

**Довгалюк Оксана Миколаївна**, канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий інститут енергетики, електроніки та електромеханіки, Кафедра передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Тел.0509380348; E-mail: alexlazurenko58@gmail.com

**Шматов Антон Олексійович**, магістрант Кафедри передачі електричної енергії НТУ «ХПІ», Тел.050938034; E-mail: alexlazurenko58@gmail.com

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61000

## ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА: СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ

**Анотація.** В статті узагальнено деякі аспекти сучасного стану вітрової енергетики та окреслено можливі перспективи розвитку. Акцентовано увагу на вимоги Директиви Європарламенту та Ради ЄС 2001/80/ЄС "Про комплексне запобігання і контроль забруднень" і директиви 2010/75/ЄС Європейського Парламенту та Ради про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення) та відповідність цим умовам промислової політики України. Розглянуто сучасний стан вітроенергетики, як вагомого чинника протидії глобальним змінам клімату та поліпшення загального стану енергетичної безпеки в світі, Європі та в Україні. Узагальнено перспективи подальшого розвитку вітроенергетики. Виділено території України, які характеризуються найвищим вітроенергетичним потенціалом і мають сприятливі умови для виробництва електроенергії вітровими електростанціями. Відзначено, що використання ВДЕ є одним із основних пріоритетів розвитку енергетики для більшості розвинених країн. Енергія вітру є широко доступним і одним з найдешевших джерел серед ВДЕ для виробництва електричної енергії в світі. Вітроенергетика займає друге місце в структурі ВДЕ після сонячної і характеризується найбільш швидким розвитком технологій та інтенсивним зростанням встановлених потужностей через постійний розвиток науки, технологій, що призводить до збільшення доступності, розвитку широкого спектра техніки, а також зниження витрат на їх виробництво та експлуатацію. Світовий досвід впровадження технологій вітрової та сонячної енергетики малої потужності, що можуть бути використані для підвищення енергетичної автономії підприємств, свідчить про те, що до основних переваг їх використання, перш за все, належить зниження екологічного навантаження на довкілля порівняно з традиційними способами отримання електричної енергії, за рахунок уникнення викидів шкідливих речовин (діоксиду сірки, оксидів азоту, пилу, парникових газів), а також майже повної відсутності відходів.

**Ключові слова:** відновлювана енергетика, вітроенергетика, енергія вітру, розвиток, екологічне навантаження, виробництво, енергетична автономія.

**Dovgaluk Oksana Mykolayivna**, Ph.D. technical Sciences, associate professor, Educational and Scientific Institute of Energy, Electronics and Electromechanics, Department of electrical energy transmission of NTU "KhPI", Tel.0509380348; E-mail: alexlazurenko58@gmail.com

**Shmatov Anton Oleksiiovich**, Master's student of the Department of Electrical Energy Transmission of NTU "KhPI", Tel.050938034; E-mail: alexlazurenko58@gmail.com

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kyrpychova Str., 2, Kharkiv, Ukraine, 61000

## RENEWABLE ENERGY: CURRENT DEVELOPMENT TRENDS

**Abstract.** The article summarizes some aspects of the current state of wind energy and outlines possible development prospects. Attention is focused on the requirements of Directive 2001/80/EC of the European Parliament and the Council of the EU "On integrated pollution prevention and control" and Directive 2010/75/EC of the European Parliament and the Council on industrial emissions (integrated prevention and control of pollution) and compliance with these conditions of the industrial policy of Ukraine. The current state of wind energy is considered, as a significant factor in countering global climate changes and improving the general state of energy security in the world, Europe and Ukraine. Prospects for the further development of wind energy are summarized. Territories of Ukraine, which are characterized by the highest wind energy potential and have favorable conditions for the production of electricity by wind power plants, are highlighted. It was noted that the use of RES is one of the main priorities of energy development for most developed countries. Wind energy is widely available and one of the cheapest sources among RES for the production of electricity in the world. Wind energy occupies the second place in the structure of RES after solar and is characterized by the fastest development of technologies and intensive growth of installed capacities due to the constant development of science and technology, which leads to increased availability, development of a wide range of equipment, as well as a decrease in costs for their production and exploitation. The world experience of implementing low-power wind and solar energy technologies, which can be used to increase the energy autonomy of enterprises, shows that the main advantages of their use, first of all, are the

*reduction of the ecological burden on the environment compared to traditional methods of obtaining electrical energy, due to the avoidance of emissions of harmful substances (sulfur dioxide, nitrogen oxides, dust, greenhouse gases), as well as the almost complete absence of waste.*

**Keywords:** *renewable energy, wind energy, wind energy, development, ecological load, production, energy autonomy.*

**Довгалоук Оксана Николаевна**, канд. техн. наук, доцент, Учебно-научный институт энергетики, электроники и электромеханики, Кафедра передача электрической энергии НТУ «ХПИ», Тел.0509380348; E-mail: alexlazurenko58@gmail.com

**Шматов Антон Алексеевич**, магистрант Кафедры передачи электрической энергии НТУ «ХПИ», Тел.050938034; E-mail: alexlazurenko58@gmail.com

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ул. Кирпичева, 2, Харьков, 61000, Украина*

## ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

**Аннотация.** *В статье обобщены некоторые аспекты современного состояния ветровой энергетики и обозначены возможные перспективы развития. Акцентировано внимание на требования Директивы Европарламента и Совета ЕС 2001/80/ЕС "О комплексном предотвращении и контроле загрязнений" и директивы 2010/75/ЕС Европейского Парламента и Совета о промышленных выбросах (интегрированное предотвращение и контроль загрязнения) и соответствие этим условиям. Рассмотрено современное состояние ветроэнергетики как весомого фактора противодействия глобальным изменениям климата и улучшению общего состояния энергетической безопасности в мире, Европе и Украине. Обобщены перспективы дальнейшего развития ветроэнергетики. Выделены территории Украины, которые характеризуются высоким ветроэнергетическим потенциалом и имеют благоприятные условия для производства электроэнергии ветровыми электростанциями. Отмечено, что использование ВИЭ является одним из основных приоритетов развития энергетики для большинства развитых стран. Энергия ветра является широко доступным и одним из самых дешевых источников среди ВИЭ для производства электрической энергии в мире. Ветроэнергетика занимает второе место в структуре ВИЭ после солнечной и характеризуется наиболее быстрым развитием технологий и интенсивным ростом установленных мощностей из-за постоянного развития науки, технологий, что приводит к увеличению доступности, развитию широкого спектра техники, а также снижению затрат на их производство и эксплуатацию. Мировой опыт внедрения технологий ветровой и солнечной энергетики малой мощности, которые могут быть использованы для повышения энергетической автономии предприятий, свидетельствует о том, что к основным преимуществам их использования прежде всего относится снижение экологической нагрузки на окружающую среду по сравнению с традиционными способами получения электрической энергии, за счет избегания выбросов вредных веществ (диоксида серы, оксидов азота, пыли, парниковых газов), а также почти полного отсутствия отходов.*

