ISSN 1994-7836 (print)
ISSN 2519-2477 (online)

ОЦІНЮВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

УДК 551.521+621
Article info
Received 27.01.2017

Н. М. Москальчук, М. М. Приходько

Івано-Франківський НТУ нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

Проаналізовано дані середніх багаторічних швидкостей вітру 26 метеостанцій Карпатського регіону України та 5 метеостанцій суміжних областей. Використовуючи логарифмічний та степеневий вертикальні профілі вітру, розраховано середньорічні швидкості на висоті 30, 50, 70, 100 м та побудовано відповідні карти. Розраховано питомі потужності вітру на заданих висотах. Запропоновано класифікацію перспективності територій для вітроенергетичних установок (ВЕУ), яка ґрунтується на показниках швидкості вітру та питомої потужності вітру. Виділено перспективні для вітроенергетики території в Карпатському регіоні України.

Ключові слова: вітроенергетичний потенціал, середньорічна швидкість вітру, питома потужність вітру, перспективні для ВЕУ території.

Вступ. Згідно з Національним планом дій з відновлюваної енергетики до 2020 р. передбачено збільшення споживання енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії, до 11 % від загальної встановленої потужності електростанцій України (Kabinet Ministriv Ukrainy, 2014). На кінець 2015 р. частка всіх електростанцій, які працюють на відновлювальних джерелах енергії, становила 2,7 %, з яких 0,8 % припадало на вітроенергетику (Obzor rynka vetrojenergetiki Ukrainy, 2017). Обмеженість і неповнота інформації про наявний вітровий потенціал, відсутність детальних вітрових карт і атласів, а також регіональних досліджень вітрового режиму на території Україні, які дають змогу вивчити і врахувати вплив фізико-географічних та орографічних умов на вітровий режим території, є серйозною перешкодою для розвитку вітроенергетичного сектору (Nekos, & Molodan, 2012). Для оцінювання вітроенергетичних ресурсів потрібна достовірна інформація про просторово-часовий розподіл характеристик вітру, які враховують його природну структуру і практичні можливості використання енергії вітру, дають змогу виявити його енергетичну цінність і визначити можливі режими роботи вітроенергетичних установок.

Оцінювання вітроенергетичного потенціалу висвітлено у багатьох наукових працях (Lipinskyj, Djachuk, & Babichenko, 2003; Ljubimov, Kovalenko, & Chubenko, 2011; Pivnjak et al., 2015; Nekos, & Molodan, 2012), що свідчить про значний інтерес до цієї теми. Однак, за винятком праць (Osadchyj et al., 2014), досліджень з просторового розподілу вітрового потенціалу адміністративних областей Карпатського регіону України недостатньо.

Мета дослідження – оцінювання вітроенергетичного потенціалу Карпатського регіону України на основі сучасної метеорологічної інформації.

Матеріали та методика. Основним джерелом первинних даних для досліджень є спостереження за вітровими характеристиками на постах Державної гідрометеорологічної мережі (Lipinskyj, & Djachuk, 2003). Спостереження проводять за встановленими Всесвітньою метеорологічною організацією єдиними методиками через кожні 3 год і охоплюють періоди в десятки років. Розрахунок вітроенергетичних характеристик виконували на основі аналізу середніх багаторічних даних 26 метеостанцій адміністративних областей Карпатського регіону України (Львівської, Івано-Франківської, Закарпатської та Чернівецької) і 5 метеостанцій суміжних адміністративних областей (Тернопільської, Хмельницької) за період з 1899 р. Щоб оцінити сучасний стан вітрових характеристик клімату та їх можливих змін, окремо проаналізовано дані за 2005-2015 рр. на 9 метеостанціях – Рава-Руська, Броди, Львів, Дрогобич, Івано-Франківськ, Коломия, Ужгород, Чернівці, Селятин.

Результати дослідження. Важливою характеристикою вітрового режиму є швидкість вітру, яку визначають баричним градієнтом та умовами циркуляції атмосфери. Певні висновки щодо вітрових ресурсів Карпатського регіону України можна отримати із аналізу даних середньорічної швидкості вітру, які наведено в табл. 1. Середньорічні швидкості вітру за останні 10 років, порівняно із загальним періодом спостережень, зменшилися по всіх 9 метеостанціях від 0,1 (Селятин) до 1 м/с (Львів). У середньому це зменшення становить 0,5 м/с.

