

2050 року. І, одним із рішень, які сприяють зменшенню викидів, називають розвиток відновлюваних джерел енергії.

Для досягнення цих цілей рекомендують удвічі пришвидшити темпи будівництва та введення в експлуатацію сонячних та вітрових електростанцій. Очікується, що таким чином вийде скоротити понад половину викидів вуглецю в атмосферу.

Сонячні та вітрові електростанції сьогодні є найдешевшим доступним джерелом нової генерації електроенергії. Технологія чистої енергії стає новою головною сферою інвестицій та зайнятості – і динамічною ареною міжнародного співробітництва та конкуренції.

Енергетичною стратегією України до 2035 року, прийнятою у серпні 2017 року, передбачається підвищення енергоефективності та використання енергії із відновлювальних та альтернативних джерел. Впровадження заходів із запобігання та адаптації до зміни клімату визначається як один із пріоритетів розвитку енергетики.

Згідно з документом, до 2025 року частка відновлювальних джерел в енергетичній системі України повинна скласти 12%, а до 2035 року – не менше 25%. Для активного розвитку вітрової енергетики в нашій країні потрібно створити таку нормативно-правову базу, щоб інвестори та підприємці хотіли вкладати кошти в технології вітроенергетики і розвивати цей бізнес на території України. Стимулом для розвитку вітроенергетичних проєктів можуть бути законодавчо передбачені середньострокові податкові та митні преференції, звільнення від земельного податку і податку на прибуток постачальник.

Динамічний розвиток вітрової енергетики неможливий без стабільності енергетичної системи, оскільки ефективність генерації електроенергії з відновлювальних джерел енергії залежить від погодних умов. Тому подальший розвиток повинен відбуватися разом з будівництвом систем зберігання та накопичення енергії (energy storage), маневрових потужностей та гібридних електростанцій.

УДК 621.311.24, 519.25

АНАЛІЗ ДОВГОСТРОКОВИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ХАРАКТЕРИСТИК ВІТРУ В УКРАЇНІ

К. В. Петренко¹, І. В. Іванченко², О. О. Кармазін³

Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 02094, м. Київ, вул. Гната Хоткевича 20А, 02094, Україна, тел. +380442062809, e-mail: renewable@ukr.net

В доповіді досліджено метадані всіх метеорологічних станцій (МС) Гідрометеорологічної служби України. Сформовано систему з 70 опорних МС України з валідними даними для отримання надійних довгострокових прогнозів характеристик вітру.

Ключові слова: швидкість вітру, однорідність умов спостережень, опорна МС, валідний період.

LONG-TERM OBSERVATIONS OF WIND CHARACTERISTICS ANALYSIS IN UKRAINE

K. Petrenko¹, I. Ivanchenko², O. Karmazin³

Institute of Renewable Energy, NAS of Ukraine, Kyiv

The article presents examined the metadata of all stations (WS) of the Hydrometeorological Service of Ukraine. A system of 70 reference WSs of Ukraine with valid data has been formed to obtain reliable long-term forecasts of wind characteristics.

Keywords: *wind speed, homogeneity of observation conditions, reference WS, valid period.*
ORCID: ¹0000-0002-2322-9030; ²0000-0002-5083-4180; ³0000-0002-7628-6880

Вітроенергетика в Україні виробляє все більшу частку електроенергії у загальній генерації і відіграє все більш суттєву роль у енергозабезпеченні споживачів України. Це потребує вирішення системних наукових питань формування інформаційної бази довгострокових спостережень характеристик вітру в Україні за допомогою удосконалених математичних методів часової і просторової валідації даних, розробки математичних моделей розподілу вітропотенціалу на території України і побудови відповідних карт та оптимізації стратегії розвитку вітроенергетики в Україні та її регіонах.