**Ключевые слова:** *возобновляемая энергетика, ветроэнергетика, энергия ветра, развитие, экологическая нагрузка, производство, энергетическая автономия.*

**Актуальність теми дослідження.** Поступове виснаження запасів легкодоступних дешевих енергоресурсів, постійне зростання ціни на органічне паливо і погіршення екологічних умов життя стали поштовхом для розвитку та широкого впровадження екологічно чистих відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), таких як вітро-, гідро- і сонячні джерела енергії. Використання ВДЕ на сьогоднішній час є одним із основних пріоритетів розвитку енергетики для більшості розвинених країн. В Україні є всі умови для масштабного розвитку технологій вітроенергетики. Потенціал ефективної роботи вітроенергетичних установок (ВЕУ) для України є найвищим серед країн Східної Європи, а для сектору вітроенергетики України притаманні такі самі закономірності розвитку, що й для світової вітроенергетики. У зв'язку з цим актуальним постає

питання щодо узагальнення перспектив подальшого розвитку вітроенергетики країни.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сучасний стан вітрової енергетики викладено у чисельних публікаціях вітчизняних та зарубіжних дослідників [1-16]. У цих та інших наукових працях перспективи її розвитку розглядаються залежно від кліматичних ресурсів, а також економічних чинників. Крім кліматичних умов аналізуються природні особистості різних регіонів, що впливають на впровадження вітрової енергетики. Серія публікацій пов'язана з вимогами Директиви Європарламенту та Ради ЄС 2001/80/ЄС “Про комплексне запобігання і контроль забруднень” [3] і директиви 2010/75/ЄС Європейського Парламенту та Ради про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення) [4]. Увага к цим документам обумовлена тим, що відповідно до Угоди про асоціацію з ЄС Україна взяла на себе певні зобов'язання. Так, відповідно до європейських екологічних стандартів частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел у загальній структурі енергоспоживання країни на початку 2020 років повинна досягти рівня 11% , а вітрова та сонячна енергетика має становити не менше 32% у валовій електрогенерації з відновлюваних джерел [5]. На виконання цих зобов'язань Кабінетом Міністрів України була затверджена «Енергетична стратегія України на період до 2035 року», у рамках якої передбачається стале розширення використання всіх видів відновлюваної енергетики з прогнозованим зростанням її частки у 2025 році до рівня 12% від загального первинного постачання енергії та не менше 25% – до 2035 року [6].

Технічні та технологічні аспекти вітрової та сонячної електроенергетики розглянуто у роботах [7-11], загальні тенденції виробництва та споживання традиційних та відновлювальних джерел – у працях [12,13], економічні передумови розвитку вітрових генерувальних потужностей України та досвід країн ЄС – у наукових працях [14, 15]. Певні праці присвячено економічній та екологічній доцільності розвитку сонячної енергетики та застосування сонячної енергії в АПК [16].

**Мета дослідження.** Метою статті є аналіз світових та вітчизняних тенденцій розвитку вітроенергетики як фактору забезпечення енергетичної автономії підприємств.

**Виклад основного матеріалу.** Енергія вітру є широко доступним і одним з найдешевших джерел серед ВДЕ для виробництва електричної енергії в світі. Вітроенергетика займає друге місце в структурі ВДЕ після сонячної і характеризується найбільш швидким розвитком технологій та інтенсивним зростанням встановлених потужностей через постійний розвиток науки, технологій, що призводить до збільшення доступності, розвитку широкого спектра техніки, а також зниження витрат на їх виробництво та експлуатацію. Глобальна встановлена потужність вітроенергетики на суші та на морі за останнє десятиліття збільшилася майже

в 5 разів (з 159 ГВт у 2009 р. до 651 ГВт у 2020 р.). США, Німеччина, Іспанія, Швеція, Данія, Японія планують у першій половині XXI століття довести частку ВДЕ в загальному енергобалансі до 25–50 %. Все більше країн беруть на себе довгострокові цілі з забезпечення енергоспоживання за рахунок ВДЕ майже 100 %.

Протягом останніх 20 років для світової енергетики частка ВДЕ в загальній структурі генерації електричної енергії збільшується з кожним роком. Так за даними Міжнародної агенції з розвитку відновлюваної енергетики IRENA в 2020 р. глобальна встановлена потужність ВДЕ у світі перевищила 2795526 МВт [1]. За прогнозом фахівців Міжнародного енергетичного агентства REN21 у період до 2035 р. близько 75 % інвестицій в енергетичний сектор Європейського Союзу, спрямовуватимуться саме у відновлювану енергетику [2].

Збільшення обсягу вироблення електроенергії з використанням вітрових електростанцій (ВЕС) є пріоритетною задачею для енергетики України, що затверджено енергетичною стратегією розвитку країни [3]. Держава підтримує розвиток відновлюваної енергетики через запровадження низки нормативно-правових актів. Зокрема, в 2009 р., згідно зі змінами до Закону України «Про електроенергетику», в Україні було введено систему стимулювання розвитку відновлюваної енергетики завдяки так званім «зеленим тарифам». У 2015 р. ці тарифи було скориговано з метою запобігання корупційним схемам та збалансування наявної тарифної системи. Загальний економічний потенціал вітрової енергетики на основі супутникових даних та кліматичних моделей оцінюється IRENA у 119 ГВт [1], що є достатнім щоб з надлишком забезпечити електроенергією всю країну, адже зараз потужність електростанцій всіх видів в державі складає 54 ГВт. Найбільш перспективними для будівництва вітроелектростанцій вважаються південні й південно-східні регіони України, де середня швидкість вітру на висоті осі ротора сягає 7 м/с і вище. За рахунок різниці температур Чорного та Азовського морів, що провокує переміщення повітряних мас, на території від Одеської до Херсонської області утворилася так звана «повітряна труба». Гарний вітроенергетичний потенціал мають Карпати, Івано-Франківська та Львівська області. Застосування сучасних технологій вітроенергетики в Україні створює можливості для заміщення традиційного викопного палива у значних обсягах. Саме тому питання проектування та впровадження в експлуатацію ВЕС є досить актуальним для енергетики.

