, перехід до низьковуглецевої енергетики являє собою серйозну загрозу для Росії. Зниження доходів від експорту вуглеводнів зумовлює скорочення державних витрат та падіння благополуччя росіян. Скорочення військових витрат обмежуватиме можливість Росії вести агресивну зовнішню політику та зменшує коло можливостей для утримання контролю всередині країни [11, с. 109]. Аналогічний розвиток ситуації в інших авторитарних країнах-експортерах сприятиме посиленню миру та безпеки у світі через деполітизацію енергетичного сектора, що впливає з децентралізованого характеру «зеленої» енергетики.

Мета та методологія дослідження. Метою дослідження є визначення рівня здійснення «зеленого» енергетичного переходу в Україні та світі на сучасному етапі. Для цього застосовується аналіз рядів динаміки та кореляційно-регресійний аналіз.

Викладення основного матеріалу. Частка відновлювальних джерел у світовому постачанні енергії зростає з 7,3 % у 2007 р. до 11,4 % у 2019. Сукупний середньорічний темп зростання ВДЕ протягом 2000–2020 рр. становить 5 %.

Головним джерелом відновлювальної енергії в світі наразі є гідроенергетика, частка якої у ВДЕ становить близько 57,7 % у 2020 р. Починаючи з нового тисячоліття, стрімко зростає значення інших

видів «зеленої» енергетики: вітряної (ВЕС) та сонячної (СЕС). Якщо у 2000 р. частка ВЕС у загальному світовому обсязі чистої енергії становила 1 % (31 ТВт-год), то у 2020 досягла 21,3 % (1591 ТВт-год). Обсяг генерації СЕС у 2000 р. становив близько 1 ТВт-год енергії (0,34 % ВДЕ) та досяг 856 ТВт-год (11,5 %) у 2020 р. [9]. Потенціал розвитку цих видів є практично необмеженим та безпечнішим для екосистем порівняно з гідроелектростанціями великих річок. Зростаючи надалі такими темпами, незабаром ВЕС та СЕС витіснять ГЕС як головне джерело чистої енергії.

Деякі країни, такі як Уругвай і Коста-Ріка, вже сьогодні наближаються до забезпечення 100 % частки відновлюваної енергії в своїх енергосистемах, і все більше країн прагне наслідувати їх приклад. Швеція поставила собі мету досягти 100 % відновлюваної енергії до середини століття [3, с. 177].

Європейський Союз як глобальний лідер розвитку «зеленої» енергетики ставить досить високі цілі у впровадженні ВДЕ. Мета «20-20-20» у 2020 р., оцінюючи тренд частки ВДЕ в балансі Євросоюзу, була досягнута. Якщо у 2010 р. частка чистої енергії становила 14,4 %, то у 2019 вона досягла 19,7 %, тобто для досягнення мети потрібно було наростити 0,3 %, щоправда в умовах пандемії коронавірусу та спаду енергоспоживання.

Розвиток «зеленої» енергетики в Україні є слабшим проти загальносвітового та європейського рівнів. У 2007 р. частка ВДЕ становила лише 1,7 % загального постачання енергії, з них СЕС та ВЕС – 0,16 %. У 2019 р. відновлювана енергетика досягла лише 4,9 % частки загального постачання в енергобалансі.

Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 р. передбачав досягнення частки чистої енергії в кінцевому споживанні на рівні 11 %. Однак станом на 2019 р. рівень ВДЕ в кінцевому споживанні становив лише 8,8 % (рисунок 1).

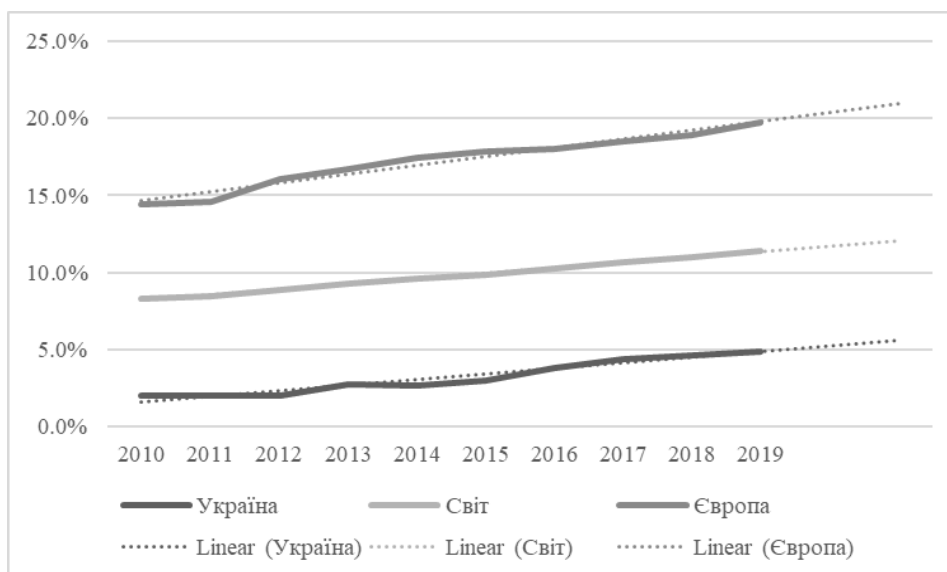


Рисунок 1 – Динаміка розвитку ВДЕ в Україні, Європі та світі

**Джерело: побудовано автором на основі [9, 15, 18]*

Сонячна та вітрова енергетика наразі становлять 9,8 % ВДЕ. Сукупний середньорічний темп зростання генерації ВДЕ в Україні за 2007–2019 рр. становить 4,7 %. Потенціал розвитку ВДЕ в Україні станом на 2015 р. становить 68,9 млн. т.н.е., що відповідає 98 млн. т.н.е. від викопного палива, та вже здатний забезпечити усі енергетичні потреби України [16].

