

УДК 621.548

© 2011

*Смердов А.А., доктор технічних наук, професор,**Бульба Є.М., асистент, здобувач**

Полтавська державна аграрна академія

**СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШВИДКОСТІ ВІТРУ
В РЕГІОНІ м. ПОЛТАВИ***Рецензент – доктор технічних наук, професор Г.М. Кожушко*

Проведено аналіз проблематики впровадження відновлюваних джерел енергії в аграрно-промисловий комплекс. Обґрунтована доцільність використання вітрових установок малої та середньої потужностей для задоволення сільськогосподарських потреб. Розглянутий датчик напрямку та швидкості вітру ДВ-160 і програмне забезпечення для роботи з ним. Проведена статистична оцінка характеристик швидкості вітру за липень-серпень 2009 року. Обрахована середня швидкість вітру на висоті 30 м та визначений її зв'язок зі швидкістю вітру на висоті флюгера. Розраховані коефіцієнти для розподілу Вейбула, що дає змогу оцінити вітровий потенціал регіону м. Полтава.

Ключові слова: швидкість вітру, датчик вітру, вітрогенератор, аграрно-промисловий комплекс, розподіл Вейбула, відновлювані джерела енергії.

Постановка проблеми. Аграрно-промисловий комплекс України тяжіє до використання ресурсоемних технологій, тому наразі постає питання про впровадження нетрадиційних джерел енергії. Одним із таких джерел може бути вітроенергетика. В системі відновлюваних джерел енергії вітроенергетика посідає одне з провідних місць, набуваючи в останні роки все більших масштабів у країнах Європи. Головним критерієм впровадження вітроелектричних установок (ВЕУ) та застосування їх на місцевості є оцінка вітрового потенціалу даного регіону – визначення статистичних характеристик швидкості вітру за певний період часу. Таким чином, постає проблема точного вимірювання швидкості вітру та аналізу вітрового потенціалу не тільки для певного регіону в цілому, а й локально – для конкретних господарств.

Аналіз основних публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Кабінетом Міністрів України прийнята програма з розширення аграрно-промислового комплексу; в бюджет закладені додаткові кошти на розвиток продукції

сільського господарства та тваринництва. Це, в свою чергу, вимагає значних затрат енергетичних ресурсів. Тому актуальним стає питання про доцільність впровадження відновлюваних джерел енергії в аграрний і промисловий комплекси [2]. Україна має значний вітровий потенціал, саме тому значну увагу варто приділити розвитку вітроенергетики [1]. Назріло питання доцільності побудови вітрогенераторів та їх ефективне застосування [3]. Крім того в Україні прийнятий закон для стимулювання розвитку вітроенергетики [4]. Таким чином, значна увага приділяється нині оцінці вітрового потенціалу місцевості для ефективного впровадження вітрогенераторів [5].

Мета і завдання роботи. Мета роботи полягає у визначенні швидкості вітру та його статистичних характеристик для м. Полтава на основі комп'ютерної системи збору даних. Завдання роботи полягає у розрахунку параметрів та коефіцієнтів для статистичної оцінки даних розподілом Вейбула.

Апаратура і метод дослідження. У Полтавській державній аграрній академії (49°35'44,32" широти, 34°33'13,13" довготи) була встановлена вітроенергетична установка FA-3.1/200 з датчиком вітру ДВ-160. Вітрогенератор розрахований на вироблення енергії при номінальній потужності 800 Вт в обсязі 120-250 кВт·Ч у місяць. Датчик вітру має діапазон вимірюваних швидкостей від 0,2 до 60,0 м/с із дискретністю вимірювання 0,1 м/с, дозволяє виставляти крок вимірювання 2-120 с та дає змогу передавати дані на персональний комп'ютер за допомогою розробленого програмного забезпечення.

Використання подібних установок малої потужності дає можливість задовольнити потреби невеликих аграрних господарств і, як свідчить аналіз публікації, цей напрям є перспективним і ефективним. Для аналізу статистичних характеристик вітру необхідно використовувати функції математичної статистики [7, 8].

