

УДК 620.9+621.315.592

DOI 10.36910/6775.24153966.2020.70.3

Л.І. Никируй¹, О.В. Замуруєва², В.С. Федосов², О.М. Бірук², С.А. Федосов²¹Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника²Волинський національний університет імені Лесі Українки**НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ПРОГРЕС РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ**

Україна розглядається як країна, яка має водночас майже незаповнений ринок поновлюваних джерел енергії та науковий потенціал високого рівня. Приклад України показує дві проблеми, характерні для країн зі слабкою економікою: наявність великого розриву між результатами наукових досліджень та можливістю їхньої реалізації; наявність просунутих результатів у напрямках, які через необхідність значних інвестицій практично важко реалізувати (матеріалознавство для сонячної енергетики, термоелектрики, нових типів батарей тощо) та майже відсутні дослідження галузі, які інтенсивно розвиваються та є потенційно економічно вигідними (біопаливо, біоенергетика від сільськогосподарських відходів, енергія вітру). Такі дані можуть допомогти іноземним компаніям вийти на український ринок або полегшити комерціалізацію результатів досліджень українських вчених.

Ключові слова: відновлювальна енергетика, публікації, наукові дослідження, h-індекс, Україна.

**Л.И. Никируй, О.В. Замуруева, В.С. Федосов, О.Н. Бірук, С.А. Федосов
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УКРАИНЕ**

Украине рассматривается как страна, которая имеет в то же время почти незаполненный рынок возобновляемых источников энергии и научный потенциал высокого уровня. Пример Украины показывает две проблемы, характерные для стран со слабой экономикой: наличие большого разрыва между результатами научных исследований и возможностью их реализации; наличие продвинутых результатов в направлениях, которые из-за необходимости значительных инвестиций практически трудно реализовать (материаловедение для солнечной энергетики, термоэлектричества, новых типов батарей и т.д.) и почти отсутствуют исследования отрасли, которые интенсивно развиваются и потенциально экономически выгодны (биотопливо, биоэнергетика от сельскохозяйственных отходов, энергия ветра). Такие данные могут помочь иностранным компаниям выйти на украинский рынок или облегчить коммерциализацию результатов исследований украинских ученых.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, публикации, научные исследования, h-индекс, Украина.

**L. Nykyruy, O. Zamurujeva, V. Fedosov, O. Biruk, S. Fedosov
SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROGRESS OF RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT IN UKRAINE**

Ukraine has been considered as a country that has at the same time almost blank market for renewable energy and a high-level research potential. The example of Ukraine shows two problems typical for countries with a weak economy: the existence of a large gap between the results of scientific research and the possibility of their implementation; the availability of advanced results in the directions that, due to the need for significant investments, are very difficult to be implemented practically (materials science for solar power, thermoelectricity, new types of batteries, etc.) and almost no research in the industries that are intensively developing and are potentially economically profitable (biofuels, bioenergy from agricultural waste, wind energy). Such data can help foreign companies to enter the Ukrainian market or facilitate the commercialization of research results of Ukrainian scientists.

Keywords: Renewable energy, publications, scientific research, h-index, Ukraine.

Вступ. Проблема активного впровадження відновлювальних джерел енергії сьогодні є пріоритетом для кожної держави. Впершу чергу це пов'язано з екологією, безпекою, економікою та політикою. Відповідно, кожна держава сьогодні намагається різними шляхами сприяти все більшій підтримці впровадження відновлювальних джерел енергії. З однієї сторони, це сприяння у заохоченні різних компаній впроваджувати такі технології, з іншої – вкрай необхідною є підтримка наукових досліджень у відповідних сферах. Більше того, не лише окремі держави прагнуть забезпечити свою енергетичну безпеку та незалежність, але ці процеси активно розвивають міжнародні структури, як ЄС, НАТО тощо [1].

Аналіз стану наукових досліджень українських вчених може надати інформацію про фактори, які впливають на поширення відновлювальної енергетики в Україні. Результати вагомих досліджень публікують у наукових виданнях високого рівня, які індексуються міжнародними науко-метричними базами Scopus та WoS, і їх зможуть цитувати інші дослідники. Веб-сайти цих

баз дають можливість опрацювати велику кількість статистичної інформації, аналіз якої дає можливість здійснювати фахові прогнози.

Методологія досліджень. Наукові результати можна проаналізувати, якщо вони є у формі публікації. Для виключення кількох впливових публікацій для аналізу було відібрано лише рецензовані. Наукову літературу шукали в академічних бібліотеках, Web of Science, Scopus, рецензували англійською мовою та видавали книги, що стосуються даної тематики. Завдяки вдосконаленим інструментам наукометричних систем здійснювався пошук та відбір наукових праць. Дана методологія детально описана в роботі [2].