Світовий досвід впровадження технологій вітрової та сонячної енергетики малої потужності, що можуть бути використані для підвищення енергетичної автономії підприємств, свідчить про те, що до основних переваг їх використання, перш за все, належить зниження екологічного навантаження на довкілля порівняно з традиційними способами отримання електричної енергії, за рахунок уникнення викидів шкідливих речовин

(діоксиду сірки, оксидів азоту, пилу, парникових газів), а також майже повної відсутності відходів. Є інші приваблюючі сторони відновлюваних джерел енергії. На відміну від традиційних джерел вироблення електричної енергії вітровий потік та енергія сонячного випромінювання є невичерпними [14,16].

Разом з цим, фахівці відзначають проблеми, що виникають при освоєнні цих видів альтернативних джерел. Перш за все - це залежність функціонування вітрових та сонячних енергогенеруючих установок від погодних умов, пори року та інших природних факторів. Суттєвими є проблеми накопичення та збереження виробленої електроенергії установками малої потужності, що полягає у необхідності використання дорогих технічних засобів та обладнання, високі капітальні витрати на будівництво нових СЕС та ВЕС, низький порівняно з традиційними електростанціями коефіцієнт використання встановленої потужності, що зумовлює відносно невисокий вихід електроенергії, потенційна небезпека загибелі птахів внаслідок їхнього потрапляння в зону дії обертових лопатей вітрогенераторів та високий рівень шуму під час роботи [15]. Ці та інші проблеми зумовлюють сповільнення темпів їх впровадження.

У 2019 році світовий ринок вітроенергетики виріс на 19% і досяг 60 ГВт, що є другим за величиною річним приростом. Загальна встановлена потужність установок вітроенергетики в світі становить понад 650 ГВт (621 ГВт на суші та решта на морі), що показано на рис. 1 [17].

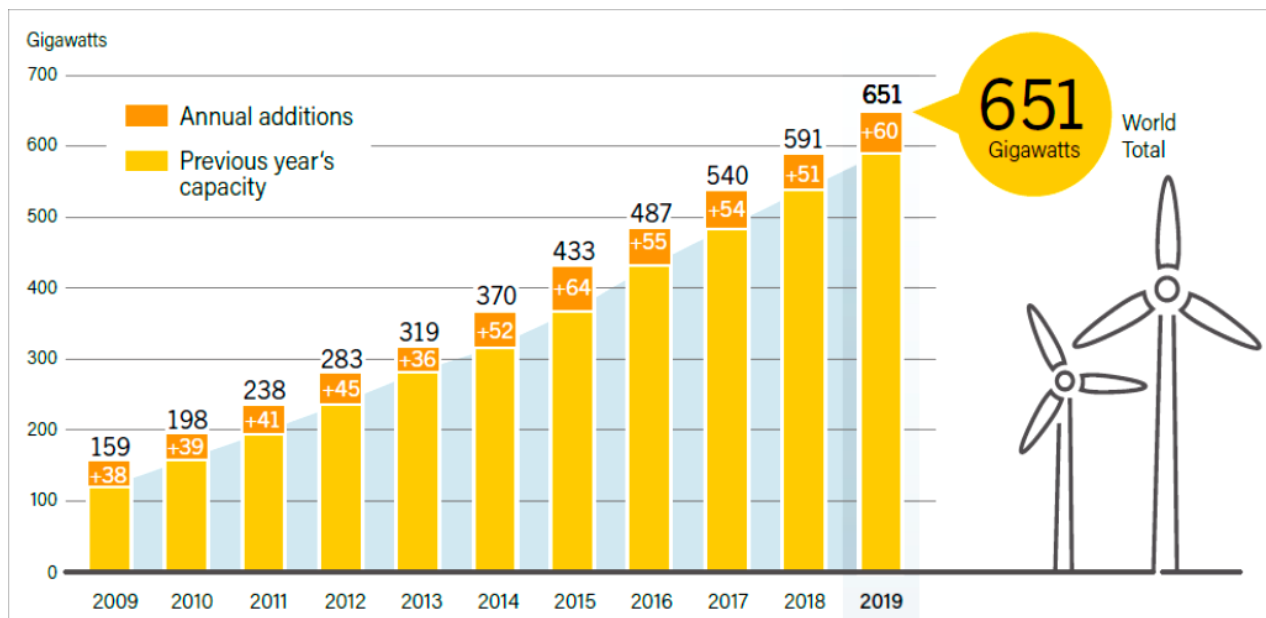


Рис. 1. Глобальна потужність вітроенергетичних установок у світі з щорічним приростом

Причини інтенсивного розвитку світових ринків вітроенергетики включають економічні переваги енергії вітру та її зростаючу

конкуентоспроможність по відношенню до інших джерел електроенергії, а також гостру необхідність реалізації технологій без викидів з метою пом'якшення наслідків зміни клімату та забруднення повітря.

Нові вітропарки вступили в повну експлуатацію у 2019 р. у 55 країнах, а до кінця року принаймні 102 країни мали певний рівень комерційних вітроенергетичних потужностей, достатніх для забезпечення приблизно 5,9% світового вироблення електроенергії. При цьому найвища частка генерації була у Данії (57%), Ірландії (32%), Уругваї (29,5%) та Португалії (26,4%). За цей період у 35 країнах, що представляють усі регіони, було введено в експлуатацію понад 1 ГВт вітроенергетичних потужностей. Динаміка приросту вітроенергетичних потужностей за 2019 р. для лідерів світового виробництва енергії від ВЕС представлена на рис. 2 [2].

