

ПРИВЕДЕННЯ ДАНИХ ВИМІРЮВАНЬ ШВИДКОСТІ ВІТРУ ДО УМОВ ВІДКРИТОЇ МІСЦЕВОСТІ

Ключові слова: швидкість вітру, вертикальний профіль, закритість горизонту, шорсткість підстильної поверхні

Вступ. Кліматологічна/метеорологічна інформація про характеристики вітру (швидкість та напрям) широко використовується у різних галузях економіки, зокрема у будівництві, вітроенергетиці та ін. [1, 2]. Як відомо, найголовнішим чинником, що формує вітер є структура баричного поля, що визначає характер глобальної та регіональної циркуляції атмосфери. Вплив локальних факторів, таких як рельєф місцевості, тип та характер підстильної поверхні також суттєвий, особливо в умовах складного ландшафту [3]. Різного роду об'єкти на місцевості (дерева, споруди тощо) виступають у ролі перешкод для вітрового потоку у нижньому приземному шарі атмосфери. Вертикальний масштаб зони впливу таких перешкод приблизно утричі більший за їх висоту, а горизонтальний досягає відстані, що перевищує висоту об'єктів у 30-40 разів [11].

В Україні найбільш повним, об'єктивним та деталізованим у часі та просторі джерелом емпіричної інформації про вітер є строкові дані вимірювань (кожні 3 години) на мережі метеорологічних станцій Гідрометслужби. Проте характер найближчого оточення та відкритість горизонту на вимірювальних майданчиках можуть значно відрізнятися (навіть на сусідніх станціях). Тому залишається відкритим питання щодо репрезентативності метеорологічних даних про вітер щодо фізико-географічного району/області, у якій вони отримані. По-друге, висота розміщення приладу на деяких станціях відрізняється від стандартного рівня (10 м), що теж визначає величину виміряних значень швидкості вітру [12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним зі шляхів отримання об'єктивного просторового розподілу швидкості вітру є приведення виміряних значень до умов відкритої місцевості. З цією метою у багатьох дослідженнях, в основному радянського періоду, використана класифікація місцевості за мірою відкритості метеостанції (всього 24 класи), розроблена В.Ю. Мілевським [4]. В її основу покладені ступінь відкритості вимірювального приладу в залежності від характеру оточуючих перешкод, відстані до водних об'єктів, та форми рельєфу на якій розміщений метеомайданчик. На основі багаторічних експедиційних вимірювань у [5] розраховано коефіцієнти зміни швидкості вітру на різних формах рельєфу порівняно із відкритим рівним місцем за умов стійкої та нестійкої термічної стратифікації атмосфери. Зокрема у [6], отримані перевідні коефіцієнти використані при приведенні виміряних швидкостей на метеорологічних станціях України.

На сьогоднішній день, популярним та ефективним підходом у вирішенні задачі визначення просторового розподілу вітрових характеристик є моделювання вітрового потоку з використанням прикладного метеорологічного забезпечення. Для цього можуть бути використані мезомасштабні чисельні прогностичні моделі або простіші моделі, які не включають у розрахунок рівняння термогідродинаміки [13]. Перші є точнішими, але вимагають значної обчислювальної потужності, яка швидко зростає зі зменшенням просторового кроку моделі. Слід зауважити, що врахування ефектів, зумовлених впливом рельєфу, типу підстильної поверхні та об'єктів на невеликій ділянці території, наприклад 10×10 км, можливе лише при моделюванні

із кроком розрахункової сітки ~100 м і менше. З огляду на це, такі розрахунки зазвичай проводять у два етапи із залученням чисельної прогностичної моделі та подальшим використанням діагностичної (негідродинамічної) моделі, що здійснює розрахунок поля вітру з високою просторовою роздільною здатністю [14]. Наявність сіткових (заданих у вузлах розрахункової сітки) даних про висоту рельєфу, рослинний покрив/категорії землекористування з відповідним рівнем деталізації є необхідною умовою для проведення моделювання. Зазначимо, що в роботах [7, 15] одну з діагностичних метеорологічних моделей було застосовано для моделювання поля вітру на території України.

Постановка завдання. Поле осередненої за багаторічний період швидкості вітру за даними мережі регулярних спостережень на території України (рис. 1) може суттєво відрізнятися від фактичного просторового розподілу цього показника. Даний висновок впливає із того, що отримана карта має строкатий (плямистий) характер. Різкі перепади зон слабких та відносно сильних вітрів на рівнинній території викликають сумніви.

