

Подольчук Д. В.
аспірант

Інституту міжнародних відносин
Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Podolchuk Dmytro
PhD Student

Institute of International Relations
Taras Shevchenko National University of Kyiv

ІНВЕСТИЦІЇ У ВІДНОВЛЮВАЛЬНУ ЕНЕРГЕТИКУ ЄС: ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СТИМУЛІВ

Анотація. Стаття присвячена аналізу взаємозв'язку між стимулюючими політиками та впровадженням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в Європейському Союзі (ЄС). Використовуючи панельні дані з 2000 по 2021 рік для 25 країн ЄС, виявлено, що податкові стимули, гранти та політика наукових досліджень і розробок є найбільш ефективними інструментами для розвитку ВДЕ. Це означає, що фіскальні та фінансові інструменти виявилися більш ефективними, ніж інші види стимулів у секторі енергетики. З іншого боку, кредити, прями інвестиції та «зелений» тариф не показали значного впливу на загальний обсяг ВДЕ, за винятком біоенергетики та сонячної енергії. Оцінка динамічної панельної моделі показала, що потужність ВДЕ в минулому періоді має позитивний та значущий стимулюючий ефект на поточну потужність ВДЕ. Це дослідження підкреслює важливість інструментів стимулювання ВДЕ, які знижують інвестиційні витрати, для успішного функціонування механізмів ВДЕ, наголошуючи на необхідності підтримки політики, спрямованої на підвищення конкурентоспроможності технологій відновлюваної енергетики. У роботі зроблено висновок, що хоча деякі стимулюючі заходи були ефективними у сприянні розвитку ВДЕ, інші, такі як чистий облік, прями інвестиції та кредити, не досягли бажаних результатів.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, Європейський Союз, політика стимулювання, регресійний аналіз панельних даних, модель з фіксованими ефектами, динамічна модель панельних даних, фіскальні та фінансові інструменти, сталість енергетичного сектору.

Вступ та постановка проблеми. Зростання вартості енергетичних ресурсів, спричинене повномасштабним вторгненням росії в Україну та санкціями з боку світового співтовариства, викликало загострення енергетичної війни між Росією та країнами Європейського Союзу (ЄС). Це зумовило збільшення ролі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) як альтернативи імпортованому паливу. Відновлювана енергетика є ефективним інструментом для забезпечення енергетичної незалежності від джерел, пов'язаних з авторитарними режимами.

Актуальні події, пов'язані з російською агресією, підкреслили необхідність прискореного переходу до зеленої енергетики. ЄС, який володіє великим досвідом у декарбонізації енергетики, стає надзвичайно цінним прикладом для інших країн, зокрема для України в контексті її євроінтеграції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В емпіричній літературі існує значна кількість публікацій, де оцінюють вплив різних політик на розвиток ВДЕ. Наприклад, А. Маркес та Дж. Фунхас [7] вивчали вплив державної політики на розвиток ВДЕ в європейських країнах. Вони виявили, що політика стимулювання/субсидування та відповідні процеси є важливими чинниками використання відновлюваної енергії. М. Ніколіні та М. Тавоні [9] перевірили ефективність політики підтримки відновлюваної електроенергетики в п'яти найбільших європейських країнах з 2000 по 2010 рік. Вони виявили позитивну кореляцію між субсидіями, виробництвом енергії та встановленою потужністю. Виявилось, що «зелені» тарифи є більш ефективним інструментом стимулювання розвитку відновлюваної енергетики, ніж «зелені» сертифікати в обігу.

А. Маркес та ін. [2] проаналізували фактори, що сприяли розвитку відновлюваної енергетики в європейських країнах з 1990 по 2006 рік. Вони виявили, що лобювання традиційних джерел енергії та викиди CO₂ перешкоджали

розвитку відновлюваної енергетики, в той час як зменшення енергетичної залежності стимулювало використання відновлюваних джерел енергії. Дослідження підтримало директиву ЄС, що сприяє використанню відновлюваних джерел енергії. С. Дженнер та ін. [3] провели економетричний аналіз ефективності політики «зелених» тарифів у сприянні розвитку сонячної фотоелектричної та наземної вітрової енергетики в 26 країнах ЄС. Вони виявили, що політика «зелених» тарифів значною мірою стимулювала розвиток сонячної енергетики, але не було знайдено переконливих доказів щодо розвитку вітроенергетики.

Т. Болкесйо та ін. [4] дослідили вплив схем підтримки виробництва електроенергії з відновлюваних джерел у п'яти найбільших країнах-споживачах електроенергії в Європі з 1990 по 2012 рік. Вони виявили, що «зелений» тариф суттєво вплинув на розвиток фотоелектричної та наземної вітроенергетики, тоді як стандарти портфеля ВДЕ мали позитивний вплив на біоенергетику для виробництва електроенергії, а тендерні схеми сприяли зростанню наземної вітроенергетики. Н. Кілінк-Ата [5] дослідив ефективність таких інструментів підтримки, як «зелені» тарифи, квоти, тендери та податкові пільги, у стимулюванні розвитку відновлюваної енергетики в 27 країнах ЄС та 50 штатах США. Результати показали, що «зелені» тарифи, тендери та податкові стимули були ефективними механізмами, тоді як квоти – ні.

Ф. Жанг [6] дослідив взаємозв'язок між встановленням тарифів і результатами політики, заснованої на розширенні вітроенергетичних потужностей у 35 європейських країнах за період 1991–2010 років. Дослідження показало, що вищі субсидії не обов'язково призводять до збільшення обсягів встановлення вітрових установок. Однак тривалість «зеленого» контракту та гарантований доступ до мережі були важливими факторами, що визначали ефективність політики.