Згідно з ДСТУ 3896:2007 "Вітроенергетика. Вітроенергетичні установки та вітроелектричні станції. Терміни та визначення понять" в Україні затверджено таку класифікацію вітроенергетичних установок (ВЕУ) за встановленою потужністю:

1. ВЕУ малої потужності – номінальна потужність до 100 кВт;
2. ВЕУ середньої потужності – номінальна потужність від 100 до 1000 кВт;
3. ВЕУ мегаватного класу або ВЕУ великої потужності – номінальна потужність більша ніж 1000 кВт (DSTU 3896, 2007).

Сила вітру по-різному впливає на роботу вітроенергетичних установок. У вітроенергетиці існують поняття стартової швидкості, розрахункової швидкості та максимальної експлуатаційної швидкості.

Стартова швидкість вітру – швидкість вітру, за якої вітроустановка починає обертатися і заряджати акумулятори – знаходиться в діапазоні 2-4 м/с.

Розрахункова швидкість вітру – швидкість вітру, за якої вітроустановка досягає номінальної потужності (для малих ВЕУ вона становить 8 м/с, для промислових – 11-14 м/с).

Citation APA: Moskalchuk, N., & Prykhodko, M. (2017). The Assessment of Wind Energy Potential within the Carpathian Region of Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU, 27*(1), 125–128. Retrieved from http://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/179

Табл. 1. Середньорічні значення швидкості вітру на метеостанціях Карпатського регіону України та суміжних областей

№ з/п	Метеостанція	Координати, °		Висота, м	$V_{сер.}$, м/с
		Широта	Довгота		
Львівська область					
1	Рава-Руська*	50,3	23,6	252	3,2(2,4**
2	Кам'янка-Бузька	50,1	24,4	212	2,7
3	Броди*	50,1	25,2	227	2,3(2)
4	Яворів	49,9	23,4	254	3,7
5	Львів*	49,8	24,1	319	3,5(2,5)
6	Мостиська	49,8	23,2	232	3,1
7	Дрогобич*	49,4	23,5	275	2,9(2,3)
8	Стрий	49,3	23,9	294	2,4
9	Турка	49,2	23,0	594	2,8
10	Славське	48,9	23,5	592	1,2
Івано-Франківська область					
11	Долина	48,9	24,0	470	3,1
12	Івано-Франківськ*	48,9	24,7	270	2,9(2,4)
13	Коломия*	48,5	25,0	295	2,2(1,8)
14	Яремча	48,5	24,6	531	1,7
15	Пожежевська	48,2	24,5	1451	5,5
Закарпатська область					
16	Великий Березний	48,9	22,5	205	1,3
17	Нижні Ворота	48,8	23,1	496	2,0
18	Нижній Студений	48,7	23,4	615	1,9
19	Ужгород*	48,6	22,3	115	2,5(2,1)
20	Плай	48,7	23,2	1330	5,8
21	Міжгір'я	48,5	23,5	456	1,2
22	Берегово	48,2	22,6	113	1,2
23	Хуст	48,2	23,3	164	1,2
24	Рахів	48,1	24,2	430	1,0
Чернівецька область					
25	Чернівці*	48,3	25,9	242	3,6(3)
26	Селятин*	47,9	25,2	762	1,1(1)
Суміжні до Карпатського регіону метеостанції					
27	Кременець	50,1	25,7	259	3,3
28	Бережани	49,4	24,9	303	2,3
29	Чортків	49	25,8	320	2,8
30	Кам'янець-Подільський	48,7	26,6	217	2,9
31	Могилів-Подільський	48,5	27,8	77	1,8

* метеостанції, дані яких використовували для оцінювання сучасного стану вітрових ресурсів,

** середньорічна швидкість вітру у 2005-2015 рр.

Максимальна експлуатаційна швидкість вітру – швидкість вітру, яка може призвести до руйнування не зупиненої вітроустановки. Для стаціонарної вітроустановки має бути не менше 45-50 м/с.

Однією із основних характеристик вітроенергетичних ресурсів досліджуваної території є питома потужність вітру (вітроенергетичний потенціал), яку визначають за формулою (Anapolskaja, & Gandin, 1978; De Renzo, 1982)

$$P = \frac{1}{2}\rho V^3, \qquad (1)$$

де: ρ – густина повітря (використовували ρ = 1,225 кг/м^3), V – модуль швидкості вітру (у дослідженні використано середньорічні значення швидкості вітру).