На початковому етапі досліджень виконано повний аналіз опублікування наукових статей за ключовими словами (тегами): «Energy» (Енергія/Енергетика), «Renewable Energy» (Відновлювальна енергія/енергетика), «Solar Energy» (Сонячна енергія/енергетика), «Wind Energy» (Вітрова енергія/енергетика), «Geothermal Energy» (Геотермальна енергія/енергетика), «Biofuel Energy» (Біопаливо та біоенергія), «Thermoelectric Energy» (Термоелектрична енергія/енергетика). Аналіз виконувався за критеріями: рік публікації, публікації авторів з України, науковий напрямок (профіль) публікації, найбільш цитовані публікації у галузі, найбільш цитовані автори у галузі. Для коректного аналізу проводилося відхилення зайвих результатів двома шляхами: пошук статистичної закономірності частоти опублікованих праць за вказаними ключовими словами, але які не стосувалися саме енергетики; додавання до кожного із ключових слів серії додаткових ключових слів, які уточнювали пошук.

Також визначався певний нормалізований h-індекс для можливості порівнювати зв'язок між кількістю публікацій за кожним тегом та якістю опублікованих матеріалів (h-індекс за тегом).

На останньому етапі здійснено співставлення темпів росту зацікавленості до досліджень за напрямками у світі та в Україні. Зокрема, виконано порівняння відношень h-індексів за напрямками у світі та в Україні (h_{glob}/h_{ukr}), а також загальної кількості публікацій за напрямками у світі та в Україні (N_{glob}/N_{ukr}) із врахуванням визначеного коефіцієнта кореляції A . Виконано порівняння росту зацікавленості відповідними напрямками відновлювальної енергетики в Україні та світі, а також продемонстровано найбільш важливі наукові результати, що стали визначальними віхами їх оптимального розвитку.

Аналіз результатів. Аналіз публікацій щодо тегу «Energy» вимагає вираженості у дослідженні. Далеко не всі публікації стосуються тематики вироблення чи збереження енергії. Більше того, лише певна частина відповідає напрямку «Renewable/Alternative Energy» (Відновлюваної/Альтернативної енергії) [3]. Тому, перш за все, важливо виділити групу публікацій з відновлювальної енергетики «Renewable Energy» та розділити її за окремими напрямками. Для об'єктивності цього аналізу введено коефіцієнт релевантності публікацій для певного напрямку R за допомогою наступного алгоритму:

1. Аналіз перших 10 сотень публікацій у Scopus, які відсортовані за цитуванням від найвищого. Відбірка публікацій, які за тематикою відповідають будь-яким процесам чи дослідженням щодо традиційної і відновлювальної енергетики. Усі інші публікації відсіюються (енергія атомних станів, енергія у питаннях, пов'язаних із астрофізикою, медициною, реабілітацією, психологією та ін.).

2. Аналіз перших сотень публікацій у Scopus, які відсортовані за датою публікації від найновішого. Тут також проводиться вибірка кількості публікацій, як у пункті 1.

3. Встановлення частки релевантних публікацій від їх загальної кількості $R = N_{rel}/N$, де N_{rel} – кількість відображених у результаті пошуку публікацій (у даному випадку традиційної та відновлювальної енергетики), а N – загальна кількість публікацій, що відображаються за назвою обраного тегу.

Ще до 1990-х років кількість публікацій в окремих сферах відновлювальної енергетики становила одну або десятки публікацій на рік. Однак з початку 2000-х років спостерігається стрімке збільшення кількості публікацій. Однією з причин є Амстердамський договір, підписаний у 1997 р. Він заклав принцип сталого розвитку для ЄС, суть якого полягала в удосконаленні виробництва відновлюваної енергії. Іншою причиною може бути усвідомлення науковою спільнотою нестабільності існуючого енергетичного стану, виснаження природних ресурсів та необхідність пошуку альтернативних джерел палива для зменшення викидів у навколишнє середовище. Ще однією умовою, яка призвела до нового кроку у розвитку

відновлюваної енергії, була «вимушена політика» теплових колекторів у деяких державах, яка зобов'язувала людей ставити колектори тепла у своїх будинках. Відповідно, пошук дешевших колекторів, фотоелектричних та гібридних систем став новою причиною для збільшення кількості публікацій у цій галузі.

Відповідно до цього, важливо проаналізувати якість публікацій, яка визначається у науковій спільноті кількістю їх цитувань. На рис. 1 наведено співвідношення між h-індексами українських публікацій у напрямку відновлювальної енергетики і енергетики (рис. 1а) та кількості публікацій лише за окремими напрямками відновлювальної енергетики (рис. 1б). Загальна кількість публікацій за тегом «Energy» не береться до уваги, оскільки ця кількість включає у тому числі й кількість публікацій за всіма видами відновлювальної енергетики і є значно вищою. Це ускладнює адекватне сприйняття графічного матеріалу.

