

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ У ПРОВІДНИХ КРАЇНАХ СВІТУ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ВЕДУЩИХ СТРАНАХ МИРА

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOLAR POWER EFFICIENCY IN LEADING COUNTRIES WORLDWIDE

Проведено порівняльний аналіз ефективності роботи сонячної енергетики у окремих регіонах і провідних країнах Світу та Україні. Визначено, що серед окремих регіонів лідируючу позицію займають країни Європи, що обумовлено найбільш тривалим періодом розвитку сонячної енергетики, використанням набутого досвіду в період експлуатації об'єктів сонячної енергетики та застосуванням сучасних зразків техніки і обладнання. 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 при будівництві нових споруд обов'язково встановлювати на них певну кількість сонячних перетворювачів. Зазначено, що такий підхід до будівництва мінімізує втрати в мережах при передачі електроенергії, оскільки переважна більшість виробленої електроенергії споживається самим виробником. Підтверджено, що ефективність роботи сонячної енергетики України знаходиться на середньоєвропейському рівні, що пов'язано з розміщення сонячних електростанцій у південних регіонах країни з вищою інтенсивністю сонячного випромінювання та використанням сучасних зразків техніки. Рекомендовано подальші дослідження розбити на два окремі напрями, один з яких це порівняльний аналіз ефективності роботи великих сонячних електростанцій, а другий – це аналіз роботи малих об'єктів розміщених на дахах та стінах будинків.

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

Проведен сравнительный анализ эффективности работы солнечной энергетики в отдельных регионах и ведущих странах мира и Украине. Определено, что среди отдельных регионов лидирующую позицию занимают страны Европы, что обусловлено наиболее длительным периодом развития солнечной энергетики, использованием приобретенного опыта в период эксплуатации объектов солнечной энергетики и применением современных образцов техники и оборудования. 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. Указано, что такой подход к строительству минимизирует потери в сетях при передаче электроэнергии, поскольку подавляющее большинство производимой

електроенергії споживається самим виробником. Підтверджено, що ефективність роботи сонячної енергетики України знаходиться на середньоевропейському рівні, що пов'язано з розміщенням сонячних електростанцій в південних регіонах країни з високою інтенсивністю сонячного випромінювання та використанням сучасних зразків техніки. Рекомендовано подальші дослідження розбити на два окремих напрямки, один з яких – це порівняльний аналіз ефективності роботи великих сонячних електростанцій, а другим – це аналіз роботи малих об'єктів розміщених на дахах та стінах будинків.

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

It has been performed a comparative analysis of solar power efficiency in individual regions and leading countries across the world and in Ukraine. It is estimated that amongst some regions the leadership belongs to European countries due to continuance development of solar energy, lessons learned in course of solar facilities operation and implementation of state-of-the-art machinery and equipment. 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 should be mentioned that such the approach allows minimizing line losses while transmission of electricity since major part of electricity produced is consumed by the producer itself. 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. It is recommended to divide further investigation into two separate directions, one of which is a comparison study of operation efficiency for large solar plants and another one is an analysis of operation of small solar facilities mounted on building roofs and walls.

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

Вступ. 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 (InternationalRenewableEnergyAgency(IRENA)), Мережа по відновлювальним джерелам енергії у XXI ст. (RenewableEnergyPolicyNetworkforthe 21stCentury (REN 21)), Європейська асоціація фотоелектричної промисловості (EuropeanPhotovoltaicIndustryAssociation (EPIA))) основну увагу зосереджують на таких показниках, як обсяги введених потужностей за рік та загальна встановлена потужність на кінець відповідного періоду (року) [1, с. 18 – 20; 2, с. 47 – 50; 3, с. 17 – 24]. Британська нафтова компанія BP у своєму щорічному звіті наводить статистичну інформацію стосовно обсягів споживання електроенергії, що вироблена за рахунок використання фотоперетворювачів у окремих країнах світу[4].

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

Постановка завдання. Завданням статті є проведення порівняльного аналізу ефективності роботи сонячної енергетики у 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 електроенергії завдяки сонячному випромінюванню господарюючими суб'єктами та окремими громадянами в Україні.

