

Порівняльна характеристика ефективності роботи сонячної енергетики у провідних країнах світу

Нараєвський С.В.

кандидат економічних наук,
доцент кафедри міжнародної економіки
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

У статті проведено порівняльний аналіз ефективності роботи сонячної енергетики в окремих регіонах і провідних країнах світу та Україні. Країною – лідером за ефективністю роботи сонячної енергетики є Іспанія. Її лідируючі позиції зумовлені високою інтенсивністю сонячного випромінювання порівняно з іншими країнами Європи та наявністю законодавчих вимог, що зобов'язують власників під час будівництва нових споруд обов'язково встановлювати на них певну кількість сонячних перетворювачів. Підтверджено, що ефективність роботи сонячної енергетики України знаходиться на середньоєвропейському рівні, що пов'язано з розміщенням сонячних електростанцій у південних регіонах країни з вищою інтенсивністю сонячного випромінювання та використанням сучасних зразків техніки.

Ключові слова: сонячна енергетика, фотовольтаїка, використання встановленої потужності, ефективність роботи сонячної енергетики, інтенсивність сонячного випромінювання.

Naraevskiy S.V. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ВЕДУЩИХ СТРАНАХ МИРА

В статье проведен сравнительный анализ эффективности работы солнечной энергетики в отдельных регионах и ведущих странах мира и Украине. Страной – лидером по эффективности работы солнечной энергетики является Испания. Ее лидирующие позиции обусловлены высокой интенсивностью солнечного излучения по сравнению с другими странами Европы и наличием законодательных требований, обязывающих владельцев при строительстве новых сооружений обязательно устанавливать на них определенное количество солнечных преобразователей. Подтверждено, что эффективность работы солнечной энергетики Украины находится на средневропейском уровне, что связано с размещением солнечных электростанций в южных регионах страны с высокой интенсивностью солнечного излучения и использованием современных образцов техники.

Ключевые слова: солнечная энергетика, фотовольтаика, использование установленной мощности, эффективность работы солнечной энергетики, интенсивность солнечного излучения.

Naraievs'kyj S.V. COMPARATIVE CHARACTERIZATION ANALYSIS OF SOLAR POWER EFFICIENCY IN LEADING COUNTRIES WORLDWIDE

It has been performed a comparative analysis of solar power efficiency in individual regions and leading countries across the world and in Ukraine. The leader of solar power efficiency is Spain. Its dominant positions are determined by high solar intensity in comparison with other European countries and the current legal requirements obliging owners of new facilities to install certain amount of solar inverters during construction. It is confirmed that solar power efficiency in Ukraine is at the mean European level that is largely due to solar power plants location in the southern regions of the country with higher solar radiation intensity and use of up-to-date equipment.

Keywords: solar energy, photovoltaic, installed capacity, the efficiency of solar energy, solar radiation intensity.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Аналізуючи розвиток різних напрямів альтернативної енергетики у цілому і сонячної енергетики зокрема, переважна більшість міжнародних організацій, що досліджують ці питання (Міжнародне агентство з відновлюваної енергії (International Renewable Energy Agency (IRENA)), Мережа по відновлювальним джерелам енергії у XXI ст. (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN 21)), Європейська асоціація фотоелектричної промисловості (SolarPower Europe)),

основну увагу зосереджують на таких показниках, як обсяги введених потужностей за рік та загальна встановлена потужність на кінець відповідного періоду (року).