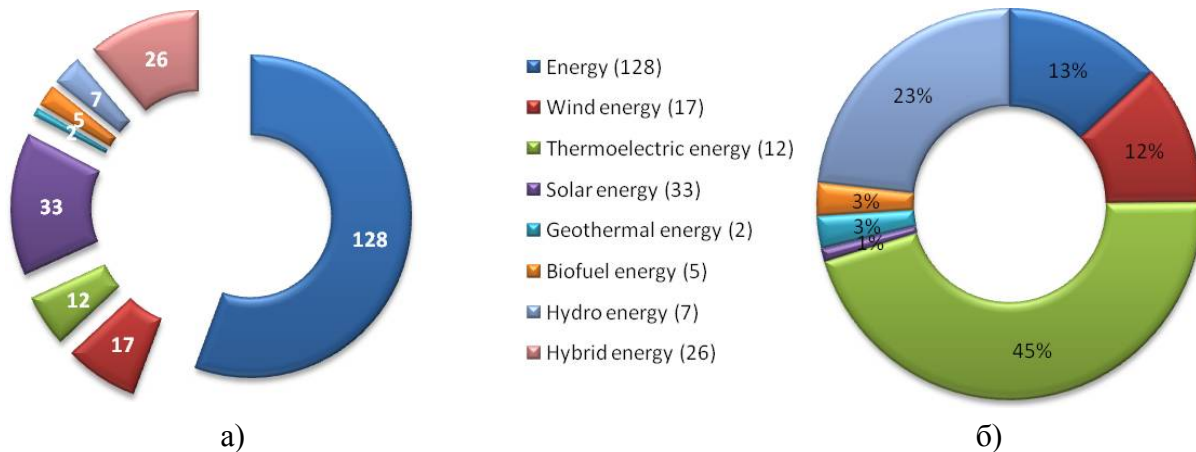


Рис. 1. Сумарний h-індекс (а) та загальна кількість українських публікацій у відсотках (б), пов'язаних із енергією в цілому та окремими видами відновлювальної енергетики

На рис. 2 показано порівняння h-індексів публікацій за різними напрямками для українських дослідників із світовими [2, 4]. Щодо українських видань, то кількість робіт набагато менша, ніж кількість публікацій світового наукового співтовариства. На це суттєво впливає економічна ситуація в країні. Загальний характер для більшості тегів зберігається. Однак, є певні суттєві відмінності, які варто детально проаналізувати.

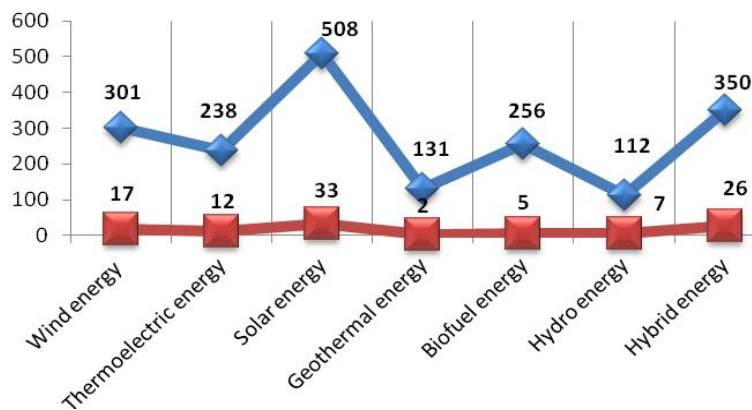


Рис. 2. Порівняння сумарних h-індексів публікацій за різними напрямками відновлювальної енергетики [2] до h-індексу публікацій українських дослідників за цими ж напрямками

Однозначно видно, що значно менша кількість публікацій, а також суттєво низькі індекси цитувань є у напрямку «Geothermal Energy» (Геотермальна енергія). Дивлячись на географічне положення України це не є дивним, оскільки країна не має потужних геотермальних джерел, а початок масового виробництва теплових насосів потребує значних фінансових затрат. Тому, не дивлячись на поодинокі компанії, які мають власні розробки, їх використання не є настільки

масовим, як закупівля відомих міжнародних брендів. Однак наявність серії патентів та перевірених прототипів свідчать про технічний потенціал за наявності відповідних інвестицій.

Для України характерний континентальний клімат. Вона межує з європейськими країнами, які характеризуються різними кліматичними поясами. Це важлива причина виникнення стійких вітрових потоків поблизу кліматичних зон і, відповідно, позитивний фактор розвитку вітроенергетичних станцій.