Інформаційною статистичною базою для моделювання процесу перетворювання кінетичної енергії вітру в електроенергію має слугувати сукупність довгострокових спостережень за швидкістю вітру на площадці вітроелектричної станції (ВЕС) на висоті осі ротора вітроелектричної установка (ВЕУ). Всесвітня метеорологічна організація (ВМО) рекомендує для отримання надійних довгострокових прогнозів характеристик вітру використовувати дані спостережень тривалістю не менше десяти років [1].

Очевидно, що такі дані, виміряні безпосередньо на площадці ВЕС, відсутні. Єдиним джерелом первісних даних є результати довгострокових спостережень метеорологічних станцій (МС) державної синоптичної служби, що налічує 189 метеостанцій (рис. 1).

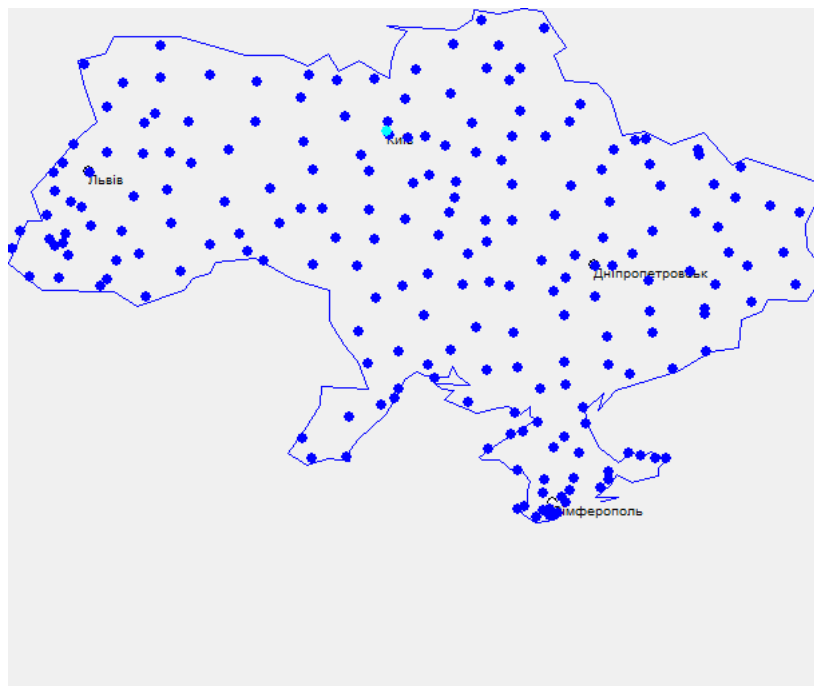


Рис. 1 Розташування державних метеорологічних станцій України

Але ці вимірювання здійснюються в умовах, відмінних від тих, що вимагають коректні вітроенергетичні розрахунки.

Для того, щоб отримати коректні оцінки розподілу швидкості вітру на площадці МС, необхідна наявність даних довгострокових спостережень (мінімум 10 років) без переміщення метеопоста, без закритості давачів та без заміни вітровимірювальних приладів, що призводять до суттєвих порушень однорідності умов спостережень.

Для з'ясування умов функціонування метеорологічних станцій України з метою поглибленого аналізу умов реєстрації даних МС щодо характеристик вітру відділом вітроенергетики ІВЕ НАН України проведено аналіз метаданих всіх МС України.

Для оцінки однорідності умов реєстрації швидкості вітру, на першому етапі застосовано візуальний аналіз графічного представлення часового ряду середньорічних швидкостей вітру і історичних даних щодо площадок метеостанцій [2]. Візуальний аналіз графіка динаміки середньорічної швидкості вітру приводить до одного з наступних висновків: вибірка є, ймовірно, повністю однорідною; вибірка є повністю неоднорідною; вибірка є частково однорідною – графік демонструє наявність хоча б одного періоду часу, для якого підвибірка є імовірно однорідною.

Для оцінки статистичної значущості відхилення розподілу швидкості вітру від нормального [3] застосовано критерій Грі [4].

У випадку порушення однорідності вибірки для визначення року «розриву однорідності» застосовано критерій Крамера-Уелча [5, 6].