За існуючих темпів зростання ВДЕ і за незмінних технологій, для забезпечення 60 млн. т.н.е. постачання енергії потрібно 57 років, тобто до 2076 р.

Нормована собівартість енергії (від англ. Levelized cost of energy – LCOE) – це середня розрахункова собівартість виробництва електроенергії протягом усього життєвого циклу електростанції, тобто включаючи всі можливі інвестиції, витрати і доходи, спрощений варіант якої розраховується за формулою

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}, \quad (1)$$

де I_t – інвестиційні витрати (включаючи фінансові) за рік t ;

M_t – операційні витрати та витрати на утримання за рік t ;

F_t – витрати на паливо за рік t ;

E_t – генерація електроенергії за рік t ;

r – дисконтна ставка;

n – життєвий цикл системи [6].

Проведений IRENA аналіз LCOE-собівартості виробництва електроенергії різних видів у світі показує, що середньозважена собівартість сонячних фотоелектричних (PV) батарей у загальному масштабі впала на 85 % у період з 2010 по 2020 рр. Якщо у 2010 собівартість становила 38 центів США за кВт-год, то у 2020 вона опустилася до 5,7 centa. Це відбулося завдяки зростанню світової сукупної встановленої потужності усіх сонячних PV-батарей з 40 ГВт до 707 ГВт. Це скорочення було викликане зниженням цін на модулі, які впали на 93 % з 2010 р., водночас ефективність модулів покращилася, а виробництво все більше розширюється й оптимізується. Собівартість традиційної енергії з викопних джерел становить у світі 7,6 centa. Тобто, якщо раніше LCOE сонячної енергії була більш ніж вдвічі дорожчою за будь-яку генерацію з викопного палива, то нині «зелена» енергія з сонця перебуває поряд з найдешевшими новими потужностями викопного палива [8, с. 26].

Поряд зі звичайними сонячними PV, концентровані сонячні електростанції (CSP) також продемонстрували значення скорочення вартості. Від 34 центів у 2010 LCOE опустилася до 10,8 centa у 2020, тобто в три рази. Це відбулося завдяки скороченню загальних витрат на встановлення та вдосконалення технології. Світовий середньозважений коефіцієнт потужності нових потужностей у 2010 р. становив 30 %, тоді як для установок, встановлених у 2020 р., – 42 %.

Для морської вітрової енергії світовий середньозважений LCOE знизився з 16 центів у 2010 до 8,4 centa у 2020 р., тобто відбулося скорочення на 48 %. Наземна вітроенергетика продемонструвала скорочення собівартості з майже 9 центів у 2010 до 3,9 centa у 2020 р. та є нині найдешевшим видом «зеленої» енергії. Скорочення становило 43 %.

Геотермальна та гідроенергетика також продемонстрували різну динаміку собівартості. LCOE геотермальної енергії зросла з 5 центів у 2010 до 7,1 у 2020 р. на загальносвітовому рівні. Гідроенергетика також частково подорожчала: собівартість зросла з 3,8 centa у 2010 до 4,4 у 2020 р. (рисунок 2).

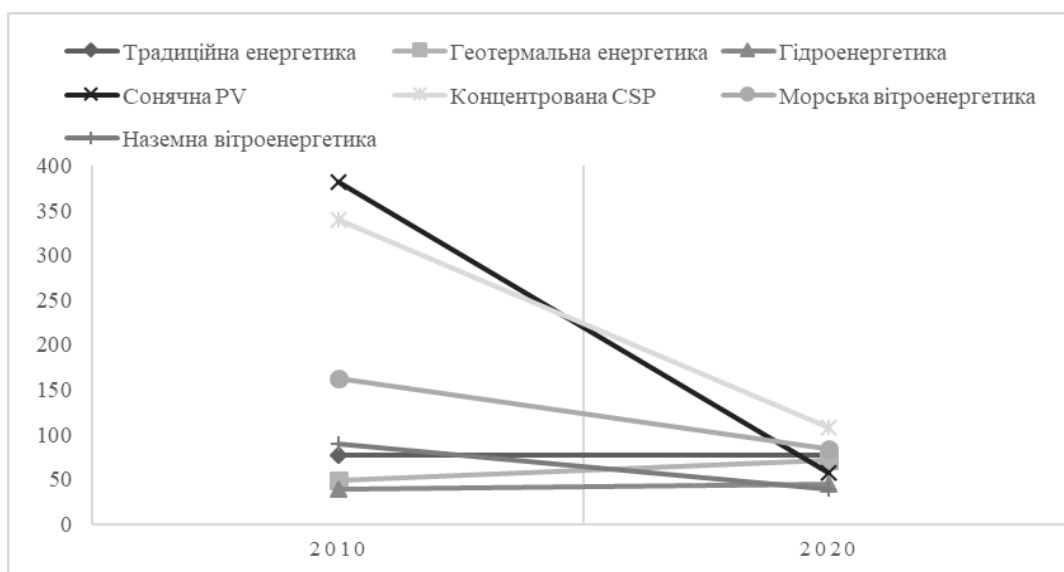


Рисунок 2 – Динаміка LCOE видів ВДЕ у світі (\$ за МВт-год)

*Джерело: побудовано автором на основі [8]

Через специфічність проєктів таких видів енергетики, отже, через різні коефіцієнти і структуру витрат, середньозважені показники є дуже відносними.

