

## АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ БІОПАЛИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

*Шупелик Ю.П.<sup>2</sup>, Никуруй Л.І.<sup>1</sup>, Замуруєва О.В.<sup>2</sup>, Федосов С.А.<sup>2</sup>,*

<sup>1</sup>Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
Івано-Франківськ, Україна, [lyubomyr.nykuryu@gmail.com](mailto:lyubomyr.nykuryu@gmail.com)

<sup>2</sup>Волинський національний університет імені Лесі Українки,  
Луцьк, Україна, [zamuraeva.o@gmail.com](mailto:zamuraeva.o@gmail.com)

Відсутність належної енергетичної політики серед держав, зокрема тих, економіка яких базується на викопних паливах, часто згубно впливає на навколишнє середовище. З цієї причини більшість держав розпочали підтримувати розвиток відновлювальних джерел енергії на законодавчому рівні та заохочувати перехід до їх широкого використання. Серед усіх відновлюваних енергетичних ресурсів одним з найбільш перспективних та стратегічно важливих є біоенергетичний ресурс. Роль та значення біоенергетики для розвитку економіки неодноразово підкреслювалося у доповідях вчених, експертів, практиків, усіх тих, хто так чи інакше займається енергетичними проблемами.

У роботі проаналізовано публікації авторитетних світових науковців і з двох сусідніх держав – України та Польщі у галузі біопаливної енергетики, щоб знайти закономірності як розвитку цього напрямку у світі і кожній державі зокрема, так і визначити перспективи для спільних досліджень. Аналіз ґрунтується на результатах даних, опублікованих у міжнародних наукових базах даних Web of Science та Scopus.

Біоенергетика тісно пов'язана з поняттями «біомаса» та «біопаливо». Біомаса означає органічну речовину рослинного походження та відходи, отримані шляхом природного або штучного перетворення, які можуть бути використані в енергетичних цілях. Біопаливо – це поновлюване джерело енергії, отримане з рослинної або тваринної біомаси. Хоча в багатьох дослідженнях терміни «біомаса» та «біопаливо» використовуються взаємозамінно, ми вважаємо за доцільне їх диференціювати. Біомаса – це сировина. Тоді як біопаливо є продуктом переробки біомаси.

Біоенергетика на сьогодні у світі є одним з невід'ємних і прогресивних напрямків відновлювальної енергетики. Хоча значно менша кількість робіт стосується біопаливної енергії у порівнянні із сонячною, вітровою чи гібридною енергією. Так за тегом «Biofuel Energy» h-індекс публікацій дорівнює 256 і 4 % загальної кількості публікацій за тематикою відновлювальної енергетики. Але існує досить потужна практична реалізація. Тобто, на ринку є велика кількість гравців, які комерційно впроваджують ці напрямки, користуючись великими підтримками на рівні держав та використовуючи їх природний та виробничий потенціали. Тому й імпакти цієї невеликої у відсотках кількості публікацій достатньо високі.

Відсотковий вміст внеску саме статей із галузі матеріалознавства у біоенергетику, як розділу, який для цього напрямку найбільше відповідає фундаментальній природничій науці, становить (включаючи Chemical Engineering (хімічну інженерію)) 35,9 %. Тобто, біоенергетика відноситься до технологічних сфер, яка має вагому наукову складову.

Однозначними країнами лідерами щодо публікацій у сфері біопаливної енергетики є США та Китай. Кожна із цих держав має потужні дослідницькі центри. Тому їх 1-а і 2-а позиції є очевидними. Індія, Великобританія, Німеччина та ін. – це країни, які обрали енергетичну безпеку як свій національний пріоритет.

Ситуація щодо науково-дослідних центрів, які займають провідні позиції за кількістю публікацій, дещо відмінна від рейтингу за державою. Існують організації, які здобули незаперечну позитивну репутацію: Каліфорнійський ун-т в Берклі, Центр сільськогосподарських досліджень Міністерства сільського господарства США, Університет Сан-Паулу, Оук-Ридзька національна лабораторія та ін.

Найбільш цитовані публікації, пов'язані з біомасою та біопаливом, були опубліковані у таких журналах: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (h-індекс – 193), *Biomass and Bioenergy* (h-індекс – 143), *Bioresource Technology* (h-індекс – 229), *Renewable Energy* (h-індекс – 143), *Energy* (h-індекс – 146). Також за інформацією бази даних Scopus визначено найвидатніших та найвпливовіших вчених у галузі біоенергетики. Це Omer A.M. з Великобританії (має 122 публікації з біомаси як відновлюваного джерела енергії), Pagi L. з Італії (103 публікації) та Kaltschmitt M. з Німеччини (102 публікації).

Кількість робіт українських та польських науковців набагато менша ніж кількість публікацій світового наукового співтовариства. Економічна ситуація в країнах суттєво впливає на кількість публікацій. Ці дві країни зараз реалізують бажання розвиватися разом і є прикладом того, як можна створити конкурентне наукове середовище на кордоні ЄС.