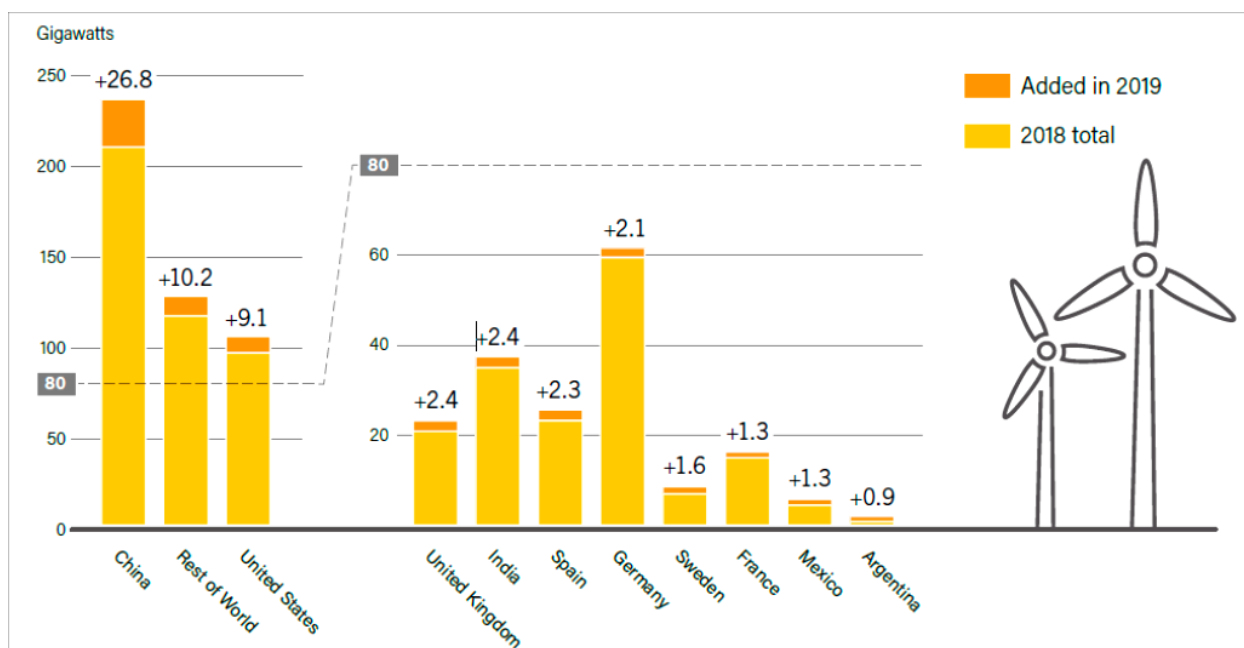


Рис. 2. Динаміка приросту вітроенергетичних потужностей за 2019 р.

Аналіз темпів зростання потужностей показує, що безумовними лідерами серед виробників вітроенергетичних потужностей є Китай, США, Великобританія, Індія, Іспанія.

Щорічний приріст встановленої потужності установок вітроенергетики протягом останніх 10 років постійно збільшується, що свідчить про стабільний розвиток, постійний попит та гарні перспективи вітроенергетики. Станом на кінець 2019 р. у світі було введено в експлуатацію вітроенергетичних потужностей, достатніх для забезпечення приблизно 5,9 % загального обсягу виробництва електроенергії у світі. Інформація про найбільш потужні ВЕС у світі представлена в табл. 1.

Таблиця 1. Характеристика найбільш потужних ВЕС у світі.

Назва ВЕС	Рік запуску	Місце розташування	Генеруюча потужність, МВт	Кількість генераторів	Потужність генераторів, МВт
Ганьсу	2010	Китай	20000	3500	5,16
ВЕС Маркбігден	2010	Швеція	1873	466	3,6
ВЕС Маппандал	1986	Індія	1500	3000	0,2-1,6
ВЕС Альта	2010	США	3200	106	3
Джайсалмерський вітровий парк	2001	Індія	1064	≈434	0,35-2,1
Фосен Вінд	2021	Норвегія	1000	308	3,6
ВЕС Финтинеле-Коджалак	2012	Румунія	600	240	2,5

ВЕС Ганьсу розташована на заході провінції Ганьсу в Китаї. Із запланованою потужністю у 20000 МВт на 2020 рік, з виділенням на реалізацію проекту 17,5 млрд долларів, це найбільша у світі вітряна електростанція. ВЕС наразі є місцем розташування 3500 турбін і виробляє вдосталь енергії для живлення маленької країни. Цей проєкт - перший крок китайського уряду у інвестиції \$360 млрд у відновлювані джерела енергії. У 2005 році було започатковано закон про відновлювану енергетику, щоб досягти 200 ГВт встановленої вітряної потужності в країні.

Центр вітряної енергії Альта, також відомий як вітряна електростанція Мохаве, розташований в окрузі Керн, Каліфорнія. Він має робочу потужність 3200 МВт і є найбільшою вітряною електростанцією в США. ВЕС постачає енергію до Південної Каліфорнії Едісон в рамках 25-річної угоди про закупівлю електроенергії. Будівництво розпочалося в липні 2010 року й передбачало 11 етапів, останній з яких було завершено у 2013 році. Проєкт мав на меті скоротити викиди вуглекислого газу більш ніж на 5,2 млн метричних тонн (що можна порівняти з зняттям з доріг 446 тисяч автомобілів) і виробляти електроенергію для 275 тисяч будинків у Каліфорнії. Заплановано подальші етапи, щоб у кінцевому підсумку довести потужність об'єкта на 1550 МВт до 3000 МВт.

Вітряна електростанція Муппандал, розташована в Індії, є найбільшою активною вітряною електростанцією в країні. Вона керується Агентством

розвитку енергетики Тамілнаду (TIDCO) і має загальну встановлену потужність 1500 МВт. Розташування станції забезпечує сильний вітер з Аравійського моря, виробляючи енергію для місцевого населення.

ВЕС Маркбігден – це парк, що складається з трьох вітряних електростанцій, а саме Kilberget, Gråberget та Snöbergen у Північній Швеції. Проект розроблявся протягом 15 років шведською вітровою компанією Svevind. За оцінками, вартість проекту складе 800 млн. євро (953 млн. доларів), після завершення він стане найбільшою береговою вітряною електростанцією в Європі. Очікується, що встановлена потужність вітрогенераторів у Швеції збільшиться на 12,5%.