Три найбільші напрямки, які існують на дослідницькому ринку України є ті самі, що й у світі, але з дещо іншим розподілом пріоритетів. h-індекси публікацій дослідників, для яких *host University is locate in Ukraine* є значно нижчими за h-індекси, які аналізуються, як *Global energy state of art* (рис. 2). Суттєво вищою у відсотковому співвідношенні (табл. 1) для України є кількість публікацій за тегом «Solar Energy» (Сонячна енергія) (45 % в Україні проти 38 % у світі). Щодо «Wind Energy» (Вітрова енергія) таке значення є нижчим для України (13 % проти 20 % у світі). Зберігається однаковий відсоток за тегом «Thermoelectric Energy» (Термоелектрична енергія) (по 12 %). Так само, практично без зміни у відсотковому співвідношенні залишилися «Biofuel Energy» (Енергія біопалива) (3-4 %), Hydro Energy (Гідроенергія) (3 %). Хорошою тенденцією є збільшення цього відсотка для «Hybrid Energy» (Гібридна енергія) (до 23 % порівняно з 19 % у світі). Це означає, що технічно українські вчені більше готові створювати нові системи, базуючись на сучасних технологічних рішеннях.

Таблиця 1.

Порівняння загальної (світової) кількості публікацій до кількості публікацій українських дослідників за різними напрямками відновлювальної енергетики

№	Напрямки	у світі, % [2, 4]	в Україні, % (рис. 1б)
1.	Wind energy	20	13
2.	Solar energy	38	45
3.	Biofuel energy	4	3
4.	Geothermal energy	4	1
5.	Thermoelectric energy	12	12
6.	Hydro Energy	3	3
7.	Hybrid Energy	19	23

Найбільша кількість публікацій в Україні за тегом «Energy» (Енергія/Енергетика) стосується таких напрямків, як Фізика, Матеріалознавство, Інженерія, Хімія. Тобто, в основному, це високотехнологічні результати (майже 80 % усіх публікацій), тоді як у світі за цими напрямками відзначено близько 40 % публікацій за тегом «Energy», а решта стосуються інженерії пристроїв, питань екології, економіки, тощо. Тобто, в Україні є значно менше досліджень, які обґрунтовують економічні прогнозування щодо доцільності тих чи інших напрямків досліджень, соціальній сфері адаптації кінцевого продукту (доцільність дослідження технологій чи матеріалів, які, наприклад, містять екологічно небезпечні речовини), відповідають потребам свого національного ринку. Українські дослідники можуть отримувати надзвичайно важливі й актуальні результати у високотехнологічних сферах. Але відсутність матеріальної бази є тією перешкодою, яка стоїть на заваді їх промислового застосування.

Щоб краще продемонструвати співвідношення між українськими досягненнями та існуючим станом публікацій у світі, побудовано діаграми відносних значень h-індексів та кількості публікацій (рис. 3, 4). На цих діаграмах найнижчі значення демонструють найвищий потенціал досягнень українських дослідників (зворотний характер).

Розглянемо напрямки, у яких вказані на рис. 3, 4 значення є найнижчими і які з великою ймовірністю можна віднести до високотехнологічних та проаналізуємо найбільш цікаві публікації, щоб побачити різницю в отриманих результатах між провідними дослідниками у світі та в Україні. Серед таких напрямків можна виділити два – «Solar Energy» та «Thermoelectric Energy».

Для «Solar Energy» найбільш цитованими [2] є роботи по дослідженню властивостей TiO₂. Більшість інших публікацій також стосуються фотоелектричного матеріалознавства. Найбільш затребуваними є ті публікації, які розглядають нові матеріали, які одночасно прогнозовано можуть бути і ефективними, і дешевими. Це, наприклад, матеріали на основі полімерів чи різного складу гібридні та наноструктуровані матеріали. Значно менша кількість робіт стосується конструктивних рішень чи систем перетворення та вимірювання сигналів.

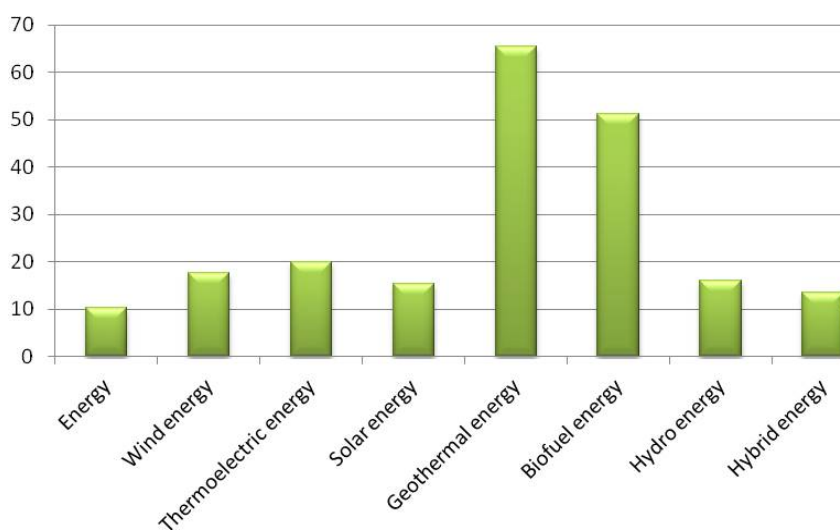


Рис. 3. Відношення h-індексів за напрямками (h_{glob}/h_{ukr})