На сьогодні навіть без фінансової підтримки відновлювальні джерела енергії уже зараз у світі послаблюють споживання викопного палива завдяки своїй нижчій собівартості.

Українська відновлювальна енергетика також крокує за світовими трендами зниження собівартості чистої енергії. Собівартість сонячної енергії в Україні скоротилася на 71 %, так само як і на світовому рівні. У 2012 р. LCOE для СЕС становила 400 євро за МВт, тоді як у 2018 досягла 116 євро (11,6 євроцента за кВт).

Вітряні установки, у розрахунку наземні та морські, мали та мають найнижчу собівартість. У 2012 р. LCOE для ВЕС становила 107 євро за МВт та знизилась до 77 євро, тобто на 28 % (рисунок 3).

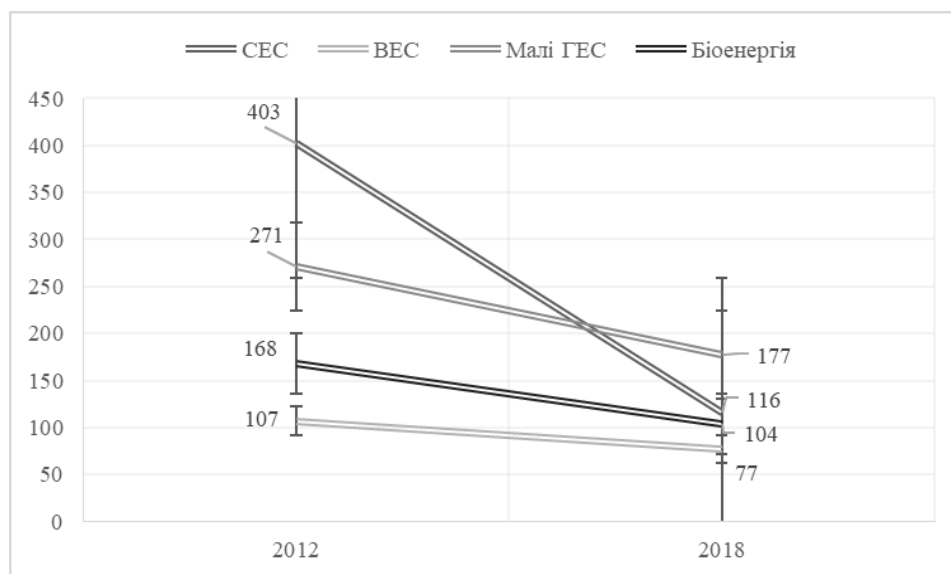


Рисунок 3 – Динаміка LCOE видів ВДЕ в Україні (євро за МВт-год)

**Джерело: побудовано автором на основі [17]*

Малі ГЕС продемонстрували зниження собівартості з 271 євро у 2012 р. до 177 євро у 2018, що робить їх наразі найдорожчим видом чистої енергії в Україні. Більшість малих ГЕС є ще проєктами радянських часів, що пройшли реконструкцію та модернізацію в наш час. Новозбудовані малі ГЕС матимуть нижчу собівартість через використання кращих матеріалів та технологій.

Середня собівартість генерації енергії з викопних джерел становить близько 33-35 євро, тобто набагато нижча, ніж будь-який вид ВДЕ. Такі цифри не є ринковими, тому що тарифи контролюються державою, але дають загальне уявлення про рівень цін [17]. Наразі відновлювальна енергетика в Україні не є конкурентною та потребує активного державного стимулювання для того, щоб працювати у рамках встановленого з 2019 р. ринку енергетики.

Визначення кліматичної доцільності та стану впровадження енергоефективності передбачає перевірку зв'язку між енергоефективністю та показниками «зеленого» переходу, з'ясування зв'язку між використанням викопного палива та економічним зростанням, визначення динаміки якості використання енергії в галузях і секторах України та регулювання цього процесу.

На основі даних Світового банку побудовано модель зв'язку між віддачею від використання енергії у ВВП кг н.е. на 1000 міжн. дол. за ПКС 2017 р. (y) з такими факторами: викиди CO_2 (кг на міжн. дол. ВВП за ПКС) (x_1), чистий імпорт енергії (%) (x_2) та частка відновлювальних джерел в енергоспоживанні (%) (x_3). Як інформаційну базу дослідження використано дані Світового банку 2014 р. щодо 126 країн світу. Модель перевірено на мультиколінеарність, обґрунтовано її адекватність та наведено економічну інтерпретацію.

Завдання полягає в тому, щоб визначити, чи впливають процеси впровадження енергетичного переходу, а саме збільшення частки відновлювальних джерел та зменшення імпорту палива, а також

зниження викидів вуглекислого газу на покращення енергоефективності країн, щоб довести доцільність переходу.

У процесі побудови моделі мультиколінеарність відсутня та розраховано рівняння множинної регресії, яке має вигляд

$$y = -29,45 + 421,09x_1 + 0,0001x_2 + 1,89x_3. \quad (2)$$

Використовуючи розрахункові значення, отримані за моделлю, побудовано розрахункову таблицю та графік фактичних і теоретичних значень (рисунок 4).