Аналіз публікацій показує, що дослідження біоенергетики є дуже актуальними з точки зору поліпшення навколишнього середовища, а саме вивчення біокомпозитів (або біополімерів) як заміни пластиків, виробництва біодизеля. Найцікавішими відновлюваними джерелами енергії для регіону Польщі є відходи біомаси сільськогосподарського виробництва, які також корисні для поліпшення навколишнього середовища та медичних цілей. Однак найцікавішим є виробництво біогазу, що вимагає дешевої сільськогосподарської сировини.

За допомогою бази даних Scopus було встановлено, що h-індекс публікацій, пов'язаних з біомасою та біопаливом, для Польщі становить 37, а для України – 13. Більшість робіт польських авторів присвячені загальним перспективам розвитку біомаси. Дуже багато публікацій спрямовані на технічні характеристики виробництва біомаси, технологій переробки біомаси верби та біомаси чорної сарани. Крім того, згідно з прогнозом на 2021 рік, приблизно 80 % кінцевої енергії з поновлюваних джерел надходитиме з біомаси, і майже вся її буде вироблятися за рахунок сільського господарства. Таким чином, використання біомаси для опалення зменшується, а частка біомаси для електроенергії та біопалива збільшується. У той же час у публікаціях спостерігається тенденція щодо екологічності біоенергетики, зокрема, її внеску у зменшення парникового ефекту.

Ряд праць українських вчених також присвячені загальним тенденціям виробництва біоенергетики, аналізу біологічних ресурсів для виробництва біопалив в Україні, аспектам переходу до агробіоенергетики, а також стратегії та рекомендації для різних зацікавлених сторін для полегшення цього переходу.

Позитивні тенденції біоенергетики підкреслюються в ряді досліджень. Орієнтовний енергетичний потенціал існуючих відходів біомаси становить близько 25 мільйонів тонн, а енергетичний потенціал біомаси, який можна вирощувати на невикористаних землях сільськогосподарського призначення, становить близько 13 мільйонів тонн. Проаналізовано ринки ріпаку України та Європейського Союзу, які є горизонтально інтегрованими, наведені основні практичні кроки створення українського ринку біогазу.

Загалом h-індекси публікацій українських дослідників є значно нижчими за h-індекси науковців світу. Для України практично без зміни у відсотковому співвідношенні від усієї кількості публікацій за тематикою відновлювальної енергетики залишилися кількість публікацій за тегом «Biofuel energy» (3 % в Україні проти 4 % у світі).

Розглядаючи енергію біопалива (енергія з біомаси та біопалива) в Україні та Польщі, можна виділити певні спільні риси. Перш за все, співпраця польських та українських вчених, виражена через велику кількість спільних публікацій, що є пріоритетом обох країн. Також вчені обох країн успішно співпрацюють зі своїми колегами з Німеччини. Тобто є спільні дослідження як сусідніх держав, так і високотехнологічних, які володіють найсучаснішим обладнанням. Хоча практичний розвиток біоенергетики визначається виключно економічною ситуацією в аграрному секторі.

Існує різниця в кількості (324 та 71 відповідно для Польщі та України) та «імпакт-фактору» (37 та 13 відповідно) публікацій у напрямку біоенергетики. Для більш ефективного аналізу визначаються їх нормалізовані залежності:  $h_{norm} = h_i / N_i$ , де  $h_i$  – h-індекс публікацій у відповідному напрямку,  $N_i$  – загальна кількість публікацій у цьому напрямку.

Для «Біоенергетики» h-індекс польських вчених значно вищий. Це свідчить про стимулювання подібних досліджень на державному рівні в Польщі та надто малу підтримку з боку України на цьому етапі. Однак, враховуючи, що публікації українських вчених почали публікуватися в цій галузі за останні кілька років, і завдяки партнерству між науковими установами обох країн можна передбачити збільшення як кількості, так і якості таких матеріалів у межах наступні 5 років.

**Висновки.** Для ефективного розвитку та впровадження біопаливної енергетики необхідно враховувати одночасно різні фактори: економічний та наявність інвестицій, розробки нових, екологічно чистих та ефективних досліджень і створення можливостей для їх впровадження.

Якість досліджень можна довести на основі передових наукових публікацій у рецензованих журналах. Кількість та вплив таких наукових публікацій свідчать про потенціал наукових колективів, їх актуальність та можливість впровадження.

Різниця майже в 2 рази нормалізованого h-індексу (відповідно 9 і 5) за напрямом «Біоенергетика» свідчить про значно більший прогрес польських вчених у цьому напрямку. Прикладні дослідження, які потребують складних установок для їх тестування або дорогого імітаційного програмного забезпечення, ефективніше впроваджуються в країнах ЄС.