* Кривник – доктор технічних наук, професор А.А. Смердов

Для вимірювання швидкості вітру був узятий датчик вітру ДВ-160, апаратно поєднаний із персональним комп'ютером, на якому встановлена програма збору та первинної обробки даних. Прямим аналогом датчика ДВ-160 виступає датчик вітру М-127, що має схожі характеристики й будову. Датчик вітру (ДВ) встановлений на щоглі на даху учбового корпусу, що в сумі дорівнює висоті 30 м. На даній висоті, з урахуванням особливостей рельєфу місцевості, умови отримання даних близькі до ідеальних, оскільки немає сторонніх перешкод. Вимірювання швидкості вітру, як правило, проводять на висоті флюгера $h_{\phi} = 10 \text{ м}$ [7].

Програма-монітор призначена для візуалізації поточних параметрів потоку, зчитування накопичених даних і управління параметрами датчика. Інтерфейс програми для збору даних представлено на рис. 1.

У лівому верхньому кутку вікна відображаються поточний напрям і швидкість вітру. Праворуч від цього поля розташований пливучий графік швидкості вітру за період в 1 хв. Нижче відображається поточний час на комп'ютері і на датчику. Між ними розташована кнопка для синхронізації часу.

Середня частина вікна служить для роботи з накопичуваними даними. При натисненні кнопки «Рахувати дані», на комп'ютер зчитується значення сумарної енергії потоку, встановлені на датчику межі швидкості і накопичені в пам'яті датчика записи.

При натисненні кнопки «Зберегти», зчитаний список записів можна зберегти в текстовий файл, придатний для відкриття програмою Microsoft Excel.

Кнопка «Обнулити» витирає з пам'яті датчика всі записи й обнуляє лічильник сумарної енергії потоку.

Кнопка «Задати» копіює значення меж швидкості з комп'ютера в пам'ять датчика.

Результати дослідження. Згідно [7], для вітроенергетики є законом вважати райони з середньою швидкістю вітру менше 5 м/с малопродатними для розміщення вітроустановок, а зі швидкістю більшою ніж 8 м/с – досить сприятливими. З цього маємо, що вимірювана швидкість вітру протягом року повинна лежати в межах від 5 до 8 м/с. Це буде достатньою умовою для побудови вітроустановок малої та середньої потужностей.