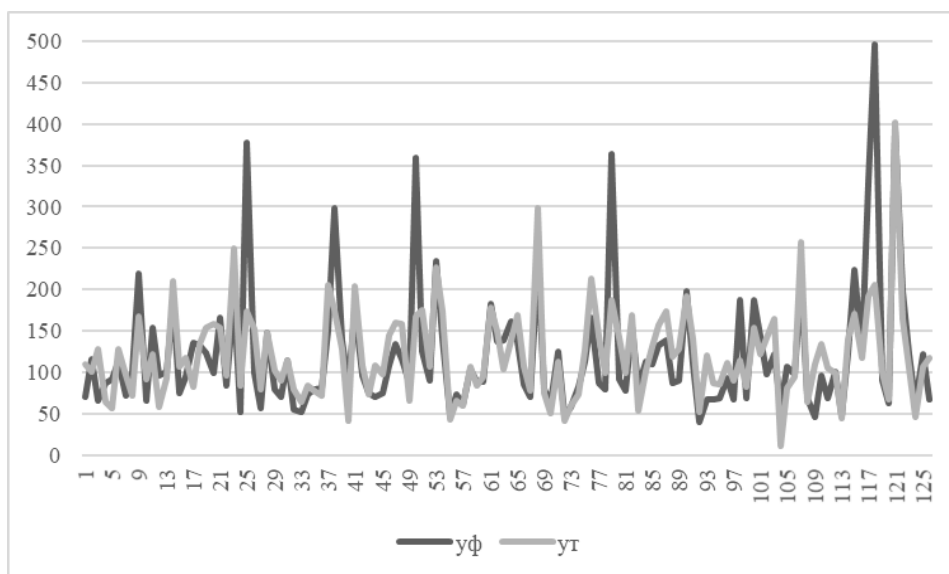


Рисунок 4 – Графік моделі $y = -29,45 + 421,09x_1 + 0,0001x_2 + 1,89x_3$

*Джерело: побудовано автором

Коефіцієнти множинної кореляції та детермінації становлять відповідно 0,78 (сильний зв'язок) та 0,609. Тобто на 60,9 % значення віддачі від енергії (y) залежить від впливу факторів: викидів, відновлювальних джерел та частки імпорту.

Перевірка моделі за *t*-критерієм Стьюдента показує, що лише один із показників є неадекватним, а саме x_2 , однак за результатами перевірки моделі на значущість за лінійним коефіцієнтом кореляції вона є значущою. За критерієм Фішера модель є адекватною, тому що він дорівнює 9,36 при табличних 2,68 за ступенів 1 та 122. Тому модель є адекватною та значущою.

Точність моделі за середнім квадратичним відхиленням становить 998,78, а за середньою відносною похибкою апроксимації – 4,87 %, що менше за 15 %, тому модель є точною.

Модель показує, що впровадження відновлювальних джерел, впровадження енергоефективних технологій щодо зниження викидів вуглекислого газу та зменшення використання імпортного палива позитивно впливають на зростання енерговіддачі.

Динаміка останніх десятиліть показує, що, якщо раніше зростання ВВП було пов'язано зі зростанням використання енергії викопних джерел та викидами парникових газів, то приблизно з 2002–2003 рр. ці показники в таких розвинених країнах, як ЄС припиняють зростати пропорційно. Однак на загальносвітовому рівні цей процес почався лише з 2012–2013 рр., тобто на десять років пізніше, ніж в ЄС.

Хоча в ЄС викиди на душу населення досі залишаються вищими за загальносвітовий рівень, вони стрімко скорочуються, починаючи з 2010 р., у той час як на світовому рівні показники останніх років більш стали. На цьому фоні ВВП на душу населення в ЄС демонструє вищий рівень зростання, ніж в загалом у світі (рисунок 5).

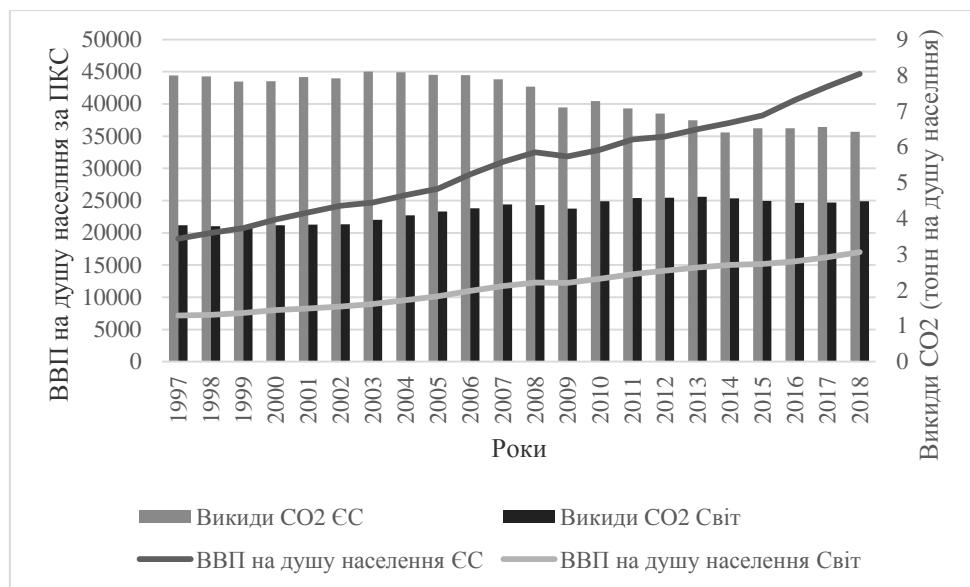


Рисунок 5 – Динаміка зростання ВВП на душу населення та викидів CO₂ в ЄС та світі