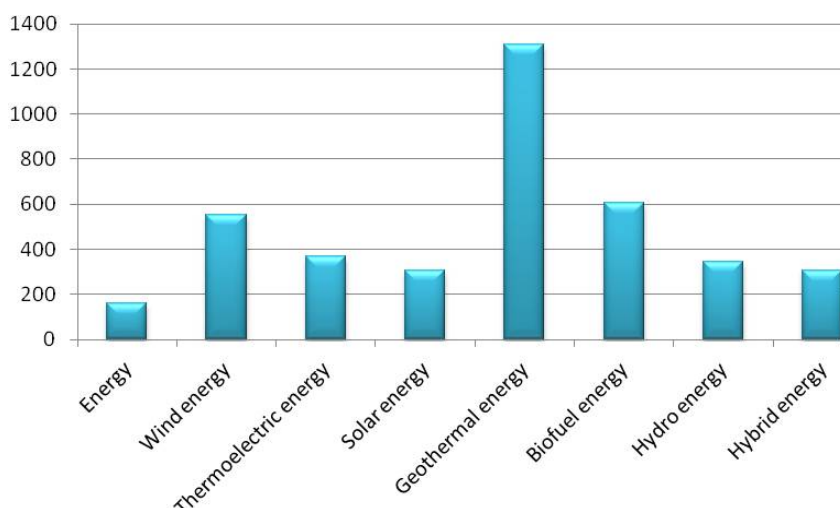


Рис. 4. Відношення кількості публікацій за напрямками (N_{glob}/N_{ukr})

Найбільш цитована публікація за участю українських дослідників стосується розробки фотоелектричної комірки нового типу – гібридна фотоелектрична комірка, яка буде використовувати у своїй роботі ще й надмірне тепло. Це відразу вирішує кілька завдань – підвищує ефективність фотоелемента (30-40 %) і підвищує термін експлуатації, оскільки звичайні традиційні фотоелементи з часом знижують свою ефективність через постійне нагрівання. Інші публікації у напрямку фотоелектричного матеріалознавства теж демонструють високі сучасні досягнення, зокрема, розробка більш дешевих та ефективних тонкоплівкових фотоелементів. Важливо, що більшість публікацій має характер фундаментальних досліджень у фізиці напівпровідників та як тестування отриманих параметрів для роботи у якості фотоелемента, як кінцеве практичне застосування. Такі напівемпіричні підходи, які поєднують у собі дослідження у матеріалознавстві, розробки технології отримання низьковимірних структур та вказують на перспективу використання є особливістю українських вчених. Відсутність у країні масового високотехнологічного виробництва не дозволяє отримувати промислові зразки. Тому вихідними є лабораторні дослідження, які не часто мали можливість бути впровадженими. Дана тенденція була єдиною у період 1990-2010 рр., однак останнім часом спостерігаються зміни. Це завдяки тому, що у співавторстві з українськими вченими дуже часто є представники інших великих наукових центрів. Завдяки цьому виникла можливість виведення на ринок таких розробок. Однак розробки

у галузі сонячної енергетики (Solar Energy), які тривають сьогодні в Україні, все ж потребують широкого налагодження міжнародної співпраці.