Вітряний парк Джайсалмер, розташований у Західній Індії, є другою за величиною ВЕС в Індії з потужністю 1064 МВт. Проект було розпочато в серпні 2001 року. Він досяг поточної потужності у квітні 2012 року. У проекті було використано весь портфель турбін Suzlon на той час, від його найпершої моделі потужністю 350 кВт до серії S111 – 2,1 МВт. Замовниками проекту є приватні незалежні постачальники та виробники комунальних послуг, а також компанії як приватного, так і державного сектору, такі як Раджастанські шахти та мінерали, Hindustan Petroleum Corporation та CLP India.

ВЕС Финтинеле-Коджалак (рум. Parcul eolian Fântânele-Cogealac) — вітрова електростанція, яка розташована на території двох румунських комун Финтинеле і Коджалак. ВЕС має 240 вітрогенераторів потужністю близько 2,5 МВт, її загальна номінальна потужність становить 600 МВт. На момент введення в експлуатацію це була найбільша вітрова електростанція в Румунії та одна з найбільших в світі. Оператором електростанції є чеська енергетична компанія ČEZ.

**Аналіз сучасного стану і тенденцій розвитку вітроенергетики в Україні.** Україна має гарний вітровий потенціал і значні території, придатні для розвитку вітрових проектів, що формує вельми сприятливі умови для розвитку вітроенергетики. Аналіз характеристики вітрового потенціалу України, який складений Інститутом відновлюваної енергетики НАН України і представлений на рис 3, показує, що в Україні придатними для будівництва ВЕС вважаються площі до 7 тис. км<sup>2</sup>, що становить понад 50 % території країни [10].

Як видно з рис. 3, особливо привабливими для використання енергії вітру в Україні є південні території (узбережжя Чорного моря і Азовського моря – Одеська, Херсонська і Миколаївська області), а також західні території (гірські райони Карпат – Ужгородська, Львівська області). За даними Міжгалузевого науково-технічного центру вітроенергетики Національної академії наук України [11] територія України має значні ресурси вітрової енергії, які оцінюються у 30 ТВт·год./рік. Процес будівництва української вітроенергетики розпочався ще у 1996 р., коли була збудована Новоазовська ВЕС потужністю 50 МВт, у 1997 р. введена в



експлуатацію Трускавецька ВЕС, у 1998 і 1999 рр. розпочали роботу ще три ВЕС. В 2000 р. в Україні працювало вже 134 турбіни та було заплановано введення понад 100 ВЕУ загальною потужністю 100 кВт.

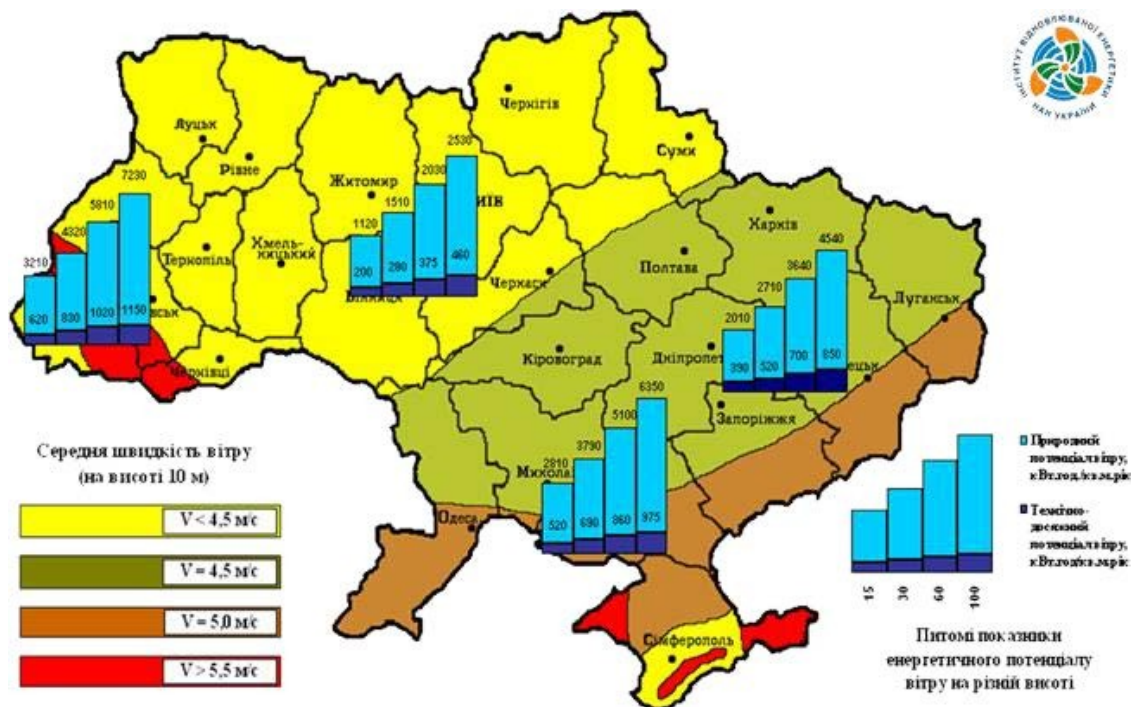


Рис. 3. Потенціал вітроенергетики України.

Крім того серед сприятливих умов для розвитку вітрової енергетики в Україні слід зазначити затверджені на законодавчому рівні пільгові тарифи, які введені для підтримки розвитку ВДЕ, а також цільову державну енергетичну стратегію, метою якої зазначено досягнення 25% виробництва чистої енергії в термін до 2035 року. Це сприяє створенню привабливого інвестиційного клімату, який забезпечує сталий розвиток вітроенергетики в Україні [12]. Результатом проведення такої державної політики є різке зростання встановленої потужності ВЕС в об'єднаній енергосистемі (ОЕС) України та обсягів електроенергії, виробленої з ВЕС, протягом останніх 10 років. Динаміка зміни встановленої потужності ВЕС за останні 5 років в Україні, яка представлена на рис. 4, показує, що загальна встановлена потужність ВЕС для ОЕС України за цей період зростає майже в 5 разів (від 289,5 МВт у 2015 р. до 1529 МВт у 2021 р.) [13].