Аналіз літературних даних, параметрів стартової, розрахункової швидкості та номінальної потужності сучасних ВЕУ дав змогу запропонувати таку класифікацію перспективності територій для ВЕУ (табл. 2). Перспективними пропонуємо вважати параметри вітру, за яких потужність ВЕУ досягає 50 % від номінальної.

Табл. 2. Класифікація перспективності територій для ВЕУ

Перспективність	Швидкість вітру V, м/с	Питома потужність вітру P, Вт/м^2
Безперспективні для будь-яких типів ВЕУ	<2	<5
Малоперспективні	2-2,9	5-19
Перспективні для малих ВЕУ	3-3,9	20-39
Перспективні для малих та середніх ВЕУ	4-5,4	40-99
Перспективні для будь-яких ВЕУ	≥5,5	≥100

Оскільки осі обертання ротора навіть малих вітрових турбін знаходяться на висоті до 30 м, а промислових вітрових турбін – від 40 до 100 м і вище, а із збільшенням висоти зменшується вплив підстильної поверхні, вітровий потік стає сталішим, а швидкість вітру вищою, є потреба у проведенні вимірювань та моделюванні швидкості вітру на більших висотах (Nekos, & Molodan, 2012).

Вертикальні профілі вітру в нижній частині атмосфери апроксимувалися логарифмічною та степеневою залежностями (Anapolskaja, & Gandin, 1978; De Renzo, 1982; Beychok, 2005):

$$V(h_2) = V(h_1)\ln\frac{h_2}{z_0}\Big/\ln\frac{h_1}{z_0}, \qquad (2)$$

де: h_1 та h_2 – висоти над поверхнею землі, z_0 – шорсткість поверхні (використовували z_0 = 0,1 м);

$$V(h_2) = V(h_1)\left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{\alpha}, \qquad (3)$$

де: h_1 та h_2 – висоти над поверхнею землі, α – емпіричний коефіцієнт, що залежить від стабільності атмосфери та шорсткості підстильної поверхні (використовували значення α=0,2).

Логарифмічний профіль вітру, зазвичай, вважають точнішою оцінкою середньої швидкості вітру, ніж степеневий у нижньому (10-20 м) прикордонному шарі атмосфери. Між 20 і 100 м обидва методи є досить об'єктивними для передбачення середньої швидкості вітру в нейтральних атмосферних умовах (Cook, 1985). Виходячи з наведеного вище, розраховано середньорічні швидкості та питомі потужності вітру на висотах 30, 50, 70, 100 м і побудовано відповідні карти, зокрема карту середньорічної швидкості вітру в Карпатському регіоні Україні на висоті 100 м, яку подано на рисунку.

Висновки. Найсприятливіші умови для промислової вітроенергетики є у високогірних районах Карпат на території Івано-Франківської та Закарпатської областей (масив Чорногора, Верховинський вододільний хребет) і на Розточчі у Львівській обл. ВЕУ середньої потужності доцільно розташовувати на Подільській височині у Львівській обл. та Хотинській височині у Чернівецькій області. Щодо малих ВЕУ, то сприятливими вітровими умовами характеризується більша частина Львівської обл. (особливо північно-західні та центральні райони), Івано-Франківської (північні, південно-західні райони), центральна частина Чернівецької та північна частина Закарпатської областей.