Згадані роботи оцінювали вплив одного інструменту стимулювання або декількох з одного типу. Г. Болюк та Р. Каплан [8] дослідили вплив дуже широкого спектру інструментів стимулювання на розвиток відновлюваної енергетики в країнах ЄС та Туреччині з 2000 по 2018 рік. Вони виявили, що гранти, НДДКР, податки, сертифікація та політична підтримка позитивно вплинули на потужність відновлюваної енергетики. Однак прями інвестиції, кредити та інструменти чистого обліку не мали значного впливу на розвиток відновлюваної енергетики. Дослідження підкреслює важливість науково-дослідницької діяльності, податкових стимулів та ефективного розробки політики для переходу до зеленої економіки.

Метою статті є оцінка впливу різних стимулюючих політик в 25 країнах ЄС упродовж 2000–2021 рр. на потужності ВДЕ загалом та її видів.

Результати дослідження. Країни ЄС використовують різноманітні інструменти для стимулювання розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Серед них популярними є гранти та субсидії, що передбачають пряму фінансову підтримку для техніко-економічних обґрунтувань, науково-дослідницької діяльності, встановлення та експлуатації систем, а також розвитку бізнесу. Гранти надаються місцевими органами влади, громадськими організаціями або неприбутковими організаціями, а субсидії передбачають пряму допомогу, зниження податків та іншу спеціальну підтримку для зниження операційних витрат підприємств у довгостроковій перспективі.

Гранти можуть комбінуватися зі змішаною політикою та субсидованими кредитами для сприяння розширенню використання ВДЕ та підвищення енергоефективності. Субсидії спонукають до здійснення коштовних інвестицій та знижують початкові капітальні витрати на ВДЕ. Капітальні субсидії можуть сприяти створенню рівних умов конкуренції із традиційними енергетичними технологіями [10].

Звільнення від оподаткування (*exemption*) та податкові кредити (*credits*) є ефективними інструментами для стимулювання інвестицій у ВДЕ. Звільнення від оподаткування сприяє збільшенню інвестицій у ВДЕ шляхом зменшення податкового навантаження на інвесторів. Податкові кредити на придбання та встановлення обладнання для ВДЕ сприяють проникненню ВДЕ на ринок та зменшенню загального боргового навантаження.

Податковий кредит – це грошова сума, яку платники податків можуть вирахувати з податків, які вони зобов'язані сплатити державі. Це дозволяє зменшити витрати на інвестиції у ВДЕ та зробити їх більш привабливими для інвесторів. Наприклад, податок на викиди вуглецю збільшує витрати на спалювання вугільного палива, тому податковий кредит на придбання та встановлення обладнання для ВДЕ може зменшити ці витрати та стимулювати інвестиції в сектор [10].

Застосування подібних інструментів податкової політики може допомогти збільшити інвестиції у ВДЕ та сприяти їх проникненню на ринок енергетики. Враховуючи ці аспекти, можна зрозуміти важливість розробки та впровадження ефективних політичних інструментів та стратегій для стимулювання розвитку відновлюваних джерел енергії та підвищення енергоефективності в країнах ЄС.

«Зелені» тарифи/премії та гарантія фіксованої ціни є ефективними інструментами політики для стимулювання розвитку ВДЕ. «Зелений» тариф/премія встановлює плату за одиницю продукції для виробників ВДЕ з довгостроковими контрактами на певний період часу, що дозволяє забезпечити стабільний дохід для інвесторів [11]. Гарантія фіксованої ціни (*Feed-in Tariff*) забезпечує

виробникам електроенергії з ВДЕ гарантовану купівлю електроенергії за фіксованою ціною за кВт-год [12].

«Зелені» тарифи є також одним з найбільш поширених механізмів підтримки ВДЕ в світі. Вони надають гарантію надбавки до ціни на електроенергію, отриману з відновлюваних джерел, що забезпечує збільшення привабливості інвестицій в цей сектор.

Однією з найбільших перешкод для інвестицій у ВДЕ є високі початкові капітальні витрати на проекти ВДЕ у світі. Фінансова допомога у вигляді низьковідсоткових, довгострокових кредитів та кредитних гарантій відіграє важливу роль у розвитку ВДЕ за рахунок зменшення вартості капіталу та ефективного зниження середньої вартості енергії на одиницю продукції та інвестиційного ризику.

Вуглецеве ціноутворення – це механізм, який дозволяє перекласти шкоду, спричинену викидами вуглецю, на тих, хто несе за це відповідальність, і на тих, хто може її зменшити. Існують дві основні системи ціноутворення на вуглець: системи торгівлі квотами на викиди (СТВ) та вуглецеві податки. У системі торгівлі квотами на викиди встановлюється ліміт (або верхня межа) на загальний обсяг викидів парникових газів, що дозволяє підприємствам з низьким рівнем викидів продавати свої надлишкові квоти фірмам, які викидають більші обсяги. Застосування СТВ встановлює ринкову ціну на викиди парникових газів, створюючи сприятливий ринок квот на викиди. Вуглецевий податок встановлює ціну безпосередньо на вуглець шляхом встановлення податкової ставки на викиди ПГ та/або на вміст вуглецю у вугільному паливі [13].