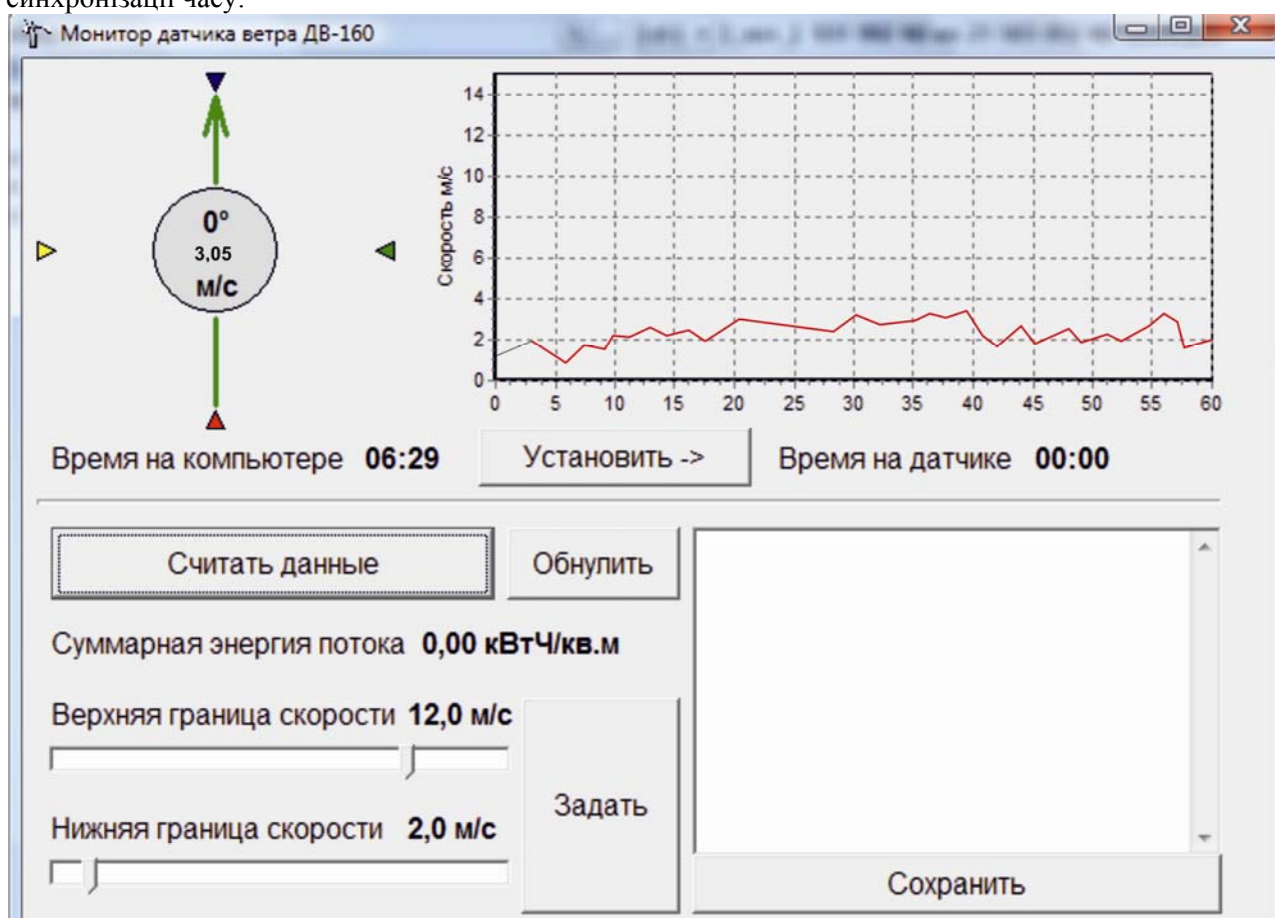


Рис. 1. Головне вікно програми для реєстрації швидкості вітру датчика ДВ-160

Датчик працював протягом липня-вересня 2009 р., а для обробки були взяті дані за 30 календарних днів, починаючи з 15.07.09 по 14.08.09. Дискретність вимірювання даних складає 1 хв, проте такий крок не є необхідним, оскільки рекомендовано проводити вимірювання швидкості вітру один раз на годину, або навіть 4 рази на день [7]. Для прикладу: на рисунку 2а представлена залежність швидкості вітру протягом доби, а на рисунку 2б – розподіл потужності ВЕУ протягом дня. (Дані взяті за 8.08.09, починаючи з 0.00 годин до 24.00 годин, що становить 1440 хвилин).

Таким чином, на графіках число 1 по осі абсцис відповідає часу 0.01, а, наприклад, число 1429 – відповідає часу 23.49.

Дані діаграми свідчать, що швидкість вітру протягом доби суттєво змінюється: зазвичай вночі вона найменша, а протягом дня зростає. На рисунку 2а видно, що швидкість вітру починає зростати з 8.00 й коливається аж до 19.00; з 0.01 до 8.00 годин та з 19.00 до 24.00 годин швидкість вітру спадає і незначно змінюється. Середня швидкість вітру за добу становить 2,81 м/с. Проте ці дані наведені

лише за один день, отже, за допомогою їх не можна робити загальний висновок. За 30 днів середня швидкість вітру склала 2,91 м/с. З рисунка 2б видно, що вироблена потужність вітрогенератором, так само як і швидкість вітру протягом доби, змінюється, набуваючи максимальних значень із 8.00 до 19.00 годин.

Електрична потужність, що генерується ВЕУ з номінальною потужністю $N_{ном}$, залежно від швидкості U , дорівнює [8]:

$$N(U) = N_{ном} \cdot \varphi(U), \quad (1)$$

де $\varphi(U)$ – робоча характеристика ВЕУ. Для установок із постійною частотою обертання вітроколеса в номінальному режимі вона має вигляд:

$$\varphi(U) = \begin{cases} 0, & U < U_0 \\ \left(\frac{U}{U_{ном}}\right)^3, & U_0 \leq U \leq U_{ном} \\ 1, & U_{ном} < U \leq U_{max} \\ 0, & U > U_{max} \end{cases}, \quad (2)$$