На основі даних про середньорічні швидкості вітру на МС України, даних про перенесення метеомайданчиків та зміни типу та висот вітровимірювальних приладів, а також базуючись на аналізі графіків закритості горизонту МС, процедурі пошуку року «розриву однорідності» визначено періоди валідних даних та сформовано базу опорних МС України.

В результаті даного аналізу було обрано 100 МС, які в той, чи інший час мали періоди даних, які відповідають теоретичним вимогам. Проте, у ряду станцій валідний період закінчується 20, а інколи і 30 років тому. Очевидно, що дані цих станцій не можливо використовувати для оцінки сучасної картини вітрової ситуації на території України. Тому із обраних 100 станцій було виокремлено 70 МС, валідний період (ВП) яких триває і досі (табл. 1).

Табл. 1. Опорні джерела даних довгострокових спостережень характеристик вітру в Україні

МС	П початок	В П кінець	П, років	МС	В П початок	В П кінець	В П, років
Ай-Петрі	987	020	2 3	Севастополь	19 70	2 020	5 0
Асканія Нова	975	020	2 5	Сербка	19 75	2 020	4 5
Баштанка	990	020	2 0	Сімферополь	19 85	2 020	3 5
Бердянськ Порт	973	020	2 7	Стрілкове	19 75	2 020	4 5
Бехтери	976	020	2 4	Тернопіль	19 90	2 020	3 0
Біла Церква	988	020	2 2	Троїцьке	19 86	2 020	3 4
Білгород-Дністровський	991	020	2 9	Херсон	19 76	2 020	4 4
Біловодськ	970	020	2 0	Хорли	19 70	2 020	5 0
Великий Бурлук	991	020	2 9	Черкаси	19 91	2 020	2 9
Веселий Поділ	980	020	2 0	Чернігів	19 91	2 020	2 9
Вишгород	991	020	2 9	Чорноморське	19 90	2 020	3 0
Вінниця	989	020	2 1	Яворів	19 76	2 020	4 4
Генічеськ	970	020	2 0	Ямпіль	19 77	2 020	4 3

МС	П початок	В П кінець	П, років	МС	В П початок	В П кінець	В П, років
Долинська	989	020	2 1	Баришівка	20 03	020	2 7 1
Євпаторія	988	020	2 2	Бобринець	19 78	020	2 2 4
Жмеринка	975	020	2 5	Болград	19 73	020	2 7 4
Івано-Франківськ	991	020	2 9	Броди	19 78	020	2 2 4
Ізмаїл	970	020	2 0	Глухів	19 87	020	2 3 3
Керч	970	020	2 0	Гуляйполе	19 76	020	2 4 4
Кропивницький	970	020	2 0	Дружба	19 76	020	2 4 4
Коростень	970	020	2 0	Затишшя	19 77	020	2 3 4
Кривий Ріг	979	020	2 1	Золочів	19 91	020	2 9 2
Любашівка	975	020	2 5	Сміла	20 03	020	2 7 1
Маріуполь	970	020	2 0	Канів	19 93	020	2 7 2
Миколаїв	989	020	2 1	Комісарівка	19 76	020	2 4 4
Мисове	977	020	2 3	Конотоп	19 73	020	2 7 4
Нижні Сірогози	970	020	2 0	Лозова	19 87	020	2 3 3
Нижньогірський	982	020	2 8	Миронівка	19 75	020	2 5 4
Очаків	976	020	2 4	Нижні ворота	19 76	020	2 4 4
Плай	970	020	2 0	Новодністровськ	19 91	020	2 9 2
Пожежевська	970	020	2 0	Звенигородка	19 76	020	2 4 4
Полтава	975	020	2 5	Олевськ	19 76	020	2 4 4
Пришиб	973	020	2 7	Ужгород	20 05	020	2 5 1
Рівне	978	020	2 2	Кам'янка Бузька	19 77	020	2 3 4
Роздольне	991	020	2 9	Сарни	19 90	020	2 0 3

Створення комп'ютерних засобів ведення інформаційної бази довгострокових спостережень характеристик вітру в Україні та формування на її основі системи опорних МС України з валідними даними, удосконалення математичних методів оцінювання параметрів функцій розподілу швидкостей вітру та побудови карт розподілу вітрового енергетичного потенціалу на території України є тими підходами, що забезпечать надійність оперативного прогнозування енергетичних показників роботи ВЕС з урахуванням їх залежності від вітрового режиму на площадці.