Інноваційні фінансові механізми, такі як зелені облігації та інші форми інвестицій у ВДЕ, також допомагають забезпечити потрібні ресурси для реалізації проектів з ВДЕ. Зелені облігації – це вид боргових цінних паперів, випуск яких спеціально призначений для фінансування екологічно сталих проектів, таких як ВДЕ. Вони можуть бути випущені корпораціями, урядами або міжнародними фінансовими установами.

Тендерні програми (аукціони) дозволяють урядам просувати розвиток ВДЕ за допомогою конкурентних процесів, які можуть привести до зниження вартості проектів. Вони також можуть сприяти диверсифікації джерел енергії та залученню нових гравців на ринок. Такі програми можуть бути ефективними, якщо їх правильно сплановано та регулярно оновлюється, щоб враховувати зміни на ринку та технологічні прогрес [11].

Стандарт портфеля відновлюваних джерел енергії (*The renewable portfolio standard*) зазвичай застосовується разом з «зеленими» тарифами, проте їх механізми відрізняються. Механізм «зеленого» тарифу базується на ціні, яка встановлюється урядом та може включати фіксовану ціну та надбавку до неї. За механізмом СТВ стимул до використання ВДЕ базується на кількості, оскільки він накладає зобов'язання на компанії з виробництва та передачі електроенергії забезпечувати визначену частину електроенергії з джерел ВДЕ. Для кожної мегават-години ВДЕ, виробленої для виконання обов'язкових квот, виробникам виділяється сертифікат. Стимулювання розвитку ВДЕ за допомогою механізму СТВ базується на конкуренції між різними технологіями ВДЕ на приватному ринку.

Чистий облік (*Net metering*) – це механізм виставлення рахунків за електроенергію, який дозволяє споживачам з електрогенераторами використовувати надлишкову електроенергію, яку вони виробляють. Цей вид стимулів часто застосовується для розвитку малих сонячних фотоелектричних систем на дахах та малих вітрових турбін [12].

Крім того, регуляторні політики можуть сприяти розвитку ВДЕ за допомогою стимулювання науково-техніч-

них досліджень та розвитку, поширення нових технологій та забезпечення навчання та освіти у сфері ВДЕ. Наприклад, уряди можуть забезпечувати фінансування для наукових досліджень та розробок, сприяти співпраці між приватним сектором та науково-дослідницькими установами та розвивати кваліфікацію фахівців у галузі ВДЕ.

Забезпечення стабільної та передбачуваної регуляторної політики є важливим фактором для залучення інвестицій у ВДЕ. Це може включати надання довгострокових гарантій для інвесторів, забезпечення прозорості регуляторного процесу та надання державної підтримки для ризикованих проєктів або там, де потрібна додаткова підтримка.

У сукупності, ефективна регуляторна політика є ключовим фактором для розвитку ВДЕ та досягнення цілей в області зменшення викидів парникових газів та забезпечення енергетичної безпеки.

Для дослідження зв'язку між політиками стимулювання та впровадженням ВДЕ у ЄС використано регресійний аналіз панельних даних. Нами зібрано дані за період з 2000 по 2021 р. для 25 країн ЄС: Австрію, Бельгію, Болгарію, Хорватію, Чехію, Данію, Естонію, Фінляндію, Францію, Німеччину, Грецію, Угорщину, Ірландію, Італію, Латвію, Литву, Люксембург, Нідерланди, Польщу, Португалію, Румунію, Словаччину, Словенію, Іспанію, Швецію та Чехію. Мальта та Кіпр не були включені через недостатню кількість даних.

Оскільки об'єктами оцінки є економіки, кожна з яких володіє своїми індивідуальними особливостями, було обрано модель з фіксованими ефектами. Також ця модель враховує неспостережувані чинники, які відрізняються для різних моментів часу.

З метою перевірки гіпотези про вплив рівня ВДЕ попередніх періодів було також оцінено динамічну модель панельних даних. Така модель включає лаг залежної змінної як одну з пояснювальних змінних. У нашому дослідженні це означає, що встановлена потужність попередніх періодів може позитивно впливати на поточну потужність ВДЕ. Використання цього підходу здатне забезпечити ефективніші оцінки параметрів у порівнянні з традиційною статичною оцінкою з фіксованим ефектом, пропонуючи декілька переваг: усунення окремих неспостережуваних ефектів країни; вирішення проблеми ендогенності незалежних змінних шляхом використання їх лагових значень як інструментальних змінних; управління колінеарністю між змінними; можливість перевірки значної кореляції між поточними та попередніми встановленими потужностями ВДЕ.

Зібрані дані змінних були логарифмовані для усунення асиметричності їх розподілу.

Модель панельних даних з одним лагом виглядає наступним чином:

$$REC_{yit} = \beta_0 + \sum_{j=1}^j \beta_j P_{jyt-1} + \sum_{k=1}^k \delta_k K_{kit-1} + d_i + d_t + \mu_{yit} \quad (1)$$

де REC_{yit} – це обсяг електроенергії, згенерований з ВДЕ, у позначає джерело ВДЕ (біо, сонячна, вітрова та загальна кількість ВДЕ), i – країну, а t – рік. Як незалежні змінні ми включаємо різні інструменти стимулювання, а також контрольні змінні. Ці інструменти представлені вектором P_{yit-1} , який є вектором пояснювальних змінних. Політика стимулювання не може негайно збільшити виробництво електроенергії – цей процес може зайняти до 1-2 років. Причиною затримки є те, що інвестиційний процес, наприклад, встановлення вітрогенераторів чи сонячних панелей, а також процедура отримання дозволів може зайняти тривалий час. Тому ми використовуємо один лаг для відповідної змінної політики стимулювання

та інших контрольних змінних у поточному дослідженні. j представляє тип інструменту стимулювання, такого як «зелені» тарифи, гранти та субсидії, кредити, податки, сертифікати на викиди, що продаються. Коефіцієнти контрольних змінних показані δ_k , де K – вектор, що включає різні контрольні змінні, такі як логарифм чистого імпорту енергоносіїв на душу населення, логарифм ВВП на душу населення, логарифм викидів CO₂ на душу населення, логарифм чистого споживання електроенергії на душу населення та логарифм виробництва електроенергії з викопних джерел та атомної енергетики. Ми також включили в модель фіктивну змінну країни (d_i) та фіктивну змінну часу (d_t). μ_{yit} – це похибки.