На невеликих просторових масштабах за умов відносно рівного рельєфу (не приймаючи до уваги гірські райони) швидкість вітру змінюється слабо, особливо якщо мова йде про осереднену за великий проміжок часу величину. Винятком є ділянки зі значними елементами захищеності, такими як лісові масиви, парки, будівлі тощо. Більш ймовірно те, що різниця у вимірних значеннях швидкості пояснюється різним ступенем репрезентативності метеорологічних станцій та різною висотою розміщення вимірювального приладу, а ніж впливом синоптичних факторів.

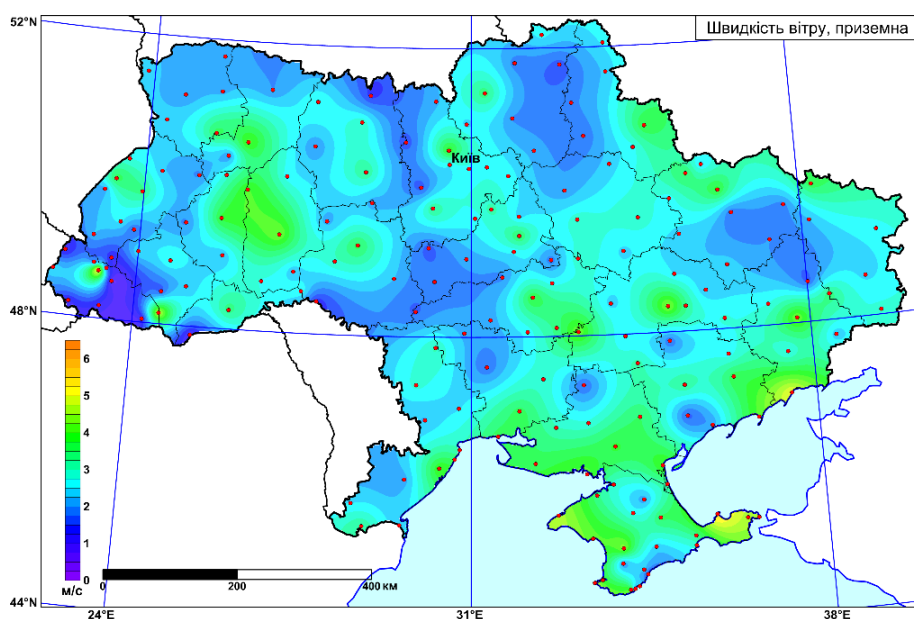


Рис. 1. Середня за період 1981-2010 рр. швидкість приземного вітру за даними мережі регулярних спостережень (метеорологічні станції зображено точками)

Метою даної роботи є приведення вимірних значень швидкості вітру за період 1981-2010 рр. до умов відкритого горизонту та стандартної висоти вимірювань. Проведення коректної інтерполяції та побудова Атласу вітроенергетичних ресурсів України значною мірою залежить від вирішення поставленої задачі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Репрезентативність станцій щодо вимірювань характеристик вітру була оцінена за допомогою кута закритості

горизонту β та опису найближчого оточення метеомайданчиків, до якого увійшла інформація про навколишні об'єкти на місцевості, а саме їх висота, відстань, напрям відносно майданчика та, додатково, довжина самої перешкоди. Ці дані представлені у фізико-географічному описі метеорологічних станцій України [8]. У ході виконання роботи значення β (для 8 румбів) були оцифровані для кожної метеорологічної станції де наявні дані, а також розраховано його середнє значення для усього горизонту від 0° до 360° . Просторовий розподіл цієї осередненої величини (побудований за усіма діючими за період 1981-2010 рр. станціями) зображений на рис. 2. Зазначимо, що усі представлені в роботі карти побудовані у програмному пакеті Surfer 10 з допомогою інтерполяції методом простого крігінгу.

Інформація про закритість горизонту в довіднику зазвичай подана за окремі роки, коли ймовірно, проводилась зйомка місцевості навколо станції. Зрозуміло, що у зв'язку зі зміною у часі характеру елементів захищеності, наприклад збільшенням висоти оточуючих дерев, появою нових будинків, ця інформація потребує регулярного оновлення. У випадку перенесення метеомайданчика в інше місце, як на деяких станціях України, проведення нової зйомки є необхідним. Виходячи з того, що дане дослідження охоплює 30 років, кут закритості горизонту β визначався на основі доступної інформації на графіку як осереднене значення за цей період. На деяких станціях ця інформація є застарілою, тому її потрібно звіряти із описом найближчого оточення.