Методологія. Теоретичну основу дослідження складає 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 існуючих перетворювачів сонячної енергії у електричну, статистичного дослідження, логічного узагальнення.

Результати дослідження. Більшість країн світу приділяє значну увагу розвитку альтернативної енергетики. До цієї групи входять, як розвинуті країни, так і країни, що розвиваються та країни з перехідною економікою. Так, наразі, членами IRENA є 140 держав Світу і ще 32 держави подали документи на вступ до цієї організації [5]. Інвестиції у розвиток різних напрямів альтернативної енергетики за підсумками 2014 р. (310 млрд дол.) зросли відносно попереднього року (268 млрд дол.) на 42 млрд, а за останнє десятиліття інвестування збільшилось у понад п'ять разів (у 2004 р. інвестовано 60 млрд дол.) [6]. Розглядаючи різні напрями альтернативної енергетики, слід зазначити, що майже половина інвестованих коштів (149,6 млрд дол.) надходить у сонячну енергетику (фотовольтаїка). На другій позиції була вітрова енергетика (99,5 млрд дол.), а на третій сектор Інтелектуальних енергетичних технологій (37,1 млрд дол.), що включає розумні мережі, зберігання енергії, підвищення енергоефективності, електричний транспорт.

Сонячна енергетика у 2014 р. не лише випередила інші напрями альтернативної енергетики за загальним обсягом інвестицій вкладених у її розвиток, а й за темпами нарощування інвестицій (зростання на 25 % до попереднього року) випереджала інші напрями (вітроенергетика – 11 %, Інтелектуальні енергетичні технології – 10 %) та ринок альтернативної енергетики загалом (15 %) [7].

Проведемо порівняльний аналіз ефективності використання сонячної енергії на основі опрацювання статистичної інформації, що міститься у звітах ЕРІА[3], ВР[4] та IRENA[8]. Основна увага у зазначених звітах зосереджується на введенні нових енергетичних потужностей за останній рік та на загальній потужності енергетики за окремими країнами і регіонами Світу. Так, у звіті ЕРІА наводяться статистична інформація про введення нових потужностей у сонячній енергетиці починаючи з 2000 р. та обсяг загальної встановленої потужності на кінець відповідного року за період 2000 – 2013 рр. [3, с. 17 – 19]. Аналогічна інформація наводиться по окремим країнам Європи [3, с. 21 – 24]. У звіті ВР наводиться інформація стосовно споживання електроенергії, що вироблена за рахунок сонячних перетворювачів у окремих країнах та регіонах Світу[4]. У звіті IRENA приведено дані стосовно введених потужностей у 2013 р. та загальної встановленої потужності сонячної енергетики за підсумками 2013 р. у провідних країнах та окремих регіонах Світу[8, с. 47 – 50, 54, 76 – 77].

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 (таблиця).

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 діб/рік). На практиці у сонячній енергетиці цей показник значно нижчий. Сонячне світло, що використовується для виробництва електричної енергії надходить до перетворювача лише у день. 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 %, отримаємо частку (відсоток) використання встановленої потужності.

Крім того слід зауважити, що окремі країни вводили значний обсяг потужності за останній рік. Наприклад Китай понад 60 % загальної потужності ввів лише за один 2013 р. Детальна інформація стосовно того, яка частина нових потужностей працювала протягом якого періоду часу у 2013 р. відсутня. Тож, для підвищення об'єктивності розрахунку, будемо вважати, що нові потужності вводились протягом року рівномірно. В такому разі від загальної встановленої потужності на кінець 2013 р. відніmemo половину нової встановленої потужності за 2013 р. і саме ці дані будемо використовувати у розрахунках.