У процесі оцінювання динамічних панельних даних використовуються лаги залежних змінних як пояснювальні змінні. У такий спосіб лагові значення залежних змінних стають інструментами для контролю ендогенності. Таким чином, ми використовуємо узагальнені методи моментів (GMM) для отримання ефективних та узгоджених результатів за наявності різних видів ендогенності (наприклад, ендогенності лагової залежної змінної та інших потенційно ендогенних пояснювальних змінних). Крім того, ми уникаємо небажаної втрати даних. Цей метод вирішує проблему гетероскедастичності та дозволяє отримати ефективні та неупереджені результати:

$$REC_{yit} = REC_{yit-1} + \sum_{k=1}^k \delta_k K_{kit-1} + u_{yit} \quad (2)$$

Рівняння моделі є модифікованою версією динамічних панельних даних GMM Ареллано-Бовера/Бланделла-Бонда і допомагає нам зрозуміти, як економічні змінні та змінні, пов'язані з енергетичною безпекою та навколишнім середовищем (наприклад, ВВП, викиди CO₂, енергоспоживання та ядерна енергетика), впливають на встановлену потужність ВДЕ в країнах ЄС. Модель охоплює тест AR(1) та AR(2) для оцінки послідовної кореляції члена помилки. Якщо країна має залежність від імпорту енергоносіїв, ми очікуємо підтвердження того, що її інвестиції у відновлювані джерела енергії зростають. Ми очікуємо, що використання ВДЕ та їх потужності зростатимуть, коли зростатиме рівень доходу, оскільки вищий рівень доходу означає більше потенційних джерел для інвестицій у ВДЕ. Ми очікуємо, що більші викиди CO₂ означають більшу потужність ВДЕ. Нарешті, зі збільшенням виробництва електроенергії з викопних джерел та атомної енергетики ми очікуємо зменшення частки ВДЕ.

Залежною змінною нашого аналізу є загальна встановлена потужність (у МВт) ВДЕ у конкретній країні та році у конкретному підсекторі, такому як вітер, сонце та біомаса (див. таблицю 1).

Інструменти політики у сфері ВДЕ є важливими пояснювальними змінними, які включають прямі інвестиції, «зелені» тарифи/премії, гранти та субсидії, кредити, податки та податкові пільги, торгівлю квотами на викиди парникових газів та сертифікатами, що вимірюються на рівні країни за рік. Дані про ці змінні отримані з бази даних IEA/IRENA [14]. Інструменти політики представлені фіктивними (бінарними) змінними, які приймають значення 1, якщо країна прийняла відповідний інструмент політики (наприклад, «зелені» тарифи, податки), і нуль – в іншому випадку.

Перед інтерпретацією отриманих результатів, необхідно переконатися у відсутності неспостережуваних ефектів країни та часу, гетероскедастичності, послідовної кореляції та перехресної залежності. На основі результатів тестів, наведених у табл. 1, ми бачимо необхідність врахування ефектів країни та часу в моделях з різними

Характеристики залежних та незалежних змінних

Змінні		N	Середнє	Відхв	Мін	Макс	Джерело
Залежні змінні (Y)							
REW_BIO	Встановлена потужність біоенергетики (ГВт-год)	603	1008,7	1461	0	9648	IEA/IRENA
REW_SOLAR	Встановлена потужність сонячної енергетики (ГВт-год)	603	1854,3	5451,1	0	45181	IEA/IRENA
REW_WIND	Встановлена потужність вітроенергетики (ГВт-год)	603	3696	7000,8	0	58843	IEA/IRENA
REW_TOTAL	Загальна встановлена потужність ВДЕ (за винятком гідроенергетики) (ГВт-год)	603	6612,8	13186	0	113711	IEA/IRENA
Незалежні змінні (X)							
Інструменти стимулювання							
D_invest	Прямі інвестиції				0	1	IEA/IRENA
FIT	Зелені тарифи/премії				0	1	IEA/IRENA
GRANT	Гранти та субсидії				0	1	IEA/IRENA
LOAN	Кредити				0	1	IEA/IRENA
TAX	Податки та податкові пільги				0	1	IEA/IRENA
CERT	Торгівля квотами на викиди парникових газів та сертифікатами на викиди парникових газів				0	1	IEA/IRENA
POL	Підтримка політики				0	1	IEA/IRENA
REG	Нормативні вимоги				0	1	IEA/IRENA
R&D	Дослідження, розробка та розгортання				0	1	IEA/IRENA
MET	Вимірювання нетто				0	1	IEA/IRENA
Контрольні змінні							
NETIMP	Чистий імпорт енергоносіїв на душу населення (н,с,)	496	2,0	1,7	-1,9	10,1	IEA
GDPP	ВВП на душу населення (у мільярдах доларів США, постійний 2010 рік)	513	31643,5	21616,2	3984,8	111968,4	СВІТОВИЙ БАНК
NETCON	Чисте споживання електроенергії на душу населення (МВт-год)	513	6,0	3,2	1,5	16,6	IEA
CO ₂	CO ₂ на душу населення (метричні тонни)	513	7,5	3,5	2,8	24,7	IEA
FOS	Виробництво електроенергії з викопних джерел (нафта, газ та вугілля) (% від загального виробництва)	513	55,1	26,9	1,1	150,8	IEA
NUC	Виробництво електроенергії на АЕС (% від загального виробництва)	512	19,5	23,3	0	84,1	IEA