Уведення значної кількості нових потужностей в енергетичній галузі не свідчить про їхнє подальше ефективне використання. У багатьох країнах світу альтернативна енергетика розвивається за рахунок державної підтримки, а у разі встановлення завищених «зелених» тарифів господарюючі суб'єкти можуть намагатися вводити додаткові потуж-

ності, отримуючи, таким чином, додаткові кошти з державного чи місцевих бюджетів. У такому разі порівняння ефективності роботи сонячної енергетики набуває актуальності, а використання досвіду країн-лідерів надасть можливість покращити роботу підприємств, що працюють у відповідній галузі в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проаналізовано статистичні звіти міжнародних організацій, що працюють у сфері альтернативної енергетики: IRENA [1], REN 21 [2], SolarPower Europe [3]. У статистичному звіті IRENA увага зосереджується на загальному обсягу введених потужностей в альтернативній енергетиці на кінець року за період 2007–2016 рр. за окремими регіонами та країнами [1, с. 12–14] та наводиться статистика введених потужностей за окремими напрямками альтернативної енергетики, зокрема у сонячній енергетиці [1, с. 31–33]. У статистичному звіті REN 21 наводиться загальний аналіз ситуації у галузі [2, с. 17–19], визначаються лідируючі країни за окремими напрямками введення нових потужностей та основні тренди за відповідними напрямками розвитку альтернативної енергетики [2, с. 21–23, 27–42], охарактеризовано ситуацію у сонячній енергетиці [2, с. 59–67]. У статистичному звіті SolarPower Europe наводяться аналіз ситуації у сонячній енергетиці країн Європи та прогноз розвитку сонячної енергетики до 2019 р. включно [3, с. 14–17]. У жодному із зазначених звітів ефективність роботи альтернативної енергетики загалом і сонячної зокрема не розглядається.

Британська нафтова компанія BP у своєму щорічному звіті, крім введення потужностей, наводить статистичну інформацію стосовно обсягів споживання електроенергії, що вироблена за рахунок використання фотоперетворювачів в окремих країнах світу [4], але й у цьому дослідженні ефективність роботи альтернативної енергетики не розглядається.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є проведення порівняльної характеристики ефективності роботи сонячної енергетики в окремих країнах світу. За результатами порівняльного аналізу необхідно виокремити країни-лідери, дослідити причини успішної роботи сонячної енергетики у цих країнах, вивчити можливості з перейняття позитивного досвіду підприємствами, що працюють у галузі сонячної енергетики України, обґрунтувати доцільність подальшого збільшення кількості обладнання, що використовується для виробництва електро-

енергії завдяки сонячному випромінюванню господарюючими суб'єктами та окремими громадянами в Україні.

Теоретичну основу дослідження становить метод порівняльного аналізу до визначення ефективності роботи сонячної енергетики на основі співставлення обсягів виробництва (споживання) електроенергії з обсягами встановлених потужностей. Методологічну основу становлять дослідження природного потенціалу територій (зокрема, інтенсивності сонячного випромінювання у різних регіонах світу) та ефективності роботи наявних перетворювачів сонячної енергії в електричну, статистичного дослідження, логічного узагальнення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Більшість країн світу приділяє значну увагу розвитку альтернативної енергетики. До цієї групи належать як розвинуті країни, так і країни, що розвиваються, та країни з перехідною економікою. Так, членами IRENA є 150 держав світу і ще 30 держав подали документи на вступ до цієї організації [5]. Інвестиції у розвиток різних напрямів альтернативної енергетики (за винятком великих гідроенергетичних об'єктів потужністю понад 50 МВт) за підсумками 2015 р. становили 285,9 млрд. дол. та зросли відносно попереднього року на 5%. З урахуванням гідроенергетичних об'єктів потужністю понад 50 МВт обсяг інвестицій становив 328,9 млрд. дол. Із зазначеної суми в 2015 р. 265,8 млрд. дол. було вкладено у нові потужності різних напрямів альтернативної енергетики, що в понад два рази перевищило відповідний показник для традиційної теплової енергетики (130 млрд. дол.), яка як паливо використовує вугілля та природний газ [2, с. 25].