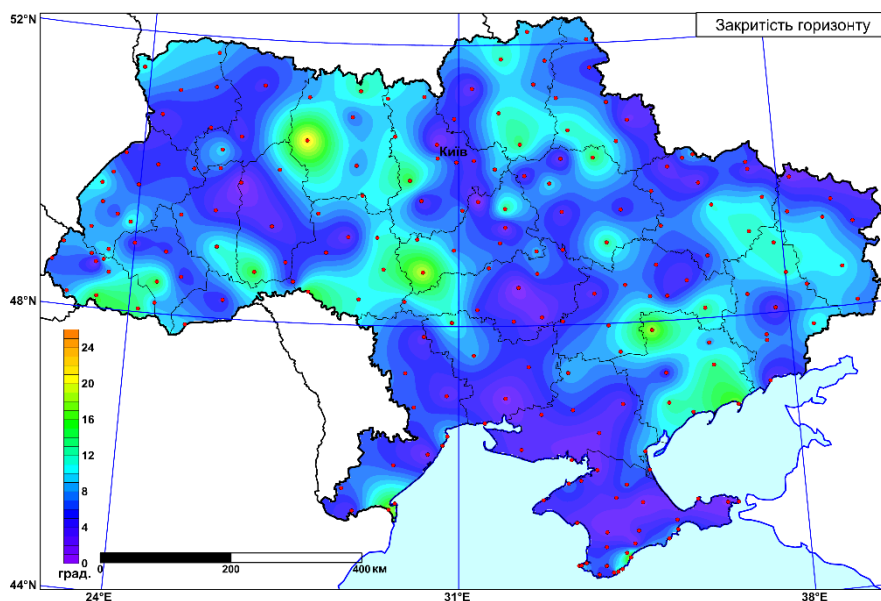


Рис. 2. Осереднена за всіма румбами закритість горизонту (в градусах) на метеорологічних станціях України

З аналізу обох карт можна відмітити, що середня багаторічна швидкість вітру і середній кут закритості горизонту на станції мають сильний зв'язок, про що свідчить статистично значущий коефіцієнт кореляції Пірсона $r = -0.58$.

Нажаль, інформацію про закритість горизонту неможливо безпосередньо використати у розрахунках, проте вона може бути залучена для визначення параметру шорсткості підстильної поверхні z_0 .

Відомо, що вертикальний профіль швидкості вітру в приземному шарі атмосфери змінюється за логарифмічним законом, і за умов нейтральної термічної стратифікації може бути виражений у вигляді [9]:

$$u = \frac{u_*}{k} \ln \frac{z}{z_0} \quad z \geq z_0 \quad (1)$$

де u – швидкість вітру на висоті z , u_* – динамічна швидкість (швидкість тертя), параметр який залежить від величини турбулентних пульсацій компонент вітру, k – стала Кармана (~ 0.4), z_0 – параметр шорсткості підстильної поверхні (вимірюється в метрах), який визначається типом її покриття (рослинність чи забудова), його щільністю та лінійними розмірами. Зауважимо, що профіль швидкості суттєво залежить від величини z_0 у нижньому приземному шарі атмосфери (декілька десятків метрів), де вплив підстильної поверхні відіграє велику роль [9].

Залежність параметру шорсткості z_0 від кута закритості горизонту β була встановлена статистично за інформацією на 10-ти метеостанціях.

Існує декілька підходів до визначення параметру шорсткості, які за своєю суттю є різними, і за однакових умов топографії та підстильної поверхні можуть давати досить різні значення. У даній роботі використаний один із морфометричних (геометричних) методів, що базується на інформації про середню висоту перешкод $\overline{z_H}$, і який виражений формулою [16]:

$$z_0 = f_0 \overline{z_H} \quad (2)$$

де f_0 – емпіричний коефіцієнт, який в роботі задається рівним 0.1.