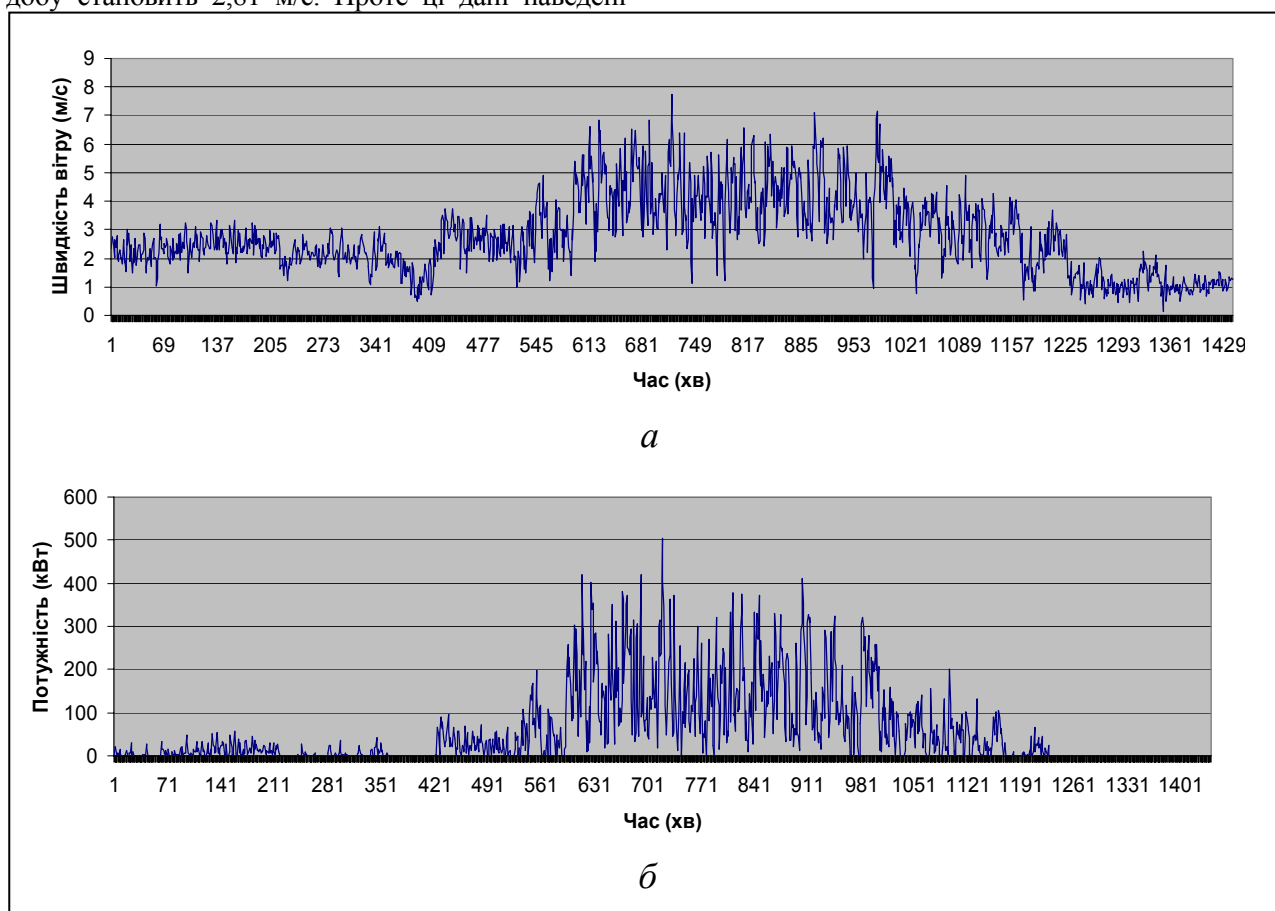


Рис. 2. Приклади отриманих даних: а – розподіл швидкості вітру протягом доби на висоті 30 м; б – розподіл потужності, виробленої вітрогенератором упродовж дня

де U_0 – початкова швидкість, при якій вітроколесо починає обертатися; $U_{ном}$ – номінальна швидкість ВЕУ; U_{max} – максимальна швидкість, при якій ВЕУ виводиться з робочого режиму.