У 2015 р. обсяг інвестицій в альтернативну енергетику країн, що розвиваються, вперше перевищив відповідний рівень розвинутих країн та становив 156 млрд. дол. збільшившись відносно 2014 р. на 19%. Провідним інвестором як серед цієї групи країн, так і загалом, став Китай. Ця країна інвестувала у різні напрями альтернативної енергетики в 2015 р. 102,9 млрд. дол., що на 17% перевищило відповідний показник 2014 р. та становило 36% загальносвітових інвестицій в альтернативну енергетику. Також значне зростання інвестицій в альтернативну енергетику на понад 10% відносно 2014 р. було зафіксовано в Індії, Південній Африці, Мексиці та Чилі. Ще одна група країн, що розвиваються (Марокко, Уругвай, Філіппіни, Пакистан, Гондурас), які тільки розпочинають активний розвиток аль-

тернативної енергетики, інвестували в 2015 р. понад 500 млн. дол. кожна.

У групі розвинутих країн, навпаки, інвестиції скоротилися на 8% відносно 2014 р. та становили 130 млрд. дол. Найбільше зниження інвестицій у розвиток альтернативної енергетики було в країнах Європи (на 21%, до 48,8 млрд. дол.). Поряд із тим серед країн Європи на 11% зросли інвестиції в офшорну вітроенергетику – до 17 млрд. дол. У США інвестиції у сонячну енергетику досягли рівня 44,1 млрд. дол., збільшившись відносно попереднього року на 19%, що було найвищим показником починаючи з 2011 р. [2, с. 25].

Основний обсяг інвестицій спрямовано у сонячну енергетику (161 млрд. дол.), що становило 56% загальної суми інвестицій в альтернативної енергетику та збільшилося відносно попереднього року на 14%. На другому місці серед різних напрямів альтернативної енергетики була вітрова енергетика, в яку було інвестовано 109,6 млрд. дол., що становило 38,3% загальної суми інвестицій та на 4% більше відносно попереднього року. В інші напрями альтернативної енергетики було інвестовано значно менші кошти: енергетика на основі переробки біомаси та відходів – 6 млрд. дол., малі гідроелектростанції – 3,9 млрд. дол., біопаливо – 3,1 млрд. дол., геотермальна енергетика – 2 млрд. дол., енергія океану – 215 млн. дол. [2, с. 25].

Навіть певне скорочення інвестицій у розвинутих країнах не завжди свідчить про зменшення введених потужностей, оскільки у вітровій і сонячній енергетиці відбувається постійне зниження вартості за одиницю потужності. Вартість виробництва електроенергії у сонячній енергетиці в 2010 р. знаходилася в межах 200–500 дол./МВт•год, а за підсумками 2016 р. знизилася до 30–70 дол./МВт•год залежно від регіону [6, с. 20]. Також слід зазначити, що поступовий перехід країн Європи з наземної на офшорну вітроенергетику дасть змогу виробляти більше електроенергії на одиницю встановленої потужності [7, с. 14].

Проведемо порівняльний аналіз ефективності використання сонячної енергії на основі опрацювання статистичної інформації, що міститься у звітах IRENA [1], REN 21 [2], SolarPower Europe [3] та BP [4]. Основна увага у зазначених звітах зосереджується на введенні нових енергетичних потужностей за останній рік та на загальній потужності альтернативної енергетики за окремими країнами і регіонами світу. У звіті BP наводиться інформація стосовно споживання електро-

енергії, що вироблена за рахунок сонячних перетворювачів, в окремих країнах та регіонах світу [4].

Аналізуючи загальні обсяги введених потужностей, можна зробити висновки стосовно наявної потужності енергетики тієї чи іншої країни та розглядати можливість їхнього використання, але такий аналіз не дає відповіді на питання, наскільки ефективно використовується сонячна енергетика у певній країні чи регіоні світу. Для проведення порівняльного аналізу ефективності використання сонячної енергетики необхідно співставити обсяги виробництва чи споживання сонячної енергії з наявною потужністю сонячних електростанцій (табл. 1).