Серед регіонів Світу лідируючі позиції за ефективністю використання сонячної енергетики займала Європа (1 121,5 кВт·год/кВт та 12,8 %). Другу позицію займала Північна Америка (952,2 кВт·год/кВт та 10,9 %), а третю – Азія (862,3 кВт·год/кВт та 9,8 %). Лідируючі позиції країн Європи зумовлені найбільш тривалим періодом розвитку сонячної енергетики, використанням набутого досвіду та застосуванням останніх зразків техніки і обладнання. В подальшому, ситуація буде змінюватись на користь інших регіонів Світу, оскільки значна кількість з них мають території з більшою інтенсивністю сонячного випромінювання ніж у країнах Європи. Зокрема, найкращі перспективи для розвитку сонячної енергетики мають країни Африки в районі Сахари та на півдні цього континенту, в центральній частині Південної Америки та на півночі Австралії, де інтенсивність сонячного випромінювання становить в діапазоні від 6-ти до 7-ми кВт·год/(м²·день) [9]. Інформація по іншим регіонам світу відсутня через початкову стадію розвитку сонячної енергетики у цих регіонах і не значний обсяг введених потужностей.

Таблиця. Ефективність використання сонячної енергії у провідних країнах світу та Україні у 2013 р. (розраховано на основі [3; 4; 8])

Країна	Споживання електроенергії, млрдкВт·год	Нова встановлена потужність у 2013 р., МВт	Загальна встановлена потужність на кінець 2013 р., МВт	Ефективність використання, кВт·год/кВт	Частка використання встановленої потужності, %
Північна Америка	10,2	5 240	13 332	952,2	10,9
США	9,3	4 751	12 022	964,1	11,0
Канада	0,8	444	1 210	809,7	9,2
Мексика	0,1	45	100	1 290,3	14,7
Європа	83,6	10 240	79 662	1 121,5	12,8
Австрія	0,6	220	580	1 276,6	14,6
Бельгія	2,0	215	2 983	695,5	7,9

Болгарія	1,4	10	918	1 533,4	17,5
Чехія	2,1	88	2 160	992,4	11,3
Данія	0,5	153	532	1 097,7	12,5
Франція	4,6	613	4 632	1 063,5	12,1
Німеччина	30,0	3 305	35 948	874,8	9,99
Греція	1,9	1 043	2 579	923,5	10,5
Італія	22,4	1 461	17 600	1 327,8	15,2
Нідерланди	0,4	357	722	736,0	8,4
Португалія	0,4	52	278	1 587,3	18,1
Румунія	0,1	1 100	1 150	166,7	1,9
Словаччина	0,6	0	524	1 145,0	13,1
Іспанія	13,1	143	4 828	2 754,1	31,4
Швейцарія	0,5	300	740	847,5	9,7
Великобританія	2,0	992	2 892	834,7	9,5
Україна	0,6	293	612	1 074,1	12,3
Інші країни Світу	30,7	22 081	46 643	862,3	9,8
Австралія	3,6	848	3 255	1 271,6	14,5
Китай	11,9	11 300	18 300	940,7	10,7
Ізраїль	0,5	183	420	1 522,1	17,4
Індія	0,5	1 115	2 291	288,4	3,3
Японія	10,7	6 900	13 643	1 049,7	12,0
Південна Корея	1,7	442	1 467	1 364,4	15,6
Тайвань	0,3	170	376	1 030,9	11,8
Таїланд	0,9	317	704	1 649,9	18,8
Світ у цілому	124,8	37 561	139 637	1 032,6	11,8

Серед окремих країн лідируючу позицію за ефективністю роботи сонячної енергетики займала Іспанія (2 754,1 кВт·год/кВт та 31,4 %). Наступні позиції були за Таїландом (1 649,9 кВт·год/кВт та 18,8 %) та Португалією (1 587,3 кВт·год/кВт та 18,1 %). Ситуацію стосовно ефективності використання сонячної енергетики у країнах Європи проаналізуємо детальніше. Лідируючі позиції Іспанії пов'язані, в першу чергу, з високою інтенсивністю сонячного випромінювання. На переважній більшості території Іспанії інтенсивність сонячного випромінювання знаходиться в діапазоні від 3-х до 5-ти кВт·год/(м²·день), в той час, як на більшості території Європи, за виключенням 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-ну кВт·год/(м²·день) [9]. Іншою складовою високого рівня ефективності роботи сонячної енергетики Іспанії є законодавчі особливості, що передбачають при спорудженні нових будинків обов'язкове встановлення певної кількості сонячних перетворювачів. У такому випадку вироблена електроенергія споживається самим виробником, на місці її виробництва.