Для апроксимації експериментальних даних швидкості вітру необхідно використовувати функцію розподілу Вейбула [7]:

$$F(U) = 1 - e^{-\left(\frac{U}{c}\right)^k}, \quad (3)$$

де: k – параметр форми, а c – параметр, близький до середньої швидкості вітру.

Густина розподілу Вейбула дорівнює

$$f(U) = \frac{dF(U)}{dU} = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{U}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{U}{c}\right)^k}, \quad (4)$$

а середня швидкість вітру (математичне очікування) становить

$$\bar{U} = \int_0^{\infty} U \cdot f(U) \cdot dU = c \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right), \quad (5)$$

де $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} \cdot e^{-t} \cdot dt$ – гамма-функція.

Метеорологічні служби реєструють параметри вітру на стандартній висоті флюгера – $h_{\phi} = 10$ м. Осі вітроколес сучасних ВЕУ знаходяться на висоті h від 10 до 100 м. Для визначення середньої швидкості вітру на цих висотах використовують наближену емпіричну формулу:

$$\bar{U}_h = \bar{U}_{\phi} \cdot \left(\frac{h}{h_{\phi}}\right)^b, \quad (6)$$

де \bar{U}_{ϕ} – середня швидкість вітру на висоті флюгера. Параметр b для відкритих місць дорівнює $b = 0,14$ [2].

Із Полтавської метеорологічної станції були отримані такі дані швидкості вітру \bar{U}_{ϕ} :

червень 2009 р. – $\bar{U}_{\phi} = 2,6$ м/с;

липень 2009 р. – $\bar{U}_{\phi} = 2,2$ м/с;

серпень 2009 р. – $\bar{U}_{\phi} = 2,6$ м/с;

вересень 2009 р. – $\bar{U}_{\phi} = 2,8$ м/с.

Використовуючи формулу (6) можна знайти параметр b для м. Полтава, спираючись на дані датчика вітру ДВ-160. Оскільки виміри про-

дилися у липні-серпні 2009 р., то $\bar{U}_h = 2,91$ м/с – середня швидкість за липень-серпень на висоті 30 м, а $\bar{U}_{\phi} = 2,4$ м/с – середня швидкість за липень-серпень на висоті флюгера. Підставивши ці значення у формулу (6), отримуємо $b = 0,18$ для регіону м. Полтава; проте слід враховувати, що дані були взяті за 30 днів, а не за рік.

Однак вітри на території області не відзначаються постійністю характеристик. У теплий період року частіше діють західні та північно-західні вітри, в холодний період переважають вітри східного та південно-східного напрямків. Середня швидкість вітру за рік становить 3-5 м/с [6].

Середня питома потужність вітрового потоку (потужність на одиницю площі вітроколеса) дорівнює:

$$\bar{P}_0 = \frac{\rho}{2} \cdot \int_0^{\infty} U^3 \cdot f(U) \cdot dU = \frac{\rho \cdot c^3 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right)}{2}, \quad (7)$$

де ρ – густина повітря. Номінальна потужність вибраної ВЕУ повинна приблизно відповідати значенню $N_{ном} \approx \eta \cdot S \cdot \bar{P}_0$, де S – площа вітроколеса, а η – загальний коефіцієнт корисної дії ВЕУ. Для більшості ВЕУ $\eta \approx 0,3$ [7].

Середня продуктивність ВЕУ за період часу T складе [8]:

$$\bar{W} = N_{ном} \cdot T \cdot \bar{\varphi}, \quad (8)$$

де $\bar{\varphi}$ – середнє значення робочої характеристики, яке можна інтерпретувати як коефіцієнт використання потужності ВЕУ. При використанні функції розподілу Вейбула отримуємо:

$$\bar{\varphi} = \frac{c^3}{U_{ном}^3} \cdot \left[\gamma\left(1 + \frac{3}{k}, U_{ном}\right) - \gamma\left(1 + \frac{3}{k}, U_0\right) \right] + e^{-\left(\frac{U_{ном}}{c}\right)^k} - e^{-\left(\frac{U_{max}}{c}\right)^k}, \quad (9)$$

де $\gamma(a, x) = \int_0^x t^{a-1} \cdot e^{-t} \cdot dt$ – неповна гамма-

функція.