За темою «Thermoelectric Energy» найбільш цитованою у світі є робота [5]. Це оглядова стаття, у якій проведено аналіз сучасних термоелектричних матеріалів для їх використання у якості *n*- та *p*-типу елементів термоелектричного модуля. Для широкого діапазону температур визначено матеріали із найвищими значеннями безрозмірної термоелектричної добротності ZT , як основного показника якості матеріалу для термоелектричного застосування. Серед комерційних матеріалів виділяються сполуки на основі PbTe (середній діапазон температур), Bi₂Te₃ (низькі і кімнатні температури) та SiGe (високі температури). Також розглянуто нові і достатньо перспективні з економічної точки зору матеріали типу half-Heusler сплави, skutterudites (матеріали на основі CoSb₃), оксиди кобальтиту (Na_xCoO₂ та ін. як на основі системи Ca–Co–O) та Zintl сполуки (матеріали на основі Zn–Sb). Однак, комплексно найбільш промислово важливими визначаються матеріали із мікроструктурними включеннями типу LAST (PbAgSbTe), TAGS (GeAgSbTe). Наступна за цитуванням публікація стосується тонкоплівкових термоелектричних холодильних пристроїв [6]. Зокрема, показано, що перехід до матеріалів із superlattice спричинює суттєве підвищення термоелектричних характеристик у порівнянні із bulk materials. Серед інших високо цитованих публікацій варто відзначити групу статей [7, 8], де автори обґрунтовують важливість дослідження та показують ефективність практичного застосування систем на основі низькорозмірних (low-dimensional) термоелектричних матеріалів. Тут не лише вказується на перспективу надґраток, як і у [6], але й розглядаються принципові підходи, як вплив осциляції термоелектричних параметрів та врахування квантово-розмірних ефектів [7, 8]. Значна частина публікацій [9] стосується нових багатокомпонентних напівпровідникових матеріалів для термоелектрики. Це і матеріали із нановключеннями, і матеріали, у яких підвищення ефективності регулюється через контроль складу кінцевої сполуки та розвиток технологій для синтезу цих матеріалів і методів формування окремих термоелементів. Причому, кожного року зростає кількість публікацій щодо вивчення наноструктурованих матеріалів для термоелектрики, яка складала 2,4 % всієї кількості публікацій у 1996, 14,4 % у 2006 і 39,1 % у 2016 році [10]. Найвищі на сьогодні значення величини ZT (ефективність термоелектричних матеріалів) для AgPb_mSbTe_{2+m} становить 2,2 [9]. Тобто, стабільно високими значеннями ZT володіють матеріали на основі PbTe. Інші матеріали ще не досягли таких значень, а від величини ZT на пряму залежить ефективність кінцевого термоелектричного перетворювача [5].

Щодо досліджень українських науковців, то, незважаючи на значно меншу кількість публікацій, можна виділити два основні напрямки: термоелектричне матеріалознавство [11] та термоелектричні пристрої. Світова термоелектрична спільнота також активно займається розробкою термоелектричних пристроїв. У світі існує набагато більше великих виробничих компаній, які спеціалізуються на виробництві готових ТЕГ (термоелектричних генераторів), ніж в Україні. Однак, відсоткова кількість публікацій за тематикою в Україні значно вища. Це можна пов'язати із меншою кількістю великих промислових центрів, провідним із яких є компанія ALTEK (Чернівці), яка діє на базі Інституту термоелектрики. Інші ж дослідні центри є при університетах та не мають виробничих потужностей. Однак, отримані у них результати є співмірними із світовими. Створення провідних наноканалів навколо макроскопічних зерен для підвищення термоелектричних параметрів у пресованих об'ємних матеріалах було вперше реалізовано в [12]. Перші дослідження квантово-розмірних ефектів у бінарних матеріалах типу PbTe спільно проводились у Харківському політехнічному інституті (Україна) та MIT (США) [11] або багатокомпонентних сполук LATG (Pb–Ag–Sn–Te) [13].

В українських університетах отримуються вагомі результати у термоелектриці, які не завжди можуть бути практично застосовані. Одне з можливих рішень – тісна співпраця із дослідниками інших держав. Зокрема, формування великих консорціумів сприятиме ефективному і швидкому процесу комерціалізації отриманих результатів. У такі консорціуми завжди входять, окрім суто дослідних центрів ще й промислові компанії, що є поштовхом у розвитку нових технологій.

Серед інших напрямків (тегів), очевидним є зростання важливості досліджень в Україні напрямку «Bioenergy» (Біоенергетика). Хоча кількість публікацій у цій сфері є досить низькою, але одночасний аналіз h_{glob}/h_{ukr} та N_{glob}/N_{ukr} вказує на відсутність високого *h*-індексу і у той же час, на зростання кількості публікацій в останні роки. Для цього є дві важливі причини: велика

кількість сільськогосподарських підприємств, які хочуть раціонально використовувати відходи, та необхідність і державна підтримка якнайбільшого поширення відновлювальної енергетики. Крім того, важливим для України є питання раціонального природокористування при вирощуванні та використанні ресурсів для біоенергетики.

Щодо передових світових досліджень у напрямку Bioenergy, то слід відзначити дослідження із розвитку саме біопалива, оскільки саме біопаливо сьогодні дозволяє отримувати 10 % світової енергії із відновлювальних джерел. Аналіз публікацій свідчить, що з точки зору відновлювальної енергетики, «Bioenergy» включає у себе насамперед саме «Biofuels» (Біопаливо) як дослідження можливостей отримання різних видів палива через вирощування певних рослинних культур, а також отримання палива як результат переробки відходів, у т.ч., сільськогосподарських. Однак є публікації, що стосуються високотехнологічних галузей для отримання біопалива, наприклад, методів і підходів хімії, біохімії та біотехнологій, а також загальних питань щодо політики розвитку біопалива у світі, регулювання законодавства та покращення екологічної ситуації.