залежними змінними. Вона містить результати тестів однорідності та перевірки моделі Хаусмана для різних типів ВДЕ: сонячна, біомаса та вітроенергія, а також для загального показника відновлювальних джерел енергії. У першому стовпці наведені значення F-статистики для тесту однорідності, який використовується для перевірки, чи мають різні групи однакову дисперсію. Чим більше значення F-статистики, тим менше ймовірність того, що різні групи мають однакову дисперсію.

У другому стовпці наведені значення LR-статистики для тесту Хаусмана, який використовується для порівняння двох моделей: фіксовані ефекти та випадкові ефекти. Чим більше значення LR-статистики, тим більше доказів на користь моделі з випадковими ефектами.

У третьому стовпці наведені значення LM-статистики для тесту однорідності на рівні часу, що порівнює дисперсію помилок між різними часовими періодами. Чим більше значення LM-статистики, тим менше ймовірність того, що різні періоди мають однакову дисперсію.

У четвертому стовпці наведені результати тесту Хаусмана для оцінювання ефектів на рівні часу. Якщо значення тесту Хаусмана є значимим, то модель з випадковими ефектами є більш ефективною.

Таким чином, ми дійшли висновку, що оцінювання всіх моделей за допомогою МНК дасть зміщені результати.

Таблиця 2

Ефекти за часовими одиницями та тест Хаусмана

	F	LR	LM	Hausman
Сонячна енергетика	21,3	256,4	408,6	521,65***
Біоенергетика	32,04	346,41	1146,28	37,4***
Вітроенергетика	34,28	398,2	1016,24	6,5
Відновлювальна енергетика загалом	37,76	401,01	1028,41	49,82***

***, **, та *, відповідно, позначають рівні значущості 1%, 5% та 10%.

Крім того, слід зазначити, що оскільки ми маємо короткі панельні дані ($N > T$), немає необхідності проводити тест на одиничний корінь та коінтеграцію. Однак ми застосували тест Хаусмана, щоб визначити, чи доцільно використовувати модель з фіксованим ефектом (FE) чи модель з випадковим ефектом для оцінювання цих моделей. Результати тесту свідчать на користь використання FE для моделей сонячної, біологічної та загальної ВДЕ,

тоді як для моделі вітру пропонується використовувати модель з випадковим ефектом.

Після визначення типу моделі та оцінювача ми тестуємо на гетероскедастичність, автокореляцію та перехресну залежність. Перехресна залежність перевіряється за допомогою CD-тесту Песарана, тесту Фрідмана та тесту Фріса. Для перевірки автокореляції ми використовуємо критерій найкращого локального інваріанту (LBI) Балтагі та Ву, а також критерії Дарбіна-Уотсона, Бхаргави, Франціні та Нарендратана. Нарешті, застосовуючи модифікований тест Вальда, ми перевірили, чи існує проблема гетероскедастичності для моделі з фіксованим ефектом.

Ми виявили наявність гетероскедастичності, автокореляції та перехресної залежності для всіх моделей, як показано в Таблиці 3. Ми використали непараметричну коваріаційну оцінку Дрісколла-Крея для виправлення цих проблем.

Згідно з результатами (див. табл. 4), «зелений» тариф (FIT), має позитивний вплив на встановлену потужність біоенергетики та сонячної енергетики, проте не сприяє зростанню загальної встановленої потужності ВДЕ. Цікаво, що, розглядаючи встановлену потужність вітроенергетики, ми також знаходимо від'ємний та значущий коефіцієнт «зеленого» тарифу для вітроенергетики. Крім того, ми бачимо значний позитивний вплив грантів (GRANT) на вітрову та загальну потужність ВДЕ. Кредитування (LOAN) демонструє позитивний коефіці-

єнт, який, однак, є значущим лише для вітроенергетики. Згідно з результатами, хоча CERT має позитивний коефіцієнт для біоенергетики та загальних потужностей ВДЕ, він не має стимулюючого впливу на сонячну та вітрову енергетику. Ми також виявили значущий і негативний зв'язок між REG та загальним обсягом ВДЕ і біоенергетикою. Як і очікувалось, ми виявили, що податки (TAX) та НДДКР (R&D) позитивно впливають на потужність ВДЕ, окрім вітрової енергетики. POL позитивно впливають на загальну потужність ВДЕ, але негативно на потужність сонячної енергетики.

Несподівано ми спостерігаємо від'ємний та значущий коефіцієнт для регуляторних інструментів у стимулюванні розвитку ВДЕ.

Відповідно до отриманих результатів, MET та DIR виявилися неефективними для стимулювання нарощування потужностей ВДЕ. Наші результати показують, що, серед іншого, R&D, CERT, GRANT, TAX, та POL є дуже важливими стимулюючими механізмами для розвитку загального обсягу ВДЕ. Цей стимулюючий ефект відображається високим рівнем статистичної значущості на 1% та 5% рівні та позитивними коефіцієнтами. Однак, ці стимули мають неоднозначні результати для різних типів ВДЕ.