Отже, ефективність використання сонячних перетворювачів буде свідчити, який обсяг спожитої електроенергії (кВт•год./рік) припадає на одиницю встановленої потужності генеруючого обладнання (кВт). Теоретично цей показник може становити 8 760 кВт•год./кВт (24 год./добу помножити на 365 днів/рік). На практиці у сонячній енергетиці цей показник значно нижчий. Сонячне світло, що використовується для виробництва електричної енергії, надходить до перетворювача лише вдень. Існують дослідні зразки перетворювачів, які здатні виробляти незначний обсяг електроенергії в нічну пору, але розглядати їхнє комерційне використання ще зарано. Також певна кількість електричної енергії споживається на потреби самої сонячної електростанції, існують втрати в мережі та ін. У разі ділення отриманого результату на 8 760 кВт•год./кВт, який приймається за 100%, отримуємо частку (відсоток) використання встановленої потужності.

Окрім того, слід зауважити, що окремі країни вводили значний обсяг потужності за останній рік. Наприклад, у Китаї зростання встановленої потужності у 2015 р. до попереднього року становило 53,5%, а в окремих країнах цей показник був ще вищим. Детальна інформація стосовно того, яка частина нових потужностей працювала протягом якого періоду часу в 2015 р., відсутня. Для підвищення об'єктивності розрахунку будемо вважати, що нові потужності вводилися протягом року рівномірно. У такому разі від загальної встановленої потужності на кінець 2015 р. віднімемо половину нової встановленої потужності за 2015 р. і саме ці дані будемо використовувати в розрахунках.

Серед регіонів світу лідируючі позиції за ефективністю використання соняч-

ної енергетики займала Північна Америка (1 720,2 кВт·год./кВт та 19,6%). Другу позицію займала Європа (1 199,4 кВт·год./кВт та 13,7%), а третю – інші країни світу, насамперед країни Азії (1 043,9 кВт·год./кВт та 11,9%). Лідируючі позиції країн Північної Америки зумовлені активним розвитком сонячної енергетики у США за кілька останніх років. Це дало можливість країнам Північної Америки випередити попереднього лідера (до 2013 р.) – Європу. Друге місце країн Європи зумовлено найбільш тривалим періодом розвитку сонячної енергетики, використанням

набутого досвіду та застосуванням останніх зразків техніки і обладнання. У подальшому ситуація буде змінюватися на користь інших регіонів світу, оскільки значна кількість із них має території з більшою інтенсивністю сонячного випромінювання, ніж у країнах Північної Америки чи Європи. Зокрема, найкращі перспективи для розвитку сонячної енергетики мають країни Африки в районі Сахари та на півдні цього континенту, у центральній частині Південної Америки та на півночі Австралії, де інтенсивність сонячного випромінювання становить 6–7 кВт·год./м²·день [8]. Інформа-

Таблиця 1

Ефективність використання сонячної енергії у провідних країнах світу та Україні в 2015 р. [2, с. 60–67; 3, с. 10–12; 4]