Враховуючи значний горизонтальний масштаб впливу перешкод на вітровий потік, при визначенні параметру шорсткості слід приймати до уваги усі елементи захищеності у радіусі 250 м [17]. Також зазначимо, що об'єкти на місцевості зазвичай не є рівновіддаленими по відношенню до анемометру чи анеморумбометру. З метою коректних розрахунків окрім висоти об'єктів, була врахована відстань до них від метеомайданчика на кожному із 8-ми напрямів. Середня висота перешкод була розрахована як:

$$\overline{z_H} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \frac{l'}{l_i} H_i \quad (3)$$

де H_i та l_i – висота та відстань до перешкоди на i -му напрямі (румбі), l' – умовна відстань, що співвідноситься із розмірами майданчика. Суть останньої формули полягає у тому, щоб привести висоту усіх наявних об'єктів до такої «ефективної» висоти, яка була би у випадку їх розташування на однаковій відстані l' від приладу. В розрахунках задано $l' = 50$ м виходячи із розмірів майданчика 26×26 м на станціях з повною програмою спостережень [10]. Використані дані в основному узяті з кліматологічного довідника. Знімки місцевості, отримані із сервісу Google Earth [18] слугували додатковою інформацією. Однією із переваг даного сервісу є зручне обчислення відстані між точками безпосередньо на карті, що має цінність з точки зору співставлення інформації. Географічні координати та кількісні характеристики аеродинамічної шорсткості в околицях відібраних станцій представлені в табл. 1.

Між параметрами z_0 і β виявлено нелінійну залежність (рис. 3), що може бути апроксимована функціональною залежністю:

$$z_0 = 2(1 - \exp(\frac{-\beta^2}{a^2})) \quad (4)$$

де підгоночний параметр $a = 11.84$. Коефіцієнт детермінації R^2 рівний 0.955.

Таблиця 1. Середній кут закритості горизонту β та параметр шорсткості z_0 на 10-ти метеорологічних станціях України

Станція	Широта, φ	Довгота, λ	β	z_0
Кропивницький	48°32'37"	32°17'00"	0.75	0.121
Асканія Нова	46°27'04"	33°52'47"	2.88	0.142
Кривий Ріг	48°03'12"	33°12'40"	5.38	0.204
Конотоп	51°14'27"	33°11'13"	7.88	0.597
Одеса	46°26'27"	30°46'13"	10.13	1.226
Гайсин	48°48'01"	29°23'44"	12.75	1.318
Яремче	48°27'10"	24°33'11"	15.00	1.851
Бердянськ	46°45'13"	36°46'50"	17.25	1.594
Умань	48°46'01"	30°13'59"	19.75	1.817
Новоград-Волинський	50°35'34"	27°36'35"	22.38	1.784

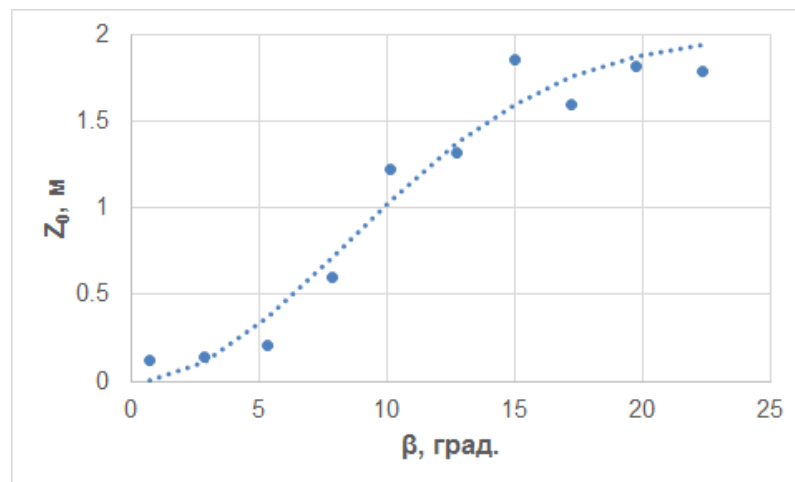


Рис. 3. Залежність параметру шорсткості z_0 від закритості горизонту β

Використовуючи рівність (4) було розраховано значення z_0 майже для всіх метеостанцій України для кожного румба. На трьох станціях, де відсутні дані про закритість горизонту (Крижопіль, Усть-Дунайськ, Червоний Лиман) цю величину визначено на основі регресійної залежності між значеннями середньої швидкості вітру і z_0 на сусідніх станціях, а також використовуючи класифікацію типів місцевості за приблизним оціночним значенням z_0 , представлену в [12, 17, 19]. У розрахунок були використані усі станції, період роботи яких припадає на проміжок часу з 1981 по 2010 роки включно.

Враховуючи те, що у деяких випадках наявна інформація про закритість горизонту може не відображати реальний ступінь захищеності вимірювального приладу на окремому напрямі чи, навіть, на усьому горизонті, отримані значення параметру шорсткості співставлялись зі знімками оточуючої місцевості та інформацією із довідника. У результаті було виявлено деякі невідповідності та перераховано z_0 для ряду метеорологічних станцій та для кожного заданого румбу за формулою (2).