Відсутні втрати в мережах, що в електроенергетиці України становлять близько 20 %.

Показник України (1 074,1 кВт·год/кВт та 12,3 %) знаходиться трохи нижче середньо європейського рівня (1 121,5 кВт·год/кВт та 12,8 %), що є досить непоганим результатом. Зокрема, ефективність роботи сонячної енергетики України є вищою ніж у Франції (1 063,5 кВт·год/кВт та 12,1 %) та Греції (923,5 кВт·год/кВт та 10,5 %), що мають кращі показники інтенсивності сонячного випромінювання ніж Україна, а також Німеччини (874,8 кВт·год/кВт та 9,99 %) – загальносвітового лідера за встановленою потужністю сонячної енергетики. Такий результат ефективності роботи сонячної енергетики України обумовлений 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.

В подальшому в Україні доцільно розширювати використання, насамперед, невеликих сонячних електростанцій, що розміщуються на дахах та стінах будівель. Наразі 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 з-за кордону. Розвитком великих (десятки чи навіть сотні МВт встановленої потужності) сонячних електростанцій доцільно займатись також, але вони не повинні розміщуватись 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. Науковою новизною є проведення порівняльного аналізу ефективності роботи сонячної енергетики у окремих регіонах Світу, провідних країнах та Україні. Серед окремих регіонів Світу найвища ефективність роботи сонячної енергетики зафіксована у Європі. Серед окремих країн найвища ефективність роботи спостерігається у Іспанії (2 754,1 кВт·год/кВт та 31,4 %), що обумовлено високою інтенсивністю сонячного випромінювання (від 3-х до 5-ти кВт·год/(м²·день)) та наявністю законодавчих вимог щодо використання сонячних перетворювачів при спорудженні нових будинків. Ефективність використання сонячної енергетики в Україні (1 074,1 кВт·год/кВт та 12,3 %) знаходиться 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 використанні для більш детального аналізу показників ефективності роботи сонячної енергетики країн-лідерів, з метою вивчення їхнього досвіду і його подальшого використання на підприємствах сонячної енергетики України.

Подальші наукові дослідження при 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 першому 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 (Чехія, Словаччина, Польща).

Література:

1. Renewable energy technologies: cost analysis series: Solar Photovoltaics. IRENA Secretariat. International Renewable Energy Agency (IRENA). – Abu Dhabi : IRENA Secretariat, 2012. – 52 p.
2. Renewables 2014 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN 21). – Bonn : REN21 Renewables Academy. 2014. – 215 p.
3. Global Market Outlook For Photovoltaics 2014 – 2018. European Photovoltaic Industry Association (EPIA). – Brussels : EPIA. 2014. – 60 p.
4. BP Statistical Review of World Energy 2014 [Electronic resource] : Website BP. – Access to resources : http://www.bp.com/content/dam/bp/excel/Energy-Economics/statistical-review-2014/BP-Statistical_Review_of_world_energy_2014_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. Solar power drives renewable energy investment boom in 2014 [Electronic resource] : Website «The Guardian». – Access to resources : <http://www.theguardian.com/environment/2015/jan/09/solar-power-drives-renewable-energy-investment-boom-2014>.
7. Rebound in clean energy investment in 2014 beats expectations [Electronic resource] : Website «Bloomberg New Energy Finance». – Access to resources : <http://about.bnef.com/press-releases/rebound-clean-energy-investment-2014-beats-expectations/>.
8. Renewable Power Generation Cost in 2014. IRENA Secretariat. International Renewable Energy Agency (IRENA). – Abu Dhabi : IRENA Secretariat, 2015. – 164 p.
9. Глобальна карта сонячної енергії [Електронний ресурс] : Сайт Інженерні ідеї, ресурси, знання. – Режим доступу до ресурсу : http://www.vk-engineering.com/img/solar/g_solar_map.gif.