Порівняно з 2018 роком у 2021 році в Україні спостерігалось майже 10-кратне збільшення установок вітроенергетики (приріст склав 0,6 ГВт), що більш ніж удвічі збільшило її потужність до 1,2 ГВт напередодні переходу до нового енергоринку у 2020 р. При цьому станом на лютий 2022 р. в загальній структурі встановленої потужності ОЕС України вітрова енергетика дорівнювала 2,73%, поступаючись серед ВДЕ лише сонячній, про що свідчать дані [13], показані на рис. 5.

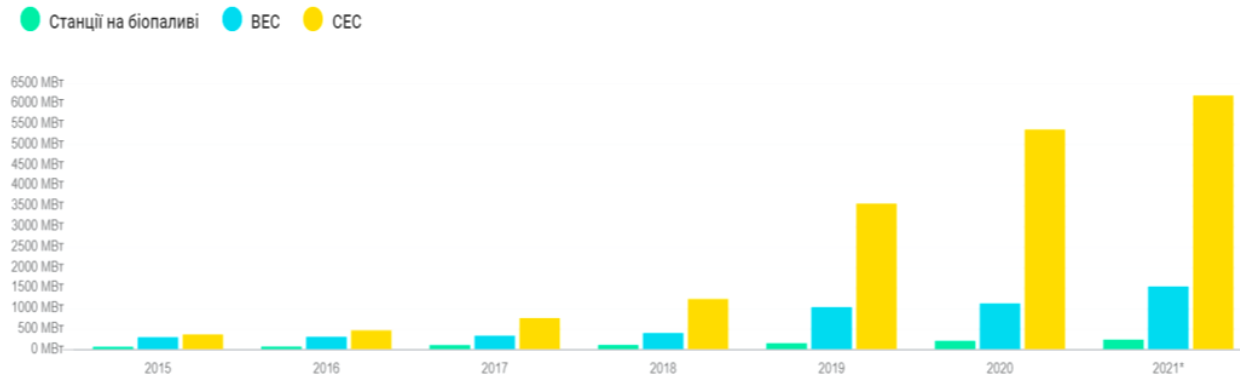


Рис. 4. Динаміка зміни встановленої потужності ВДЕ в ОЕС України для 2015 - 2021 рр.

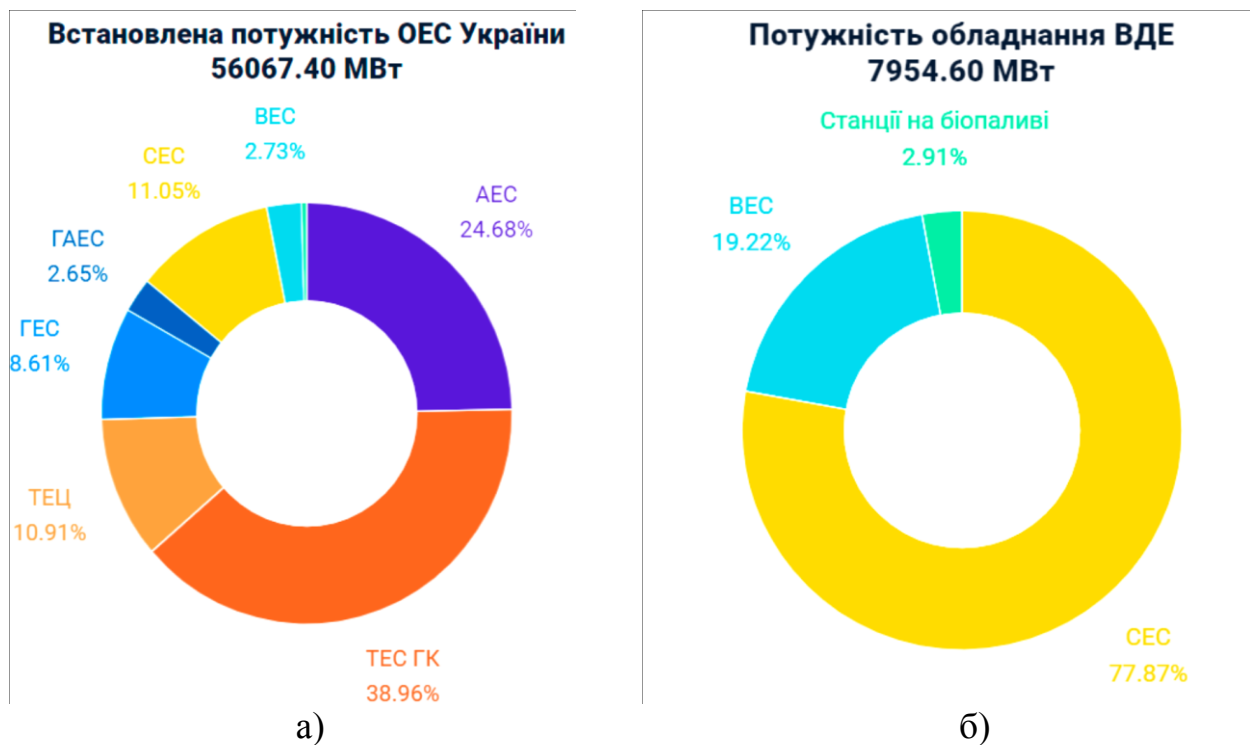


Рис. 5. Встановлена потужність ОЕС України станом на лютий 2022 р.: а) загальна структура встановленої потужності; б) структура встановленої потужності ВДЕ

Важливим є той факт, що для сектору вітроенергетики України притаманні такі самі закономірності розвитку, що й для світової вітроенергетики. Так її постійним розвитком та впровадженням технологій, що дозволяють підвищити ефективність роботи окремих елементів та ВЕУ в цілому, дозволяють застосовувати сучасні підходи до керування режимом функціонування ВЕУ, використовувати допоміжне обладнання та технології, досягається стабільне зниження вартості електроенергії, виробленої вітровими установками. Відповідно до [14] динаміка зміни собівартості

виробництва електроенергії від ВЕС протягом останніх 8 років показує її зниження майже на 40 євроцентів за 1 МВт.