Наступним кроком аналізу є з'ясування, які контрольні змінні збільшують частку відновлюваних джерел енергії. Результати в Таблиці 3 показують, що NET-IMP є значущим для сонячної та загальної ВДЕ, але, всупереч очі-

Таблиця 3

Тести на гетероскедастичність, автокореляцію та перехресну залежність

	Біоенергетика	Сонячна енергетика	Вітроенергетика	Відновлювальна енергетика загалом
Модифікований тест Вальда	5089***	3105***	24571***	14015***
CD-тест Песарана Pesaran's	6,63***	9,98***	11,06***	12,11***
тест Фрідмана	62,01**	20,76	88,38***	47,82***
тест Фріса	9,41***	7,84***	10,74***	7,08***
Бхаргави, Франціні та Нарендратана DW	0,88	0,6	0,69	0,78
Балтагі та Ву LBI	1,49	0,68	0,88	1,12

***, ** та * відповідно, позначають рівні значущості 1%, 5% та 10%

Таблиця 4

Результати оцінки

Змінні	Біоенергетика	Сонячна енергетика	Вітроенергетика	Відновлювальна енергетика загалом
FIT	0,67* (1,75)	0,13** (2,91)	-0,43* (-1,98)	0,02 (0,37)
DIR	-0,71 (-1,29)	-0,1 (-1,42)	0,06 (0,3)	-0,09 (-1,34)
GRANT	0 (0,01)	-0,03 (-0,28)	0,96** (2,52)	0,23** (2,95)
LOAN	-0,32 (-0,5)	0,11 (1,6)	1,05** (2,81)	-0,01 (-0,08)
TAX	1,81* (2,01)	0,43*** (3,53)	-0,21(-0,66)	0,41** (2,7)
CERT	1,62 (1,05)	0,59* (1,82)	0,64 (0,88)	0,33** (2,58)
POL	-0,88* (-1,9)	-0,15 (-1,31)	1,69* (1,87)	0,22** (2,27)
REG	0,13 (0,4)	-0,23* (-1,77)	-0,09 (-0,43)	-0,42*** (-4,25)
R&D	0,69** (2,14)	0,21** (3,05)	-0,48** (-2,12)	0,32*** (5)
MET	-0,55 (-1,01)	-0,12 (-1,58)	0,92 (1,06)	0 (0,02)
NETIMP	-1,76*** (-3,42)	-0,07 (-0,32)	0,36 (0,71)	-0,32* (-1,99)
GDPP	-5,58 (-1,29)	-1,18*** (-3,67)	7,35** (2,7)	-0,43 (-1,1)
NETCON	2,16 (0,34)	-0,49 (-0,79)	-5,07 (-0,64)	0,35 (0,5)
CO ₂	4,32** (2,49)	-0,03 (-0,1)	-4,3** (-2,35)	0,29 (0,62)
FOS	-0,69 (-1,46)	0,2 (1,54)	0,83 (1,54)	0,1 (0,8)
NUC	-0,11 (-1,23)	0,09* (1,8)	0,36** (2,61)	0,05 (1,57)
R2	0,8958	0,8025	0,7946	0,9125
F	129,91	127,37	78,3	1729,09

***, ** та * позначають відповідно 1%, 5% та 10% рівень значущості. t-значення наведені в таблицях. Оцінки включають як фіктивні змінні країни, так і фіктивні змінні часу

Авторегресивна модель (Arellano-Bover/Blundell-Bond GMM оцінки)

Змінні	Сонячна енергетика	Біоенергетика	Вітроенергетика	Відновлювальна енергетика загалом
RESt-1	0,96*** (30,14)	0,26*** (7,46)	0,88*** (14,84)	0,79*** (16,47)
NETIMP	0,13 (1,01)	-0,37*** (-7,92)	0,04 (0,39)	-0,01(-0,27)
GDPP	-0,06 (-0,81)	0,19*** (8,01)	0,16** (2,22)	0,14*** (4,29)
NETCON	0,53 (0,83)	2,86*** (12,63)	-0,44 (-0,62)	0,41 (1,24)
CO ₂	-0,55 (-0,93)	-2,35*** (-12,6)	0,09 (0,13)	-0,62** (-2,03)
FOS	0,39* (1,73)	0,52*** (7,52)	-0,04 (-0,19)	0,18 (1,63)
NUC	0,01 (1,13)	0,04*** (9,69)	0,01 (0,48)	0,02*** (3,46)
AR (1)	-6,94***	-1,33	-9,51***	-1,63
AR (2)	-1,19	0,2	1,04	-0,31
Sargan	33,89***	64,97***	21,77**	107,70***

***, ** та * відповідно, позначають рівні значущості 1%, 5% та 10%

куванням, його знак є від'ємним. NUC має позитивний зв'язок із загальною вітровою та біоенергією. В той час як GDPP позитивно впливає на вітрову потужність, він негативно впливає на біоенергетичну потужність. Викиди CO₂ мають позитивний коефіцієнт для сонячної енергетики, але негативний для вітрової енергетики. Наші результати показують, що інші змінні, такі як NETCON, FOS та NUC, виявляються малозначущими.