Таким чином, оцінка продуктивності ВЕУ зводиться до визначення коефіцієнта використання потужності $\bar{\varphi}$, тобто до статистичної оцінки параметрів функції Вейбула k і c при заданих швидкостях $U_0, U_{ном}$ і U_{max} вибраної ВЕУ.

Нехай n – число вимірювань швидкості вітру

за даний період, що приймається рівним 100, що є середнім за багато років спостережень; m – число інтервалів для швидкості вітру; U_{1i} – ліва межа i -го інтервалу; U_{2i} – права межа i -го інтервалу; U_i – середина i -го інтервалу; n_i – частота попадання швидкості вітру в i -й інтервал; $w_i = n_i / n$ – відносна частота. Тоді вибіркова середня швидкість вітру і вибіркова дисперсія обчислюються за формулами:

$$\bar{U}_e = \sum_{i=1}^m w_i \cdot U_i, \quad D_e = \sum_{i=1}^m w_i \cdot (U_i - \bar{U}_e)^2 \quad (10)$$

Прирівнюючи \bar{U}_e і D_e із (10) математичному очікуванню і дисперсії розподілу Вейбула, отримаємо систему двох рівнянь

$$\frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right)}{\Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)} = \frac{D_e}{\bar{U}_e^2} + 1, \quad c = \frac{\bar{U}_e}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)}, \quad (11)$$

вирішуючи яку, можна знайти параметри k і C . Варто зауважити, що збільшення висоти

БІБЛЮГРАФІЯ

1. Анализ развития ветроэнергетики в Украине / В.С. Подгуренко // Энергетика и электриф. – 2000. – № 10. – С. 40-51.
2. Возможности использования нетрадиционных источников энергии в Украине и Донбассе / И.А. Александров, Ю.Н. Сокальская // Энергосбережение. – 2001. – № 5. – С. 15-21.
3. До питання про доцільність будівництва вітрових електростанцій в Україні / М.М. Жовмір, С.В. Шульга // Энергетика и электриф. – 2000. – № 4. – С. 36-40.
4. Закон України. Про внесення змін до деяких законів України щодо стимулювання розвитку вітроенергетики України: від 8 червня 2000 р., № 1812-III // Відомості Верховної Ради України. – 2000. – № 38. – С. 742-743.

$h > h_{\phi}$ не змінює параметр k , а призводить тільки до збільшення параметра C на фактор $(h/h_{\phi})^{0,14}$.

Для регіону м. Полтава за липень-серпень коефіцієнт $k = 2,2$, оскільки середня швидкість за цей період склала $\bar{U}_h = 2,91$.

Висновки:

1. Для регіону м. Полтава була обрахована середня швидкість вітру за липень-серпень 2009 р., що склала 2,91 м/с.
2. Розрахований параметр b , який зв'язує середню швидкість вітру на висоті флюгера – 10 м із середньою швидкістю вітру на вимірюваній висоті – 30 м. Для м. Полтава параметр b складає 0,18 – у порівнянні з параметром для відкритих місць – 0,14.
3. Для оцінки вітрового потенціалу регіону необхідно використовувати функцію розподілу Вейбула, з допомогою якої був отриманий коефіцієнт $k = 2,2$ для регіону м. Полтава.

5. Метод оцінки виробітку електроенергії вітроелектричною установкою за даними електронної реєстрації характеристик вітру / Б.Г. Тучинський // Нетрадиц. енергетика в XXI веке: Докл. II Междунар. конф., Крым (Ялта), 17-22 сент. 2001 г. – К., 2001. – С. 95-98.
6. Полтавська область: природа, населення, господарство. Географічний та історико-економічний нарис. / За ред. Маца К.О. – П.: Полтавський літератор, 1998 р. – С. 40-41.
7. Твайделл Д., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
8. Manwell J. F. Wind energy explained : theory, design, and application / James Manwell, Jon McGowan, Anthony Rogers. WILEY, – 2nd ed., 2009. – 700 p.