Заключним етапом коригування швидкостей вітру був, власне, їх перерахунок за формулою [19]:

$$u_r = u_s \frac{\ln(60/z_0) \ln(10/z_{0(r)})}{\ln(z_s/z_0) \ln(60/z_{0(r)})} \quad (5)$$

де u_s – виміряна швидкість на висоті z_s , $z_{0(r)}$ – значення параметру шорсткості, яке відповідає умовам відкритої місцевості. У даному випадку u_r є приведеною швидкістю до рівня 10 м та умов при заданому значенні $z_{0(r)}$, яке в роботі приймається рівним 0.1 м. Зауважимо, що згідно інформації поданої у [19], коректним значенням $z_{0(r)}$ за умов відкритої місцевості на значній площі можна вважати 0.03 м. Проте, якщо в досліджуваному районі є лісові масиви чи забудована територія, більш обґрунтованим є $z_{0(r)} = 0.1$ м. Формулу (5) можна отримати з рівності (1) і припущення, що на верхній межі приземного шару (~60 м) зміни шорсткості підстильної поверхні не впливають на просторовий розподіл швидкості вітру у радіусі кількох кілометрів [20]. Слід відмітити, що за оцінками приведеними у [19] достовірність результатів отриманих за формулою (5) може бути гарантована на висоті $20z_0$ і більше, оскільки нижче вітер характеризується значною просторовою неоднорідністю. Незважаючи на це, використаний метод має цінність з точки зору приведення даних до одного вертикального рівня.

У результаті проведених розрахунків отримано нові ряди строкових даних про швидкість вітру на метеорологічних станціях України, діючих за період 1981-2010 рр. (усього 207 станцій). Карту осередненого за 30 років просторового розподілу перерахованих швидкостей представлено на рис. 4.

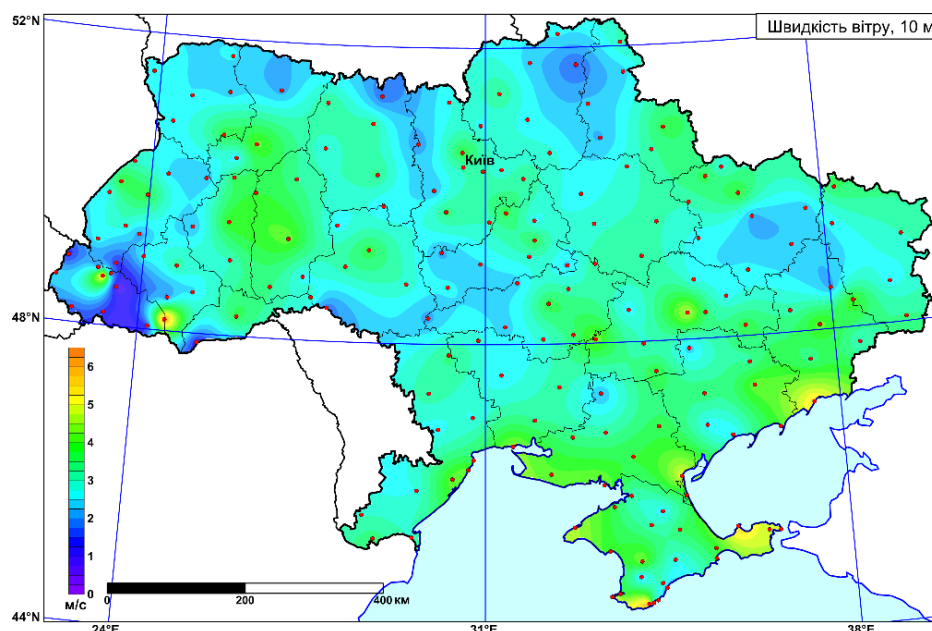


Рис. 4. Приведена до умов відкритого горизонту середня швидкість вітру за період 1981-2010 рр.

При візуальному порівнянні даного розподілу із тим, що приведений на рис. 1, можна відмітити, що середня багаторічна скоригована швидкість є більш рівномірно розподіленою по площі порівняно із осередненими даними мережі регулярних

спостережень. Крім того, її величина в середньому за територією України є вищою на ~ 0.35 м/с, про що може свідчити розподіл середніх відхилень від даних вимірювань на рис. 5. Зазначимо, що використаний метод не змінює нульові значення (штиль), хоча при наявності значних перешкод поблизу вітер є теоретично можливим.