Найбільш цитовані публікації за участю українських дослідників, а також найновіші публікації [2] стосуються саме розробки «загальних правил» на міжнародному ринку відновлюваної енергетики та зміни клімату. Дещо менше є публікацій щодо перспектив «Biofuel Energy» (Біопаливна енергетика). Однак, для України саме ефективне використання сільськогосподарських ресурсів, у т.ч. у якості біомаси, є практично важливим питанням. Аналіз публікацій за дещо вужчим напрямком «Biofuel Energy» стосуються 2016-2017 рр. Це вказує на новизну та актуальність цієї проблематики в Україні. Раціональне використання потенціалу біомаси є вагомим альтернативою для вирішення проблем харчової та енергетичної безпеки. Отже, законодавчі ініціативи, які повинні узгоджуватися із міжнародними вимогами щодо викидів чи утилізації сільськогосподарських відходів, уже активно впроваджують великі сільськогосподарські компанії. Однак в Україні ринок біоенергетики лише формується, а правові норми лише встановлюються. Тому існує наукова проблема, яка потребує вирішення. Вона стосується приведення у відповідність міжнародних актів до діючих внутрішніх регіональних угод, а також врахування різного чину регіональних особливостей. Тому існує також необхідність налагодження міжнародних контактів між науковцями, але на відміну від термоелектрики, така співпраця повинна стосуватися насамперед практичного впровадження на ринку України, як одному із найбільших світових сільськогосподарських ринків.

Аналогічні висновки слідують також, якщо ввести певний нормалізований h-індекс публікацій українських дослідників $h = 10 \cdot h_{ukr} / h_{glob}$. Для наглядності домножено результат на 10, оскільки аналізувати долі дещо менш сприйнятно, ніж одиниці (рис. 5).

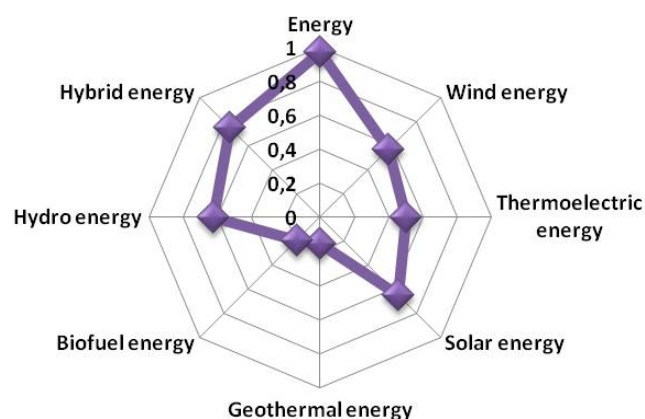


Рис. 5. Нормалізований h-індекс публікацій українських дослідників ($10 \cdot h_{ukr} / h_{glob}$)

Із рис. 5 можна оцінити потреби у початку організації нових досліджень із хорошим науковим підґрунтям. Чим ближча крива до нуля, тим більша потреба у якісних дослідженнях для України. Насамперед, як пріоритет національним науково-дослідним центрам потрібно звернути увагу на «Biofuel Energy», як практично перспективну галузь із очевидною нестачею наукової складової. Однак, треба пам'ятати про збереження балансу. При наявних вагомим наукових

результатах у будь-якій іншій галузі, потрібне сприяння як у налагодженні міжнародної співпраці, так і у виведенні на ринок.

Висновки

1. Публікації дослідників з економічно менш потужних держав також можуть мати конкурентоспроможні наукові результати. Однак через відсутність «відкритого доступу», який часто потребує додаткового фінансування, такі видання менш відомі вченим з інших країн, а тому їх «видимість» є нижчою як для наукової спільноти, так і для виробничих компаній як потенційних майбутніх донорів.

2. Дослідження з відновлювальної енергетики в Україні відповідають тим же законам, що і дослідження у світі в цілому. Це показує можливість успішного перенесення методики вивчення статусу подібних досліджень у будь-якій іншій країні. Однак кількісно такі дослідження суттєво поступаються дослідженню в інших країнах. З огляду на той факт, що Україна має достатньо високий науковий потенціал, у кількісному вираженні такі дослідження визначаються насамперед рівнем фінансування, а не кількістю установ.

3. Якісний аналіз досліджень відновлювальної енергетики в Україні показує високий науковий потенціал у галузях відновлювальної енергетики, які пов'язані насамперед з матеріалознавством: сонячна енергетика, термоелектрика, середній потенціал у напрямку вітроенергетики та низький потенціал досліджень в інших напрямках. Економічний потенціал України вказує на високі потреби у виробництві енергії з відновлюваних джерел. Найбільш сприятливими напрямками для інвесторів є «Біопаливо» та «Вітрова енергетика». Інші сфери є актуальними через існування «тарифу на подачу» («Сонячна енергетика») та необхідності задоволення екологічних потреб у відновленні тепла («Термоелектрика»).