Наявність детальної достовірної інформації щодо характеристик вітру і можливості сталого постачання екологічно чистої електроенергії ВЕС в різних регіонах країни, створення якісного інформаційного забезпечення дозволять оптимізувати стратегію розвитку вітроенергетики в Україні.

Посилання:

1. *Руководство по климатологической практике*, ВМО-№ 100, 2014.
2. *Кліматичний довідник. Історія та фізико-географічний опис метеорологічних станцій України*, О. Косоцький, Н. Швень, ред., К.: ЦГО, 2011.
3. И. В. Иванченко, А. В. Пепелов, Е. В. Петренко, Б. Г. Тучинский, "Методика валидации данных долгосрочных наблюдений скорости ветра для целей ветроэнергетики", *Альтернативная энергетика и экология* (ISJAEE), № 3, с.72–78, 2013.
4. Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов, *Таблицы математической статистики*, М.: Наука, 1983.
5. Л. Закс, *Статистическое оценивание*, М.: Статистика, 1976.
6. А. И. Кобзарь, *Прикладная математическая статистика*, М.: Физматлит, 2012.

УДК 004.942:621.548:620.928

О КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ ВЕТРОИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ВЕТРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ УКРАИНЫ

В. С. Подгуренко¹, В. Е. Терехов²

¹Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, проспект Героев Украины 9, г. Николаев, 54050, Украина, ²ООО УК «Ветряные парки Украины», ул. Лаврская 20, г. Киев, 01015, Украина, e-mail: [1vspodgurenko@gmail.com](mailto:vspodgurenko@gmail.com), [2vl.terekhov86@gmail.com](mailto:vl.terekhov86@gmail.com)

В работе использован многофакторный дифференциальный подход в качественной оценке ветроиспользования с разработкой математической модели множественной линейной регрессии годовой выработки ВЭУ (ВЭС)

Ключевые слова: ветроэлектрическая установка, ветроэлектрическая станция, выработка электроэнергии, математическая модель

ABOUT QUALITATIVE ASSESSMENT OF WIND USE IN WIND CLIMATIC CONDITIONS OF THE NORTHERN BLACK SEA REGION OF UKRAINE

V. Podhurenko¹, V. Terekhov²,

¹Admiral Makarov National University of Shipbuilding, ²"MC" Wind Parks of Ukraine"

The paper uses a multifactorial differential approach in the qualitative assessment of wind use with the development of a mathematical model of multiple linear regression of the annual electricity output of wind turbines (wind farms)

Keywords: wind turbine, wind farm, electricity production, mathematical model

ORCID: [10000-0001-8443-0160](https://orcid.org/0000-0001-8443-0160), [20000-0003-1080-0119](https://orcid.org/0000-0003-1080-0119)

В многочисленных зарубежных публикациях по ветроиспользованию широко распространен постулат, что эффективность работы ветроэлектрических установок (ВЭУ) повышается, в основном, за счет увеличения их номинальной мощности. Оценки ВЭУ мощностью генератора возникли от инженеров-сетевиков, которые описывали их известным им термином – размерами генератора [1]. Производители ВЭУ по сей день продолжают использовать номинальную мощность с целью идентификации своего продукта. Это исходное положение постепенно вошло в ранг мировой тенденции.

В ежегодных отчетах ветроэнергетических ассоциаций имеются лишь количественные показатели установленных ВЭУ и их средняя мощность, хотя эти показатели мало говорят о том, сколько энергии будут генерировать ВЭУ.