У проведеному аналізі не були враховані такі важливі чинники як перенесення метеорологічного майданчика, зміна у часі найближчого оточення станції та коректність роботи приладу. Незважаючи на це, вплив мікро-масштабних особливостей підстильної поверхні на покази вимірювань був дещо нівельований. Це дозволяє провести більш адекватне картографування (просторову інтерполяцію) та районування території України за характеристиками вітру.

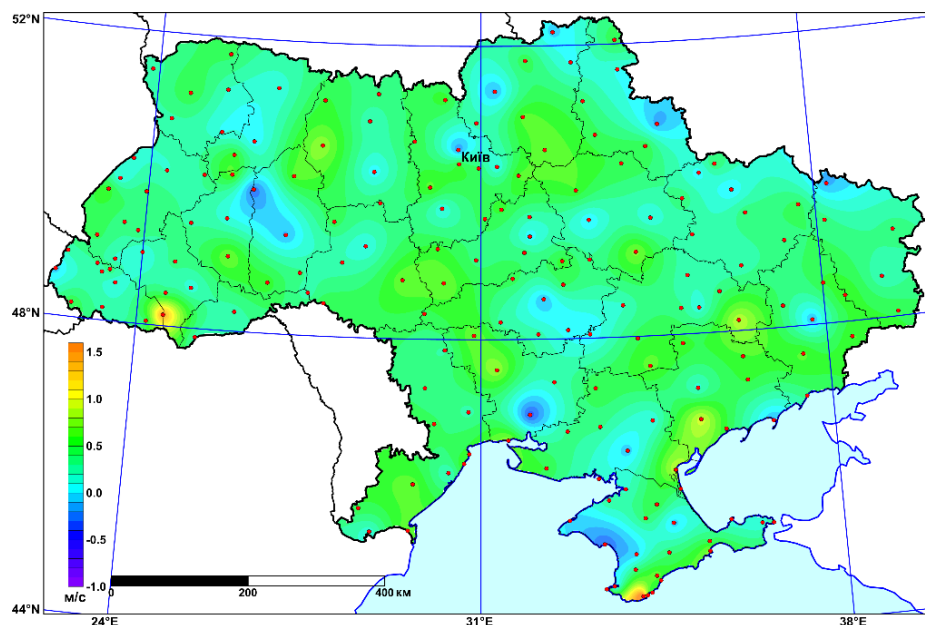


Рис. 5. Середнє за період 1981-2010 рр. відхилення приведеної до умов відкритої місцевості швидкості вітру від вимірних значень

Висновки. У ході виконаної роботи отримано часові ряди приведеної до умов відкритого горизонту та стандартної висоти швидкості вітру з часовою дискретністю 3 години на усіх метеорологічних станціях України, що функціонували за період з 1981 по 2010 рр. За результатами порівняльного аналізу отриманих значень із даними мережі регулярних спостережень за весь період дослідження, поле скоригованої швидкості є більш просторово однорідним та, в середньому по Україні, характеризується більшими значеннями. Є підстави стверджувати, що нові ряди даних краще характеризують режим швидкості вітру на території України, а отже можуть слугувати джерелом для проведення більш коректної інтерполяції та побудови Атласу вітрових енергетичних ресурсів України.

Список літератури

1. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология: Учебник. СПб.: Гидрометеиздат, 2005.
2. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеиздат, 1991.
3. Климатология: Учебник. / О.А. Дроздов, В.А. Васильев, Н.В. Кобышева [и др]. Л.: Гидрометеиздат, 1989.
4. Милевский В.Ю. Вероятность ветра различной скорости на территории СССР // Труды ЛГМИ. 1961. Вып. 12. С. 58-97.
5. Романова Е.Н. Возможности пространственной интерполяции скорости ветра в приземном слое воздуха в горах // Труды ГГО. 1973. Вып. 306. С. 108-113.
6. Швень Н.И. Про приведення швидкості вітру до умов