**Джерело: побудовано автором на основі [19]*

Якщо у 1997 р. викиди вуглекислого газу на душу населення в ЄС становили близько 8 т, у той час у світі цей показник становив вдвічі менше – близько 4 т. ВВП на душу населення за ПКС у 1997 р. в Європі був на рівні близько 20 тис. міжн. дол. та зріс удвічі: до 45 тис. у 2018 р. За цей час на світовому рівні, що демонструє переважно рівень країн, які розвиваються, ВВП на одну особу зріс з 7 тис. до 17, а викиди – з 3,81 т до 4,48. Це говорить про те, що на загальносвітовому рівні бар'єр низьковуглецевого зростання досі не до кінця подоланий, і залежність зростання ВВП від збільшення викидів досі зберігається (рисунок 6).

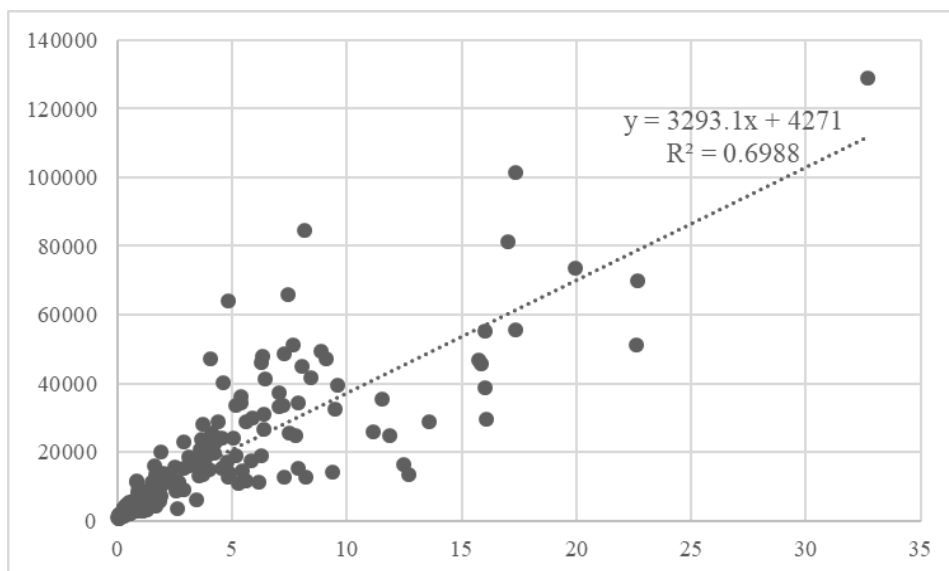


Рисунок 6 – Кореляційне поле між ВВП на душу населення (за ПКС) та викидами CO₂ (т) країн світу на 2014 р.

**Джерело: побудовано автором на основі [19]*

Сектор транспорту викидає в атмосферу близько 21 % викидів CO₂, 15 % загальних викидів припадає саме на дорожний транспорт [9]. Науково-технічний прогрес сьогодення пропонує певні

технології «зеленого» або низьковуглецевого транспорту. Серед основних технологій чистих автомобілів наразі виділяють: гібридні електромобілі (HEV), зарядні «гібриди» (PHEV), водневі автомобілі (FCEV) та електромобілі на батареї (BEV або EV) [1].

Електромобілі зазвичай мають вищу вартість придбання, ніж автомобілі з ДВЗ, але вони можуть бути вигідні з погляду експлуатаційних витрат. Дані останніх досліджень у США показують, що, враховуючи федеральні стимули на купівлю електромобілів, очікується, що як акумуляторні електромобілі (BEV), так і гібридні електромобілі (PHEV) будуть знецінюватися з тією ж швидкістю, що й транспортні засоби з ДВЗ того ж класу протягом перших п'яти років користування. Крім того, водії EV та PHEV мають в середньому на 50 % менше витрат на ремонт і технічне обслуговування протягом типового терміну служби автомобіля.

Власники електромобілів витрачають на паливо на 60 % менше, незважаючи на те, що існує мінливість між штатами у вартості бензину та електроенергії. Крім того, вони можуть здійснювати більшість своїх заправок вдома з електромережі. Навіть якщо врахувати деяку частку зарядок на відносно дорогих швидкісних зарядних пристроях, за даними дослідження від Consumer Reports, очікується, що використання EV у США приведе до щорічної економії від \$800 до \$1300, залежно від класу автомобіля (рисунок 7).