Країна	Споживання електроенергії, млрд./кВт·год.	Нова встановлена потужність у 2015 р., МВт	Загальна встановлена потужність на кінець 2015 р., МВт	Ефективність використання, кВт·год./кВт	Частка використання встановленої потужності, %
Північна Америка	41,9	7 963	28 363	1 720,2	19,6
США	39,0	7 260	25 577	1 777,2	20,3
Канада	2,6	600	2 504	1 175,0	13,4
Мексика	0,3	103	282	1 504,11	17,2
Європа	111,5	7 868	96 893	1 199,4	13,7
Австрія	1,0	150	937	1 110,1	12,7
Бельгія	3,2	95	3 251	987,2	11,3
Болгарія	1,4	14	1 036	1 362,4	15,6
Чехія	2,3	16	2 150	1 056,1	12,1
Данія	0,6	177	783	870,6	9,9
Франція	7,3	879	6 557	1 198,5	13,7
Німеччина	38,4	1 355	39 698	984,9	11,2
Греція	3,5	10	2 606	1 347,3	15,4
Італія	25,2	300	18 922	1 342,7	15,3
Нідерланди	0,9	357	1 405	706,8	8,1
Португалія	0,8	63	454	1 867,0	21,3
Румунія	2,0	32	1 325	1 518,5	17,3
Словаччина	0,6	10	600	924,7	10,6
Іспанія	13,9	56	5 432	2 567,3	29,3
Швеція	0,1	51	130	766,7	8,8
Швейцарія	1,1	300	1 361	926,8	10,6
Великобританія	7,6	3 610	9 071	1 040,0	11,9
Україна	0,4	11	422	965,2	11,0
Інші країни світу	91,8	34 777	105 350	1 043,9	11,9
Австралія	6,1	935	5 065	1 320,9	15,1
Китай	39,2	15 150	43 480	1 091,8	12,5
Індія	0,6	200	881	768,3	8,8
Японія	30,9	12 000	35 409	1 051,2	12,0
Малайзія	0,1	63	231	627,4	7,2
Південна Корея	3,8	1 010	3 408	1 315,2	15,0
Тайвань	0,9	400	1 010	1 080,9	12,3
Таїланд	2,4	121	1 420	1 783,1	20,4
Світ у цілому	253,0	50 609	230 606	1 232,5	14,1

ція щодо інших регіонів світу відсутня через початкову стадію розвитку сонячної енергетики у цих регіонах і незначний обсяг уведених потужностей.

Серед окремих країн лідируючу позицію за ефективністю роботи сонячної енергетики займала Іспанія (2 567,3 кВт·год./кВт та 29,3%). Наступні позиції були за Португалією (1 867,0 кВт·год./кВт та 21,3%), Таїландом (1 783,1 кВт·год./кВт та 20,4%) та США (1 777,2 кВт·год./кВт та 20,3%). В інших країнах частка використання встановленої потужності була нижчою 20,0%. Ситуацію стосовно ефективності використання сонячної енергетики в країнах Європи проаналізуємо детальніше. Лідируючі позиції Іспанії пов'язані передусім із високою інтенсивністю сонячного випромінювання. На переважній більшості території Іспанії інтенсивність сонячного випромінювання знаходиться в діапазоні 3–5 кВт·год./м²·день, тоді як на більшості території Європи за винятком окремих південних регіонів цей показник знаходиться в межах від 1-го до 3-х кВт·год./м²·день, у країнах Північної Європи не перевищує 1 кВт·год./м²·день [8]. Іншим складником високого рівня ефективності роботи сонячної енергетики Іспанії є законодавчі особливості, що передбачають під час спорудження нових будинків обов'язкове встановлення певної кількості сонячних перетворювачів. У такому разі вироблена електроенергія споживається самим виробником на місці її виробництва. Відсутні втрати в мережах, які в електроенергетиці України становлять близько 15–20%. Друге місце Португалії зумовлено високим рівнем сонячного випромінювання та наслідуванням досвіду Іспанії в розвитку сонячної енергетики.

Показник України (965,2 кВт·год./кВт та 11,0%) знаходиться майже на середньоєвропейському рівні (1 199,4 кВт·год./кВт та 13,7%), що є досить непоганим результатом. Зокрема, ефективність роботи сонячної енергетики України є вищою, ніж у Швейцарії (926,8 кВт·год./кВт та 10,6%), яка має кращі показники інтенсивності сонячного випромінювання, ніж Україна, а також Данії (870,6 кВт·год./кВт та 9,9%) та Нідерландів (706,8 кВт·год./кВт та 8,1%), які почали активно розвивати сонячну енергетику значно раніше, ніж Україна. Такий результат ефективності роботи сонячної енергетики України зумовлений розміщенням сонячних електростанцій у південних регіонах, що мають більшу інтенсивність сонячного випромінювання, ніж

області Центральної та Північної України, а самі сонячні електростанції є потужними та сучасними об'єктами, які збудовані з використанням останніх технічних досягнень.