відкритого рівного місця // Наук. праці УкрНДГМІ. 2006. Вип. 255. С. 97-103. **7.** Вітрові ресурси Тернопільської області / *В.І. Осадчий, О.Я. Скринник, Д.О. Ошурок, О.А. Скринник* // Геоінформатика. 2017. №4(64). С. 50-61. **8.** Історія та фізико-географічний опис метеорологічних станцій України: Кліматологічний довідник / *за ред. О. Косовця та Н. Швеня*. Київ, 2011. **9.** *Зилитинкевич С.С.* Динаміка пограничного слоя. Л.: Гидрометеоздат, 1970. **10.** Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Вип. 3. Ч. 1: Метеорологічні спостереження на станціях. Київ: Державна гідрометеорологічна служба, 2011. **11.** *Troen I., Lundtang Petersen E.*, European wind atlas. Roskilde: Risø National Laboratory, 1989. 656 p. **12.** Guide to meteorological instruments and methods of observation. WMO-No. 8. Geneva: World Meteorological Organization, 2008. **13.** *Brower M.C.* Wind resource assessment: a practical guide to developing a wind project. John Wiley & Sons, Inc., 2012. 290 p. **14.** *Beaucage P., Brower M.C., Tensen J.* Evaluation of four numerical wind flow models for wind resource mapping // *Wind Energy*. 2014. Vol. 17. P. 197-208. **15.** *Giaiotti D., Oshurok D., Skrynyk O.* The Chernobyl nuclear accident Cs-137 cumulative depositions simulated by means of the CALMET/CALPUFF modelling system // *Atmospheric Pollution Research*. 2017. Vol. 9. P. 502-512. **16.** *Grimmond C.S.B., Oke T.R.* Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form // *Journal of Applied Meteorology*. 1999. Vol. 38. P. 1262-1292. **17.** *Leroy M.* Site classification. Technical note. No. 35. Meteo-France, 1999. **18.** Google Earth. URL: <https://earth.google.com/web/> (дата звернення: 25.07.2019). **19.** *Wieringa J.* Representativeness of wind observations at airports // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1980. Vol. 61, No. 9. P. 962-971. **20.** *Wieringa J.* Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1986. Vol. 112. P. 867-869.

References

1. *Handozhko L.A.* Jekonomicheskaja meteorologija: Uchebnik. SPb.: Gidrometeoizdat, 2005. **2.** *Byzova N.L., Garger E.K., Ivanov V.N.* Jeksperimental'nye issledovanija atmosfernoj diffuzii i raschety rassejaniya primesi. L.: Gidrometeoizdat, 1991. **3.** *Klimatologija: Uchebnik. / O.A. Drozdov, V.A. Vasil'ev, N.V. Kobysheva [i dr].* L.: Gidrometeoizdat, 1989. **4.** *Milevskij V.Ju.* Veroyatnost' vetra razlichnoj skorosti na territorii SSSR // *Trudy LGMI*. 1961. Vyp. 12. S. 58-97. **5.** *Romanova E.N.* Vozmozhnosti prostranstvennoj interpoljacii skorosti vetra v prizemnom sloe vozduha v gorah // *Trudy GGO*. 1973. Vyp. 306. S. 108-113. **6.** *Shven' N.I.* Pro pryvedennia shvydkosti vitru do umov vidkrytoho rinvoho mistsia // *Nauk. pratsi UkrNDHMI*. 2006. Vyp. 255. S. 97-103. **7.** Вітрові ресурси Тернопільської області / *В.І. Осадчий, О.Я. Скринник, Д.О. Ошурок, О.А. Скринник* // Геоінформатика. 2017. №4(64). С. 50-61. **8.** Історія та фізико-географічний опис метеорологічних станцій України: Кліматологічний довідник / *за ред. О. Косовця та Н. Швеня*. Київ, 2011. **9.** *Зилитинкевич С.С.* Динаміка пограничного слоя. Л.: Гидрометеоздат, 1970. **10.** Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. Вип. 3. Ч. 1: Метеорологічні спостереження на станціях. Київ: Державна гідрометеорологічна служба, 2011. **11.** *Troen I., Lundtang Petersen E.*, European wind atlas. Roskilde: Risø National Laboratory, 1989. 656 p. **12.** Guide to meteorological instruments and methods of observation. WMO-No. 8. Geneva: World Meteorological Organization, 2008. **13.** *Brower M.C.* Wind resource assessment: a practical guide to developing a wind project. John Wiley & Sons, Inc., 2012. 290 p. **14.** *Beaucage P., Brower M.C., Tensen J.* Evaluation of four numerical wind flow models for wind resource mapping // *Wind Energy*. 2014. Vol. 17. P. 197-208. **15.** *Giaiotti D., Oshurok D., Skrynyk O.* The Chernobyl nuclear accident Cs-137 cumulative depositions simulated by means of the CALMET/CALPUFF modelling system // *Atmospheric Pollution Research*. 2017. Vol. 9. P. 502-512. **16.** *Grimmond C.S.B., Oke T.R.* Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form // *Journal of Applied Meteorology*. 1999. Vol. 38. P. 1262-1292. **17.** *Leroy M.* Site classification. Technical note. No. 35. Meteo-France, 1999. **18.** Google Earth. URL: <https://earth.google.com/web/> (дата звернення: 25.07.2019). **19.** *Wieringa J.* Representativeness of wind observations at airports // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1980. Vol. 61, No. 9. P. 962-971. **20.** *Wieringa J.* Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1986. Vol. 112. P. 867-869.