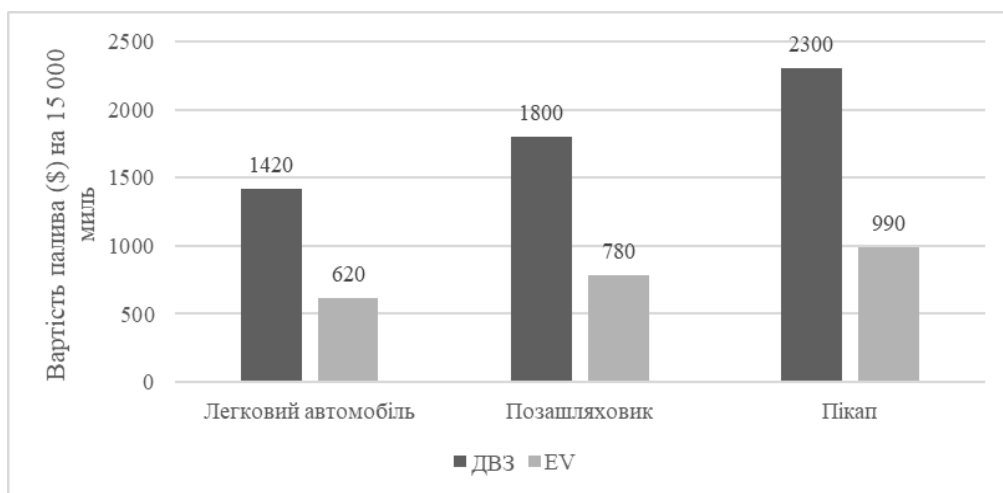


Рисунок 7 – Порівняння вартості палива на 15 тис. миль для різних типів авто

*Джерело: [5]

Інше дослідження показує, що середня річна вартість експлуатації нового автомобіля ДВС в США становить \$1117, тоді як EV – \$485 [10].

Вартість володіння протягом усього корисного строку використання (вартість придбання, амортизація, паливо, ремонт і техобслуговування) усіх дев'ятьох найпопулярніших електромобілів на ринку США вартістю менше \$50 000 набагато дешевша, ніж найбільш продавані та найпопулярніші автомобілі ДВЗ в своєму класі, водночас типова економія становить від \$6000 до \$10 000 (рисунок 8).

При оцінці повного строку експлуатації електромобілі та «гібриди» показали значну економію витрат проти найбільш продаваних моделей та найбільш рейтингових автомобілів ДВЗ. Це означає, що «чисті» автомобілі вже є доцільними та вигідними з економічного погляду на прикладі такої розвиненої країни, як США, де діють відповідні фіскальні стимули.

За оцінками Bloomberg, протягом десяти років (з 2010 по 2020 рр.) ціни на акумуляторні батареї впали з понад \$1100 за 1 кВт-год до \$137, тобто на 89 %. За прогнозом BNEF, до 2023 р. вартість зберігання 1 кВт-год енергії опуститься нижче \$100, а середня ринкова ціна становитиме \$101, що дасть можливість виробникам авто продавати електромобілі за ціною аналогічних моделей з ДВЗ [13].

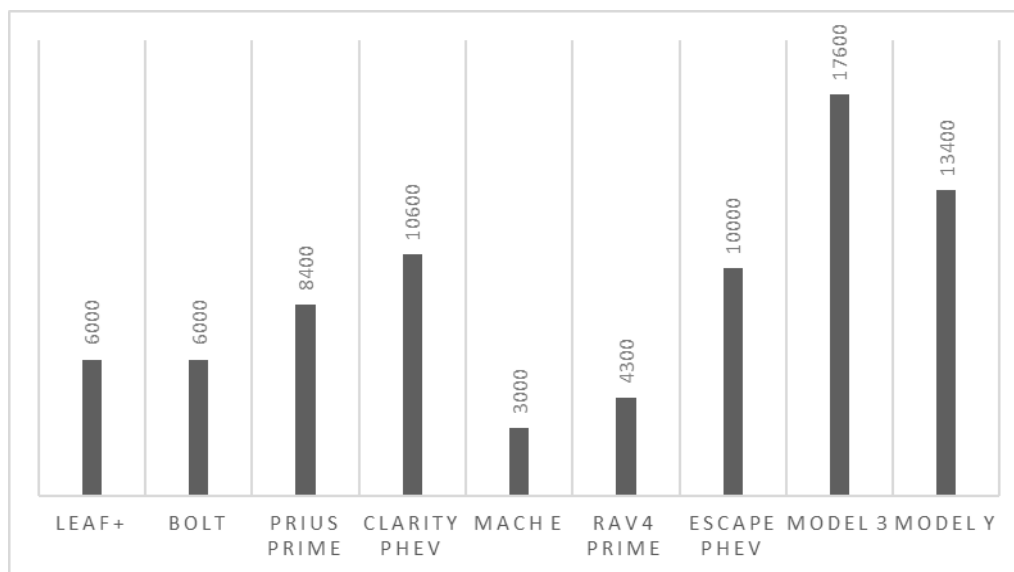


Рисунок 8 – Порівняння економії витрат за різними моделями EV і PHEV

*Джерело: [5]

В Україні частка електромобілів досі нижча, ніж в інших країнах Європи. Серед головних проблем: порівняно висока проти інших країн вартість електромобіля, відсутність відповідної інфраструктури, складнощі з технічним обслуговуванням та дорожнеча – ціна електромобіля у нас набагато вища, ніж в Європі. Крім того, в Україні є свої дорожні та кліматичні особливості, через які потрібно посилювати підвіску, систему опалення, обробляти додатково антикорозійним покриттям. Купівля електромобіля обходилася в середньому на 5 тис. євро більше його базової вартості. Потрібно було сплачувати акциз у розмірі 109 євро за одне авто, додатковий 5 % імпорتنний збір, а також 20 % ПДВ [21].