У подальшому в Україні доцільно розширювати використання насамперед невеликих сонячних електростанцій, що розміщуються на дахах та стінах будівель. Нині прикладів успішного спорудження відповідних об'єктів надзвичайно мало. Такий розвиток забезпечить зростання енергетичної незалежності окремих регіонів та зменшення енергетичної залежності економіки України від постачання викопних паливних ресурсів із-за кордону. Розвитком великих (десятки чи навіть сотні МВт встановленої потужності) сонячних електростанцій доцільно займатися також, але вони не повинні розміщуватися на землях, які придатні для сільськогосподарського використання, тобто не призводити до зменшення сільськогосподарського виробництва в Україні, оскільки цей напрям за останні декілька років є провідним у розвитку української економіки.

Висновки з цього дослідження. Науковою новизною є проведення порівняльного аналізу ефективності роботи сонячної енергетики в окремих регіонах світу, провідних країнах та Україні. Серед окремих регіонів світу найвища ефективність роботи сонячної енергетики зафіксована у Північній Америці. Серед окремих країн найвища ефективність роботи спостерігається в Іспанії (2 567,3 кВт·год./кВт та 29,3%), що зумовлено високою інтенсивністю сонячного випромінювання (від 3-х до 5-ти кВт·год./м²·день) та наявністю законодавчих вимог щодо використання сонячних перетворювачів під час спорудження нових будинків. Ефективність використання сонячної енергетики в Україні (965,2 кВт·год./кВт та 11,0%) знаходиться майже на середньоєвропейському рівні, що зумовлено розміщенням сонячних електростанцій у південних регіонах країни з високою інтенсивністю сонячного випромінювання та застосуванням сучасних зразків техніки.

Отримані результати можуть бути використані для більш детального аналізу показників ефективності роботи сонячної енергетики країн-лідерів для вивчення їхнього досвіду та його подальшого використання на підприємствах сонячної енергетики України.

Подальші наукові дослідження за наявності відповідної інформаційної бази можна розділити на два окремих напрями. Перший – це порівняльний аналіз ефективності

роботи сонячної енергетики на основі потужних об'єктів (десятки чи сотні МВт встановленої потужності). Другий – це ефективність роботи невеликих сонячних електростанцій, що розміщуються на дахах і стінах будинків, а вироблена електроенергія переважно використовується самим виробником. У пер-

шому випадку доцільним буде дослідження роботи окремих підприємств сонячної енергетики Німеччини, США, Іспанії. У другому випадку, насамперед, корисним буде досвід країн Європи, що мають порівнювану з Україною інтенсивність сонячного випромінювання (Чехії, Словаччини, Польщі).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Renewable capacity statistics 2017. IRENA Secretariat. International Renewable Energy Agency (IRENA). – Abu Dhabi. IRENA Secretariat, 2017. – 60 p.
2. Renewables 2016 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN 21). – Bonn : REN21 Renewables Academy. 2016. – 272 p.
3. Global Market Outlook For Solar Power / 2015 – 2019. Solar Power Europe – Brussels : EPIA. 2015. – 32 p.
4. BP Statistical Review of World Energy 2016 [Electronic resource] : Website BP. – Access to resources : <http://www.bp.com/content/dam/bp/excel/Energy-Economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-workbook.xlsx>.
5. IRENA membership [Electronic resource] : Website International Renewable Energy Agency (IRENA). – Access to resources : <http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=cat&PriMenuID=46&CatID=67>.
6. Renewable Energy Auctions. Analysing 2016. International Renewable Energy Agency (IRENA). – Abu Dhabi. IRENA Secretariat, 2017. – 108 p.
7. Wind in power. 2016 European statistics. The European Wind Energy Association (EWEA). – Brussels. 2016. – 24 p.
8. Глобальна карта сонячної енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.vk-engineering.com/img/solar/g_solar_map.gif.