4. Зважаючи на те, що Україна – одна із найбільших держав у Європі, яка, однак, дуже повільно впроваджує нові ідеї та технології. З іншої сторони, Україна має великий демографічний та промисловий потенціал. Тому такий аналіз може бути цікавим як дослідниками, так і промисловим компаніям для вироблення напрямків співпраці та виходу на новий і достатньо великий та незаповнений ринок. А якщо взяти до уваги велику кількість енергозатратних підприємств (металургія, вугілля, хімічні технології), то у розрізі взятих державою зобов'язань поступово перейти на використання «чистої» енергії, ринок відновлювальної енергетики в Україні є економічно привабливим і перспективним.

Література

1. Energy DG, European Commission. EU, Energy in Figures, Statistical Pocketbook 2017. Brussels: Publications Office of the European Union, 2017. 265 p. DOI: 10.2833/80717
2. Wisz G, Nykyruy L, Yakubiv V, Hryhoruk I, Yavorskyi R. Impact of Advanced Research on Development of Renewable Energy Policy: Case of Ukraine. Int. J. Renewable Energy Res. 2018. Vol. 8, № 4. P. 2367–2384.
3. Dresselhaus M., Thomas I. Alternative Energy Technologies. Nature. 2001. Vol. 414. P. 332–337. DOI: 10.1038/35104599
4. Nykyruy L.I., Zamurujeva O.V., Urban O.A., Fedosov S.A. The Impact of Scientific Research on the Development of Renewable Energy. Perspective Technologies and Devices. 2020. № 16. P. 82–91. DOI: 10.36910/6775-2313-5352-2020-16-11
5. Snyder G.J., Toberer E.S. Complex Thermoelectric Materials. Nat. Mat. 2008. Vol. 7. P. 105–114. DOI: 10.1038/nmat2090
6. Venkatasubramanian R., Siivola E., Colpitts T., O'quinn B. Thin-film Thermoelectric Devices with High Room-temperature Figures of Merit. Nature. 2001. Vol. 413. P. 597–602. DOI: 10.1038/35098012
7. Hicks L.D., Dresselhaus M.S. Effect of Quantum-well Structures on the Thermoelectric Figure of Merit. Phys. Rev. B. 1993. Vol. 47, № 19. P. 12727. DOI: 10.1103/PhysRevB.47.12727
8. Dresselhaus M., Chen G., Tang M., Yang R., Lee H., Wang D., Gogna P. New Directions for Low-dimensional Thermoelectric Materials. Adv. Mater. 2007. Vol. 19, № 8. P. 1043–1053. DOI: 10.1002/adma.200600527
9. Hsu K., Loo S., Guo F., Chen W., Dyck J., Uher C., Kanatzidis M. Cubic $\text{AgPb}_m\text{SbTe}_{2+m}$: Bulk Thermoelectric Materials with High Figure of Merit. Science. 2004. Vol. 303. P. 818–821. DOI: 10.1126/science.1092963

10. Liu W., Hu J., Zhang S., Deng M., Han C.G., Liu Y. New Trends, Strategies and Opportunities in Thermoelectric Materials: a Perspective. Mater. Today. Phys. 2017. Vol. 1. P. 50–60. DOI: 10.1016/j.mtphys.2017.06.001

11. Rogacheva E.I., Tavrina T.V., Nashchekina O.N., Grigorov S.N., Nasedkin K.A., Dresselhaus M.S., Cronin S.B. Quantum Size Effects in PbSe Quantum Wells. App. Phys. Lett. 2002. Vol. 80. P. 2690–2692. DOI: 10.1063/1.1469677

12. Haluschak M.O., Mudryi S.I., Lopyanko M.A., Optasyuk S.V., Semko T.O., Nikiruy L.I., Horichok I.V. Phase Composition and Thermoelectric Properties of Materials in Pb-Ag-Te System. J. Thermoelectricity. 2016. № 3. P. 34–39.

13. Nykyruy L.I., Ruvinskiy M.A., Ivakin E.V., Kostyuk O.B., Horichok I.V., Kisialiou I.G., Yavorskyu Y.S., Hrubyak A.B. Low-Dimensional Systems on the Base of PbSnAgTe Compounds for Thermoelectric Application. Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures. 2019. Vol. 106. P. 10–18. DOI: 10.1016/j.physe.2018.10.020

Рецензент

Пастернак Ярослав Михайлович, завідувач кафедри прикладної математики та механіки, доктор фізико-математичних наук, професор