Більшість електромобілів в Україні вживані та ввозяться переважно з Європи і США. Найпопулярнішою моделлю на українському ринку автомобілів на електричній тязі є Nissan Leaf, незважаючи на те, що Nissan Leaf в Україну офіційно не ввозиться. Популярність вживаних електромобілів пояснюється їх дешевизною. За п'ять місяців 2017 р. було продано 958 електрокарів, з яких тільки 124 – нові. Ціна на Nissan Leaf із пробігом 3-4 роки становить \$12-16 тис. Нове авто такого ж класу ДВЗ коштує 35 тис. євро.

Приклад вживаних автомобілів 2015 р.: електрокара Renault Zoe вартістю \$13,5 тис. і Peugeot 208 з ДВЗ, 1,6 л за \$11,4 тис., показує, що з різницею у вартості \$2,1 тис., за розрахунками «Укренерго», різниця для потенційного покупця Renault Zoe окупиться приблизно за два роки. Для нових електрокарів та преміум EV окупність займає набагато більше часу або вони не окупаються взагалі [20].

Висновки. Прогрес людства до здійснення енергетичного переходу через впровадження ВДЕ станом на 2020 р. становить 11,4 %, а України зокрема – 4,9 %. Як джерела чистої енергії набувають величезного значення сонячна та вітроенергетика. Їх собівартість на світовому рівні вже досягла рівня традиційної енергетики та згодом її остаточно витіснить. На вітчизняному рівні відновлювальна енергетика поки що не є конкурентною та потребує стимулювання.

Побудована модель багатфакторної регресії показує, що впровадження відновлювальних джерел, енергоефективних технологій щодо зниження викидів та скорочення імпорту палива позитивно впливають на зростання віддачі від використання енергії до ВВП. Водночас дослідження зв'язку між зростанням ВВП та викидами парникових газів в Європі та світі показує, що, якщо на рівні розвинених країн залежність між викидами та економічним благополуччям успішно подолана, то на загальносвітовому рівні низьковуглецеве економічне зростання ще не досягнуто.

До провідних технологій «чистого» транспорту належать: зарядні гібридні електромобілі (PHEV) та електромобілі на батареї (EV або BEV). Враховуючи фіскальні стимули, нові електромобілі вже нині є економічно доцільними в розвинених країнах і очікується, що з 2023 р. вони

будуть становити рівну конкуренцію авто з двигуном внутрішнього згоряння без заходів стимулювання. В Україні нові електромобілі поступалися автомобілям з ДВЗ за вартістю володіння протягом життєвого циклу через високу вартість придбання. Економічною доцільністю відрізнялися лише імпортовані вживані електрокари.

Список використаних джерел

1. Cleaner vehicles: Achieving a resilient technology transition. OECD/ITF, 2021. 118 с. URL: <https://www.itf-oecd.org/cleaner-vehicles> (дата звернення: 04.12.2021).
2. Global energy transformation: A roadmap to 2050. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2019. URL: <https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition> (дата звернення: 17.11.2021).
3. Global Renewables Outlook 2020. IRENA – International Renewable Energy Agency. URL: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020> (дата звернення: 25.11.2021).
4. Greenhouse Gas (GHG) Emissions. *Climate Watch*. URL: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&chartType=percentage&end_year=2018&start_year=1990 (дата звернення: 24.10.2021).
5. Harto C. Electric vehicle: Today's electric vehicles offer big savings for consumers. *Consumers Reports*. 2020. 45 с. URL: <https://advocacy.consumerreports.org/wp-content/uploads/2020/10/EV-Ownership-Cost-Final-Report-1.pdf> (дата звернення: 05.12.2021).
6. Levelized Cost of Energy (LCOE). *Department of Energy*. URL: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/08/f25/LCOE.pdf> (дата звернення: 25.11.2021).
7. REmap 2030 Renewable Energy Prospects for Ukraine. Abu Dhabi: IRENA, 2015. 45 с. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/Apr/IRENA_REmap_Ukraine_paper_2015.pdf (дата звернення: 06.11.2021).
8. Renewable Power Generation Costs in 2020. IRENA – International Renewable Energy Agency. URL: <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020> (дата звернення: 25.11.2021).
9. Ritchie H., Roser M. Energy. *Our World in Data*. 2020. URL: <https://ourworldindata.org/energy> (дата звернення: 25.11.2021).
10. Sivak M., Schoettle B. Relative costs of driving electric and gasoline vehicles in the individual U.S. States. Ann Arbor: The University of Michigan, 2018. 11 с. URL: <http://websites.umich.edu/~umtriswt/PDF/SWT-2018-1.pdf> (дата звернення: 05.12.2021).
11. The geopolitics of the global energy transition / M. Hafner, S. Tagliapietra (eds). Cham: Springer International Publishing, 2020. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39066-2> (дата звернення: 16.11.2021).
12. World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2021. URL: <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook> (дата звернення: 17.11.2021).
13. Дослідження: собівартість електромобілів та автомобілів з ДВЗ зрівняється вже у 2023 році. *Autogeek*. URL: <https://autogeek.com.ua/doslidzhennia-sobivartist-elektromobiliv-ta-avtomobiliv-z-dvz-zrivniaietsia-vzhe-u-2023-rotsi/> (дата звернення: 06.12.2021).
14. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: Стратегія Каб. Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p#Text> (дата звернення: 06.11.2021).
15. Енергетичний баланс України. *Державна служба статистики України*. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/energ/en_bal/arh_2012.htm (дата звернення: 24.11.2021).
16. Кудря С. О. Стан та перспективи розвитку відновлювальної енергетики в Україні. *Вісник НАН України*. 2015. № 12. С. 19–26. URL: <https://doi.org/10.15407/vsn2015.12.100> (дата звернення: 25.11.2021).
17. Михайленко О., Ткачук Т. LCOE відновлювальних джерел в Україні. Київ: Представництво ім. Г. Бюлля, 2018. URL: <https://www.slideshare.net/AlexMykhailenko1/lcoe-of-renewable-electricity-in-ukraine-ua> (дата звернення: 25.11.2021).
18. Статистична база Eurostat. *European Commission*. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat> (дата звернення: 24.11.2021).
19. Статистична база Світового банку. *The World Bank*. URL: <https://databank.worldbank.org> (дата звернення: 25.11.2021).
20. Чому варто купувати електромобіль уже зараз. *Економічна правда*. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2019/03/26/646359/> (дата звернення: 06.12.2021).
21. Що вбиває електромобілі в Україні. *Finance.ua*. URL: <https://news.finance.ua/ua/news/-/406896/shho-vbyvaye-elektromobili-v-ukrayini> (дата звернення: 06.12.2021).