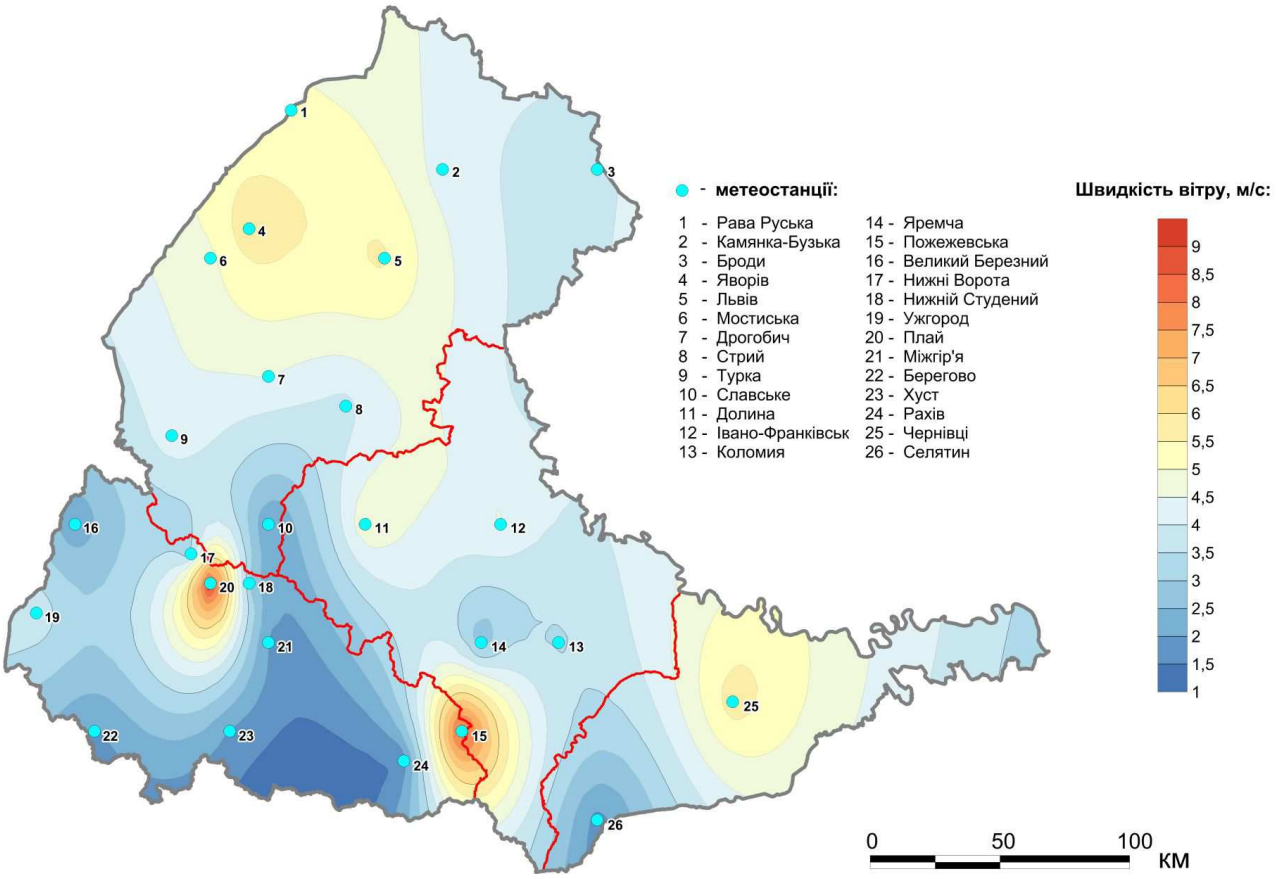

Рис. Середньорічні швидкості вітру в Карпатському регіоні України на висоті 100 м

Перелік використаних джерел

Anapolskaja, L. E., Gandin, L. S. (1978). Vetrojenergeticheskie resursy i metody ih ocenki. *Meteorologija i gidrologija, 7*, pp. 11–17. [In Russian].

Beychok, Milton R. (2005). *Fundamentals of Stack Gas Dispersion* (4th ed.). Newport Beach, California, USA, p. 201.

Cook, N. J., (1985). *The designers guide to wind loading of building structures.* Garston, Watford: Building Research Establishment, Dept. of the Environment, p. 383.

De Renzo D. (1982). *Vetrojenergetika*. Moscow: Jenergoatomizdat, p. 271. [In Russian].

DSTU 3896:2007. (2007). Vitroenergetyka. Vitroenergetychni ustanovky ta vitroelektrychni stancii. Terminy ta vyznachennja ponjat. – Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, p. 28. [In Ukrainian].

Kabinet Ministriv Ukrainy (2014) Nacionalnyj plan dij z vidnovljuvanoi energetyky na period do 2020 roku. vid 01.10.2014 № 902-r. Retrived from: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80. [In Ukrainian].

Lipinskyj, V. M., Djachuk,V. A., & Babichenko, V. M. (Eds.) (2003). *Klimat Ukrainy*. Kyiv: Vyd-vo Rajevskogo, p. 343. [In Ukrainian].