Завдяки впровадженню науково-технічних досягнень, збільшенню потужності ВЕС, що об'єднують ряд ВЕУ, на сьогоднішній день собівартість електроенергії, яка виробляється ВЕС, знижується. Прогнозується і подальше зниження вартості й підвищення ефективності роботи ВЕС, які будуть досягатися збільшенням потужності ВЕУ і ВЕС, зростанням техніко-економічних показників ВЕУ при впровадженні нових науково-технічних рішень.

Активне будівництво ВЕС призвело до створення цілого комплексу абсолютно нових для енергетики України проблем, які впливають на ефективність роботи як окремих ВЕС, так і ОЕС України в цілому. Поточна потужність генерації ВЕС залежить від змінної у часі швидкості діючого вітрового потоку, тобто зовнішнього фактору, який складно передбачається і не контролюється, тим самим здійснюється додаткове навантаження на енергосистему.

На сьогоднішній день більша частина обладнання генеруючих станцій та електричних мереж ОЕС зношена та неефективна, а баланс потужності енергосистеми характеризується дефіцитом як маневрених, так і регулюючих потужностей. Більшість ВЕС України розташована в районі Північного Причорномор'я, яке характеризується недостатньою кількістю магістральних мереж, порівняно з промисловими районами країни, що змушує приєднувати ВЕС до малопотужних ліній і передавати електричну енергію на межі їх пропускної здатності. За таких обставин безперешкодна генерація електричної енергії ВЕС не гарантується, а тривалість дії та частота обмежень потужності генерації має тенденцію до збільшення.

Сучасні промислові ВЕС є комерційними проектами, через що визначення матеріальних збитків від накладеного обмеження потужності генерації та вжиття заходів щодо їх мінімізації є вкрай актуальною задачею. Дія обмеження, в залежності від причин її виникнення може тривати від кількох годин, наприклад, оперативні диспетчерські команди НЕК «Укренерго» до кількох місяців – ремонт (реконструкція) повітряних ліній та підстанцій під час проведення яких неможливо забезпечити передачу встановленої потужності ВЕС у повному обсязі через тимчасові схеми приєднання, або навіть років – коли видача встановленої потужності ВЕС неможлива через проблеми, вирішення яких потребує суттєвих часових та матеріальних витрат, наприклад – проведення реконструкції або будівництва повітряних ліній та підстанцій.

Згідно встановленого обмеження відбувається коригування поточної потужності генерації ВЕС в залежності встановленого обладнання. Сучасні промислові ВЕС часто комплектуються спеціалізованим програмно-апаратним комплексом керування. Даний комплекс, що об'єднаний з ВЕУ в єдину локальну інформаційну мережу, в режимі реального часу коригує

потужність генерації кожної ВЕУ у складі ВЕС досягаючи оптимального розподілу накладеного обмеження.

За відсутності даного комплексу, розподіл накладеного обмеження на ВЕС на складові ВЕУ визначається оператором ВЕС на власний розсуд. Якщо ВЕС укомплектована ВЕУ різного типорозміру, то розв'язок задачі раціонального розподілу накладеного на ВЕС обмеження на складові ВЕУ потребує врахування як технічних особливостей кожної моделі ВЕУ, так і вітрового розподілу за території розміщення ВЕС.

Обмеження потужності генерації ВЕС є актуальною проблемою країн, де ВДЕ отримали широке розповсюдження і мають суттєвий вплив на енергосистему: США, Китай, Великобританія, Австралія, Німеччина, Україна та інші [15, 16].

Розвиток вітроенергетичного сектору в Україні дозволив створити як окремі ВЕС, так і потужні вітропарки. Лідерами в розвитку потужних промислових ВЕС є Запорізька і Херсонська області, на території яких розташовані найбільш потужні вітропарки. Інформація щодо найбільш суттєвих вітроенергетичних об'єктів представлена в табл. 2.

Таким чином, з урахуванням викладених фактів серед основних перспектив розвитку світової і української вітроенергетики слід зазначити стійку тенденцію до збільшення потужностей та кількості ВЕС, доля яких у структурі виробництва електроенергії буде зростати. Це призводить до збільшення уваги до питання проектування ВЕС в сучасних умовах.

Таблиця 2. Характеристика потужних ВЕС, що експлуатуються на території України

Назва ВЕС	Рік запуску	Місце розташування	Генеруюча потужність, МВт	Кількість генераторів	Потужність генераторів, МВт
Ботіївська	2012	Запорізька область	200	65	3,075
Приморська	2019	Запорізька область	200	52	3,8
Дмитрівська	2011	Миколаївська область	35	12	2,5
Старий Самбір– 2	2017	Львівська область	20, 7	6	3,45
Старий Самбір– 1	2015	Львівська область	13, 2	4	3,3
Тузлівська	2012	Миколаївська область	12, 5	5	2,5
Берегова	2014	Херсонська область	12, 3	4	3,075

Стратегія впровадження нових ВЕС повинна враховувати необхідність впровадження системи нових маневрених потужностей для збалансованої роботи електричних мереж та нові системи накопичення енергії, а також використовувати для цього існуючі гідроелектростанції та гідроакumuлюючі станції.

**Висновки.** 1. Досвід високорозвинених країн свідчить про те, що реалізація проєктів щодо впровадження автономних систем енергопостачання на базі СЕС та ВЕС має екологічні та економічні переваги перед традиційним електропостачанням.

2. Сучасний розвиток технологій дозволяє здійснювати конверсію сонячної та вітрової енергії в електричну на територіях, що раніше (20-30 років тому) вважалися непридатними для такого виду енергетики.

3. Диверсифікація джерел надходження електричної енергії сприяє зниженню рівня енергетичної залежності країни та є одним із чинників підвищення конкурентоспроможності виробленої продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках за рахунок зменшення собівартості виробництва.

4. В Україні створені сприятливі умови для інтенсивного розвитку вітроенергетики завдяки значному потенціалу, державній підтримці, пільговому тарифу та запровадженню сучасних технологій.