References

1. ITF (2021), "Cleaner vehicles: Achieving a resilient technology transition", *International Transport Forum Policy Papers*, no. 90, OECD Publishing, Paris.
2. IRENA (2019), *Global energy transformation: A roadmap to 2050* (ed. 2019), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
3. IRENA (2020), *Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050* (ed. 2020), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
4. Climate Watch Historical GHG Emissions (2021), World Resources Institute, Washington, DC, available at: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>
5. Harto, C. (2020), "Electric vehicle: Today's electric vehicles offer big savings for consumers", *Consumer Reports*.
6. Levelized Cost of Energy (LCOE) (2015), Department of Energy, available at: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/08/f25/LCOE.pdf>
7. IRENA (2015), REmap 2030 Renewable Energy Prospects for Ukraine, Abu Dhabi, available at: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/Apr/IRENA_REmap_Ukraine_paper_2015.pdf
8. IRENA (2021), Renewable Power Generation Costs in 2020, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
9. Ritchie, H., Roser, M. (2020), "Energy". *Our World in Data*, available at: <https://ourworldindata.org/energy>
10. Sivak, M., Schoettle, B. (2018), *Relative costs of driving electric and gasoline vehicles in the individual U.S. States*, University of Michigan.
11. The geopolitics of the global energy transition (2020), Lecture Notes in Energy, available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39066-2>
12. IRENA (2021), World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
13. "Research: the cost of electric cars and cars with internal combustion engines will equalize in 2023" (2020), *Autogeek* [in Ukrainian].
14. "On approval of the energy strategy of Ukraine for the period up to 2035 "Security, energy efficiency, competitiveness": Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine no. 605-p (2017) [in Ukrainian].
15. "Energy balance of Ukraine" (n.d.), *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*, available at: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2012/energ/en_bal/arh_2012.htm [in Ukrainian].
16. Kudria, S. O. (2015), "State and perspectives of renewable energy development in Ukraine", *Visnyk NAN Ukrainy*, no. 12, pp. 19-26, available at: <https://doi.org/10.15407/visn2015.12.100> [in Ukrainian].
17. Mykhailenko, O., Tkachuk, T. (2018), *LCOE of renewable sources in Ukraine*, Heinrich Boell Foundation, Kyiv [in Ukrainian].
18. Eurostat statistical database (n.d.), *European Commission*, available at: <https://ec.europa.eu/eurostat>
19. Statistical database of the World Bank (n.d.), *The World Bank*, available at: <https://databank.worldbank.org>
20. "Why buy an electric car now" (2019), *Ekonomichna pravda*, available at: <https://www.epravda.com.ua/columns/2019/03/26/646359> [in Ukrainian].
21. "What kills electric cars in Ukraine" (2017), *Finance.ua*, available at: <https://news.finance.ua/ua/news/-/406896/shho-vbyvaye-elektromobili-v-ukrayini> [in Ukrainian].

I. O. Osadchenko

**IMPLEMENTATION OF THE ENERGY TRANSITION
IN UKRAINE AND AT THE WORLD**

The article is devoted to the assessment of the progress of mankind on the way to a "green" energy transition. Globally, the cost of energy from renewable sources reaches the level of newly built thermal power plants. The built-in multifactor regression model shows that increasing the share of renewables, reducing emissions and reducing fuel imports are closely related to increasing the return on energy to gross domestic product. A study of the link between GDP growth and greenhouse gas emissions in Europe and the world shows that while the relationship between emissions and economic well-being has been successfully overcome in developed countries, global low-carbon economic growth has not yet been achieved. Taking into account fiscal incentives, new electric cars are already economically feasible in developed countries

and it is expected that from 2023 they will be in equal competition with cars with internal combustion engines without incentives. Ukraine currently lags behind the global level in the level of implementation of renewable energy, energy intensity and electric vehicles.

Keywords: *energy transition, renewable sources, electric cars, energy efficiency, decarbonization, economic feasibility.*

Стаття надійшла до редакції 27.11.2021

DOI 10.24025/2306-4420.63.2021.248558

Осадченко І. О., магістрант міжнародної економіки,
Черкаський державний технологічний університет
ORCID 0000-0002-5016-2804

Osadchenko I. O., Master's Student in International Economics, Cherkasy State Technological University