Рівняння 2 оцінене з допомогою МНК. Таблиця 5 містить результати оцінки GMM і представляє відповідну статистику тестів. Тест Саргана показує, що обмеження, створені внаслідок використання інструментів, є обґрунтованими, а отже, надмірної детермінації не існує. Тест на автокореляцію в диференційованій похибці AR(1) є значущим і відкидає нульову гіпотезу, що відповідає стандартним очікуванням для GMM моделі і свідчить про те, що автокореляції не існує.

Результати нашого дослідження показують, що залежна змінна RESt-1 з лагом має позитивний вплив і є статистично значущою на рівні 1%, що вказує на те, що високі значення RESt-1 мають місце постійно з минулого в майбутнє для всіх видів встановленої потужності ВДЕ. В той час як GDPP та NUC стимулюють ВДЕ, CO₂ зменшує загальну потужність ВДЕ. Цікаво, що CO₂ демонструє від'ємний і значущий коефіцієнт, вказуючи на те, що збільшення викидів не є важливим фактором для розгортання ВДЕ. Цей результат показує, що країни віддають перевагу дешевим викопним видам палива перед ВДЕ у використанні енергії та/або пом'якшенні наслідків викидів парникових газів не були належним чином інтегровані в політику ЄС у сфері ВДЕ. Економічне зростання генерує збільшення виробництва, що призводить до більшого споживання енергії. Як і очікувалося, наші результати показують, що ВВП позитивно впливає на розвиток ВДЕ: вищий рівень ВВП відповідає більшій кількості встановлених потужностей ВДЕ.

Висновки. Таким чином, результати нашого дослідження демонструють різнонаправлений вплив інструментів та політик стимулювання ВДЕ на різні види ВДЕ в країнах ЄС. Зокрема, політики щодо TAX, GRANTS, та R&D виявилися найефективнішими інструментами для розвитку ВДЕ в аналізованих країнах. Це означає,

що серед інших, фіскальні та фінансові інструменти, як правило, є більш ефективними, ніж інші види стимулів в енергетичному секторі. Це можна пояснити тим, що такі стимули знижують вартість встановлення та експлуатації електростанцій. Крім того, ринкові стимули, такі як сертифікати та структура політики підтримки, також мають позитивний вплив на потужність ВДЕ-електростанцій. Наші результати показують, що політика у сфері ВДЕ сприяла збільшенню потужностей ВДЕ; однак, чистий облік, прямі інвестиції та кредити не мають бажаного впливу на збільшення ВДЕ. Оскільки ефекти від інвестицій в інфраструктуру будуть помітні в довгостроковій перспективі, їх вплив РДН не мав сенсу. Як і кредити та чистий облік, «зелений» тариф не показав значного впливу на загальний обсяг ВДЕ, за винятком біоенергії та сонячної енергії. Обсяг витрат і важливість політики можуть бути недостатньо високими для стимулювання розвитку ВДЕ. Крім того, регулювання та прямі інвестиції створюють стримуючий вплив на потенціал ВДЕ. Можна зробити висновок, що регулювання не забезпечує надійного та довгострокового сигналу для інвесторів у ВДЕ. Наші результати підкреслюють важливість інструментів стимулювання ВДЕ, які знизять вартість інвестицій в ВДЕ з точки зору успішності механізмів ВДЕ.

Оцінки динамічної панелі даних показують, що потужність ВДЕ у попередньому періоді має позитивний і значний стимулюючий вплив на поточну потужність ВДЕ. Більше того, результати наших оцінок підкреслюють, що споживання викопних енергоносіїв, ядерна енергія та ВВП є важливими факторами розвитку ВДЕ, в той час як чистий імпорт (енергетична безпека) та викиди CO₂ не є такими факторами. Наші результати показують, що лобі викопного палива не є дуже ефективним, а занепокоєння щодо ядерної енергетики є досить сильним в проаналізованих країнах. Цікаво, що збільшення викидів парникових газів не може створити сильний стимул для інвестицій у ВДЕ в аналізованих країнах. Той факт, що технології ВДЕ мають відносно високу вартість і не можуть конкурувати з традиційними енергетичними технологіями без будь-якої політики підтримки, можливо, вплинув на отриманий результат.

Список використаних джерел:

1. Nicolini M., Tavoni M. Are renewable energy subsidies effective? Evidence from Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. № 74. P. 412–423.
2. Marques A. C., Fuinhas J. A., Manso J. R. P. Motivations driving renewable energy in European countries: a panel data approach. *Energy Policy*. 2010. № 38. P. 6877–6885.
3. Jenner S., Groba F., Indvik J. Assessing the strength and effectiveness of renewable electricity feed-in tariffs in European Union countries. *Energy Policy*. 2013. № 52. P. 385–401.

4. Bolkesjø T. F., Eltvig P. T., Nygaard E. An Econometric Analysis of Support Scheme Effects on Renewable Energy Investments in Europe. *Energy Procedia*. 2014. № 58. P. 2–8.
5. Kilinc-Ata N. The evaluation of renewable energy policies across EU countries and US states: an econometric approach. *Energy for Sustainable Development*. 2016. № 31. P. 83–90.
6. Zhang F. How fit are Feed-in tariff policies: evidence from the European wind market, *World Bank, Policy Research Working Paper*. 2013. № 6376. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/13185/wps6376.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення: 05.05.2023).
7. Marques A. C., Fuinhas J. A. Are public policies towards renewables successful? Evidence from European countries. *Renewable Energy*. 2012. № 44. P. 109–118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.007>
8. Bölük G., Kaplan R. Effectiveness of renewable energy incentives on sustainability: evidence from dynamic panel data analysis for the EU countries and Turkey. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2021. № 29, P. 26613–26630.
9. Nicolini M., Tavoni M. Are renewable energy subsidies effective? Evidence from Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. № 74. P. 412–423.
10. IRENA. Renewable Energy Policies in a Time of Transition. 2018. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_IEA_REN21_Policies_2018.pdf (дата звернення: 05.05.2023).
11. REN21. Renewables 2019, Global Status Report. 2019. URL: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf (дата звернення: 05.05.2023).
12. REN21. Renewables 2020, Global Status Report. 2020. URL: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf (дата звернення: 05.05.2023).
13. WB. Putting a Price on Carbon with a tax. World Bank (WB). 2019. URL: https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Climate/background-note_carbon-tax.pdf (дата звернення: 05.05.2023).
14. IEA/IRENA Global Renewable Energy Policies and Measures Database. URL: <https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/library/iea-irena-global-renewable-energy-policies-and-measures-database> (дата звернення: 05.05.2023).