#### Список використаної літератури:

1. IRENA. Global renewable energy investment trends URL: <https://www.irena.org/wind>.
2. REN21, Renewables 2020, Global Status Report, 2020. URL: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr\\_2020\\_full\\_report\\_en.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf).
3. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>.
4. Повханіч А. Ю. Вітроенергетика як ключовий елемент енергетичної стратегії. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2017. № 13, ч. 2. С. 81-86.
5. Dovgalyuk O., Omelianenko H., Bondarenko R., Miroshnyk K., I Yakovenko. and Saidov S. Research of the Impact of Energy Storage Systems on the Electrical Distribution Networks Operations. *2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP)*. 2020. pp. 1-6, doi: 10.1109/PAEP49887.2020.9240826.
6. ВИЭ, «умные» сети и батареи могут погубить традиционную энергетику. Інформаційний портал про альтернативну енергетику «Еко Техніка». 2017. 14 березня. URL: <https://ecotechnica.com.ua/stati/2197-vie-umnye-seti-i-batarei-mogut-pogubit-traditsionnuyu-energetiku.html>.
7. Звіт з оцінки відповідності (адекватності) потужностей. – Офіційний сайт НЕК «Укренерго». URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/10/Zvit-z-otsinkyvidpovidnosti-vid-31.10.19.pdf>.
8. Martinez J. Modelling and Control of Wind Turbines, Master's Thesis, Department of Process Systems Engineering, Imperial College of London, UK, 2007, 71 p.
9. Подгуренко В. С. Исследование эффективности ветроэлектрической станции, работающей в энергосистеме. *Материалы III международной научно-практической конференции «Повышение эффективности энергетического оборудования»*. 2013. Том II. С. 363–378.
10. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Історія становлення, сучасність та перспективи / За ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. – 108 с.
11. Вітроенергетика. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження в Україні. URL: <http://saee.gov.ua/uk/ae/windenergy>.

12. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» № 1220-VI від 1 квітня 2009 року, стаття 17-1 «Стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії». URL: [https://www.gpee.com.ua/get\\_document/72](https://www.gpee.com.ua/get_document/72).
13. Національна енергетична компанія «Укренерго». Офіційний веб-сайт. URL: <https://ua.energy/>.
14. Білявський М. Орієнтири розвитку альтернативної енергетики України до 2030 р. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/oriientyry-rozvytku-alternatyvnoi-energetyky-ukrainy-do-2030r>.
15. Bird L., Cochran J., Wang X. Wind and solar energy curtailment: experience and practices in the United States. Technical Report NREL/TP-6A20-60983, 2014, 51 p.
16. Almenta M, Morrow D. J., Best R., Fox B., Foley A. An Analysis of Wind Curtailment and Constraint at a Nodal Level. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. 2016. 8. doi: 10.1109/TSTE.2016.2607799.

#### References:

1. IRENA. Global renewable energy investment trends. Available at: <https://www.irena.org/wind>.
2. REN21, Renewables 2020, Global Status Report, 2020. Available at: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr\\_2020\\_full\\_report\\_en.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf).
3. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 roku «Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist». Skhvaleno rozporiadzhenniam Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 18.08.2017 r. № 605-r. Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>.
4. Povkhanych A. Yu. Vitroenerhetyka yak kliuchovyi element enerhetychnoi stratehi. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu*. 2017. № 13, ch. 2. pp. 81-86.
5. Dovgalyuk O., Omelianenko H., Bondarenko R., Miroshnyk K., Yakovenko I. and Saidov S. Research of the Impact of Energy Storage Systems on the Electrical Distribution Networks Operations. 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP). 2020. pp. 1-6. doi: 10.1109/PAEP49887.2020.9240826.
6. VYE, «Umnie» sety y batarey mohut pohubyt tradytsyonnuu enerhetyku. Informatsiinyi portal pro alternatyvnu enerhetyku «Eko Tekhnika. 2017. 14 bereznia. Available at: <https://ecotechnica.com.ua/stati/2197-vieumnye-seti-i-batarei-mogut-pogubit-traditsionnyu-energetiku.html>.
7. Zvit z otsinky vidpovidnosti (adekvatnosti) potuzhnostei. Ofitsiinyi sait NEK «Ukrenерho». Available at: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/10/Zvit-z-otsinkyvidpovidnosti-vid-31.10.19.pdf>.
8. Martinez J. Modelling and Control of Wind Turbines, Master's Thesis, Department of Process Systems Engineering, Imperial College of London, UK, 2007, 71 p.
9. Podhurenko V. S. Yssledovanye efektyvnosti vetroelektrycheskoi stantsyy, robotaiushchei v enerhosysteme. *Materyals III mezhdunarodnoi nauchno-praktycheskoi konferentsyy «Povsshene efektyvnosti enerhetycheskoho oborudovanyia*. 2013. Tom II. pp. 363–378.
10. Instytut vidnovliuvanoi enerhetyky NAN Ukrainy. Istoriia stanovlennia, suchasnist ta perspektyvy. Za red. S.O. Kudri. Kyiv. Instytut vidnovliuvanoi enerhetyky NAN Ukrainy, 2020. – 108 p.
11. Viroenerhetyka. Derzhavne ahentstvo z enerhoefktyvnosti ta enerhozberezhennia v Ukraini. Available at: <http://saee.gov.ua/uk/ae/windenergy>.
12. Zakon Ukrainy «Pro alternatyvni dzherela enerhii» № 1220-VI vid 1 kvitnia 2009 roku, stattia 17-1 «Stymuliuвання vyrobnytstva elektroenerhii z alternatyvnykh dzherel enerhii». Available at: [https://www.gpee.com.ua/get\\_document/72](https://www.gpee.com.ua/get_document/72).
13. Natsionalna enerhetychna kompaniia «Ukrenерho». Ofitsiinyi veb-sait. Available at: <https://ua.energy/>.
14. Biliavskiyi M. Oriientyry rozvytku alternatyvnoi enerhetyky Ukrainy do 2030 r. Available at: <https://razumkov.org.ua/statti/oriientyry-rozvytku-alternatyvnoi-energetyky-ukrainy-do-2030r>.
15. Bird L., Cochran J., Wang X. Wind and solar energy curtailment: experience and practices in the United States. Technical Report NREL/TP-6A20-60983, 2014, 51 p.
16. Almenta M, Morrow D. J., Best R., Fox B., Foley A. An Analysis of Wind Curtailment and Constraint at a Nodal Level. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. 2016. 8. doi: 10.1109/TSTE.2016.2607799.

Надійшла до редакції 22.05.2022р.