Ljubimov, O. D., Kovalenko, V. M., Chubenko, A. I. (2011). Metodyka obroblennja statystychnyh danyh parametriv vitru dlja pryjnjattja rishennja shhodo rozmishhennja vitroenergoustanovky v konkretnomu regioni. *Elektronika ta systemy upravlinnja, 2*(28), p. 116–119. [In Ukrainian].

Nekos, A. N., Molodan, Ya. Ye. (2012). Ocinka vitrovogo rezhymu terytorii Harkivskoi oblasti dlja cilej vitroenergetyky. *Ljudyna ta dovkillja. Problemy neoekologii, 3-4*, pp. 69–76. [In Ukrainian].

Obzor rynka vetrojenergetiki Ukrainy (2017). Ukrainska vitroenergetichna asociacija. Retrived from: http://uwea.com.ua. [In Ukrainian].

Osadchyj, V. I., Skrynyk, O. A., Skrynyk, O. Ya., & Radchenko, R. Yu. (2014). Vitroenergetychni resursy Ukrainskyh Karpat. *Naukovi praci Ukrainskogo naukovo-doslidnogo gidrometeorologichnogo in-tu, 266*, pp. 3–11. [In Ukrainian].

Pivnjak, G., Shkrabec, F., Nojberger, N., & Cyplenkov, D. (2015). *Osnovy vitroenergetyky.* Dnipropetrovsk: NGU, p. 335. [In Ukrainian].

Н. М. Москальчук, Н. Н. Приходько

ОЦЕНКА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА КАРПАТСКОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ

Проанализированы данные средних многолетних скоростей ветра 26 метеостанций Карпатского региона Украины и 5 метеостанций сопредельных областей. Используя логарифмический и степенной вертикальные профили ветра рассчитаны среднегодовые скорости на высоте 30, 50, 70, 100 м и построены соответствующие карты. Рассчитаны удельные мощности ветра на заданных высотах. Предложена классификация перспективности территорий для ветроэнергетических установок (ВЭУ), которая базируется на показателях скорости ветра и удельной мощности ветра. Выделены перспективные для ветроэнергетики территории в Карпатском регионе Украины.

Ключевые слова: ветроэнергетический потенциал, среднегодовая скорость ветра, удельная мощность ветра, перспективные для ВЭУ территории.

N. M. Moskalchuk, M. M. Prykhodko

THE ASSESSMENT OF WIND ENERGY POTENTIAL WITHIN THE CARPATHIAN REGION OF UKRAINE

Since the limited and incomplete information about wind energy potential is a serious obstacle to the development of renewable energy, it is necessary to assess wind resources in order to obtain the data about the spatial and temporal distribution characteristics of wind and its energy value to determine the feasibility of placing wind turbines (windmills). The aim of the study is to provide the assessment of wind energy potential of Carpathian region of Ukraine. The main materials for the studies have become observation data of the wind characteristics at 26 weather stations at administrative regions of Carpathian region of Ukraine (Lviv, Ivano-Frankivsk, Zakarpathian region and Chernivtsy) and 5 meteorological stations in neighbouring regions (Ternopil, Khmelnytsky) since 1899. The given comparison was made in order to assess the current state of the wind characteristics of climate change and their analysis of data from 2005-2015. We have obtained the following results. First of all, we have got the important characteristic of wind conditions on the territory which is wind speed. We established that long-term average wind speed in Carpathian region of Ukraine fluctuates within 1,0-3,7 m / s. We have built the map of the average annual wind speed in Carpathian region at the height of 100 m. We also provide the classification of promising areas for installation of wind turbines. Our conclusions are as follows. The results of research is based on getting the most favorable conditions for the development of industrial wind power are in the highlands of Carpathian region in the Ivano-Frankivsk and Zakarpathian regions and Roztocze in Lviv region. The medium power wind turbines are advisable to locate Podolsky hill in Lviv region and the sky Khotyn in Chernivtsy region. Favorable wind conditions for the wind turbines is small in most of Lviv region (especially the north-western and central areas), northern and south-western districts of Ivano-Frankivsk, Chernivtsy central and northern Transcarpathian regions.

Keywords: wind energy potential, average wind speed, wind power density, promising area to the wind turbines.

Інформація про авторів:

Н. М. Москальчук, асистент, Івано-Франківський НТУ нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна.
E-mail: n_reingardt@mail.ru
М. М. Приходько, д-р геогр. наук, професор, Івано-Франківський НТУ нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна.
E-mail: prihodkon@ukr.net