References:

1. Nicolini, M., & Tavoni, M. (2017) Are renewable energy subsidies effective? Evidence from Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 74, pp. 412–423.
2. Marques, A. C., Fuinhas, J. A., & Manso, J. R. P. (2010) Motivations driving renewable energy in European countries: a panel data approach. *Energy Policy*, no. 38, pp. 6877–6885.
3. Jenner, S., Groba, F., & Indvik, J. (2013) Assessing the strength and effectiveness of renewable electricity feed-in tariffs in European Union countries. *Energy Policy*, no. 52, pp. 385–401.
4. Bolkesjø, T. F., Eltvig, P. T., & Nygaard, E. (2014) An Econometric Analysis of Support Scheme Effects on Renewable Energy Investments in Europe. *Energy Procedia*, no. 58, p. 2–8.
5. Kilinc-Ata, N. (2016) The evaluation of renewable energy policies across EU countries and US states: an econometric approach. *Energy for Sustainable Development*, no. 31, pp. 83–90.
6. Zhang F. (2013) How fit are Feed-in tariff policies: evidence from the European wind market, World Bank, Policy Research Working Paper, no. 6376. Available at: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/13185/wps6376.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed 5 May 2023).
7. Marques, A. C., & Fuinhas, J. A. (2012) Are public policies towards renewables successful? Evidence from European countries. *Renewable Energy*, no. 44, pp. 109–118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.007>
8. Bölük, G., & Kaplan, R. (2021) Effectiveness of renewable energy incentives on sustainability: evidence from dynamic panel data analysis for the EU countries and Turkey. *Environmental Science and Pollution Research International*, no. 29, pp. 26613–26630.
9. Nicolini, M., & Tavoni, M. (2017) Are renewable energy subsidies effective? Evidence from Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 74, pp. 412–423.
10. IRENA (2018) Renewable Energy Policies in a Time of Transition. Available at: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_IEA_REN21_Policies_2018.pdf (accessed May 5, 2023).
11. REN21 (2019) Renewables 2019, Global Status Report. Available at: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf (accessed May 5, 2023).
12. REN21 (2020) Renewables 2020, Global Status Report. Available at: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf (accessed May 5, 2023).
13. WB (2019) Putting a Price on Carbon with a tax. World Bank (WB). Available at: https://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Climate/background-note_carbon-tax.pdf (accessed May 5, 2023).
14. IEA/IRENA Global Renewable Energy Policies and Measures Database. Available at: <https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/library/iea-irena-global-renewable-energy-policies-and-measures-database>

INVESTMENTS IN RENEWABLE ENERGY IN THE EU: EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF INCENTIVES

Summary. This study uses panel data regression analysis to examine the relationship between incentive policies and the deployment of renewable energy sources (RES) in the European Union (EU). Data for 25 EU countries were collected from 2000 to 2021, with Malta and Cyprus excluded due to insufficient data. A fixed effects model was utilised to consider individual country characteristics and unobservable factors that differ over time. Additionally, a dynamic panel data model was estimated to assess the influence of prior RES capacity on current capacity, offering more efficient parameter estimates than traditional static fixed-effect estimation. Our findings reveal the multidirectional impact of various RES incentive instruments and policies on different types of RES in the EU. Fiscal and financial instruments, such as taxes, grants, and R&D policies, proved more effective in promoting RES development than other incentive types in the energy sector. Market-based incentives, including certificates and support policy frameworks, also positively impacted the capacity of RES power plants. However, net metering, direct investment, and loans did not significantly increase RES, while regulation and direct investment appeared to constrain RES potential. The dynamic panel data estimates demonstrate that previous RES capacity positively and significantly influences current capacity. Furthermore, our estimation results emphasise that fossil energy consumption, nuclear energy, and GDP are

critical determinants of RES development. Interestingly, net imports (energy security) and CO₂ emissions were not significant factors driving RES growth. The results also indicate that the fossil fuel lobby could be more highly effective, and concerns about nuclear power are quite strong in the analysed countries. This study highlights the importance of RES incentive instruments that reduce investment costs for the success of RES mechanisms, stressing the need for supportive policies to enhance the competitiveness of renewable energy technologies. It emphasises that although some incentive policies have effectively promoted RES development, others, such as net metering, direct investment, and loans, have not achieved the desired results. In conclusion, understanding the effectiveness of various incentive instruments and policies is crucial for driving further RES development and improving the overall sustainability of the energy sector in the EU.

Key words: renewable energy sources, European Union, Incentive policies, Panel data regression analysis, Fixed effects model, Dynamic panel data model, Fiscal and financial instruments, Energy sector sustainability.