Приведення даних вимірювань швидкості вітру до умов відкритої місцевості

Ошурок Д.О., Скриник О.Я.

Достовірність результатів багатьох прикладних досліджень із використанням інформації про вітер базується на якості вхідних даних. Також відомо, що виміряні на метеорологічних станціях України швидкості вітру часто є не репрезентативними відносно району спостережень через різний характер оточення у безпосередній близькості до вимірювального приладу. З метою вирішення цієї проблеми строкові дані про швидкість вітру, отримані на мережі метеостанцій Гідрометслужби за період 1981-2010 рр., були приведені до умов відкритого горизонту та стандартної висоти вимірювань. У результаті проведених розрахунків отримано строкові ряди даних, які відповідають умовам однорідної підстильної поверхні. Ця інформація може бути залучена для проведення більш коректної просторової інтерполяції та побудови Атласу вітроенергетичних ресурсів України.

Ключові слова: швидкість вітру, вертикальний профіль, закритість горизонту, шорсткість підстильної поверхні.

Приведение данных измерений скорости ветра к условиям открытой местности

Ошурок Д.О., Скриник О.Я.

Достоверность результатов многих прикладных исследований с использованием информации про ветер базируется на качестве входных данных. Также известно, что измеренные на метеорологических станциях Украины скорости ветра часто являются не репрезентативными относительно района наблюдений из-за разного характера окружения в непосредственной близости к измерительному прибору. С целью устранения этой проблемы срочные данные скорости ветра, полученные на сети метеостанций Гидрометслужбы Украины за период 1981-2010 гг., были приведены к условиям открытого горизонта и стандартной высоты измерений. В результате проведенных расчетов получены срочные ряды данных, соответствующие условиям однородной подстилающей поверхности. Эта информация может быть использована для проведения более корректной пространственной интерполяции и построения Атласа ветроэнергетических ресурсов Украины.

Ключевые слова: скорость ветра, вертикальный профиль, закрытость горизонта, шероховатость подстилающей поверхности.

Correction of wind speed data according to the open terrain conditions

Oshurok D.O., Skrynyk O.Y.

Wind speed spatial distribution over the territory of Ukraine built based on weather stations measurements has been analyzed. Interpolated field of wind speed averaged over 1981-2010 indicated fairly heterogeneous structure with a number of artificial spots of larger/smaller values compared to surrounding areas. The main reason of such heterogeneity might be associated with representativeness of observation site regarding the landscape zone. It is well known that surrounding obstacles have a great impact on wind flow in horizontal direction.

In order to solve this problem we have corrected sub-daily wind speed data measured at 207 meteorological stations of Ukraine for the period of 1981-2010 according to the open terrain conditions and the standard height (10 m). Generally, aerodynamic characteristics (e.g. surface roughness length) of measurement sites are needed in order to perform such adjustment. However, the only usable parameter available at a climatological reference book is horizon closure degree. The research revealed significant relationship between this characteristic and wind speed records (Pearson correlation coefficient equals - 0.58). Given that horizon closure degree could not be used in correction procedure directly, surface roughness length has been calculated for 10 stations and statistical relationship has been determined between these two parameters. Based on the obtained relation and additional information we have found roughness length for all 207 stations at eight directions. Supplementary materials for analysis included observation sites description and Google Earth snapshots as well. In the final step, there has been applied a correction formula derived from the neutral logarithmic profile of wind speed in the atmospheric surface layer.

The output of the research is new database of corrected wind speed measurements for the multiyear period. These results have been compared with observations. Mean 30-yr corrected speeds are featured by more homogeneous distribution over Ukraine and mostly higher values (with positive mean spatial bias ~0.35 m/s).

The applied method allowed us to remove uncertainties related to differences in vertical level of measurements and considerably eliminate influence of the micro-scale terrain inhomogeneity. Obtained datasets may facilitate to perform spatial interpolation and further development of Ukrainian Wind Atlas.

Keywords: wind speed, vertical profile, horizon closure degree, surface roughness length.

Надійшла до редколегії 02.09.2019

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4 (55)