

УДК 621.548:519.25(045)

О. Д. Любімов, канд. техн. наук,
В. М. Коваленко,
А. І. Чубенко

МЕТОДИКА ОБРОБЛЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІТРУ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЩОДО РОЗМІЩЕННЯ ВІТРОЕНЕРГОУСТАНОВКИ В КОНКРЕТНОМУ РЕГІОНІ

Інститут аерокосмічних систем управління НАУ, e-mail: iasy@nau.edu.ua

Оцінено статистичні дані (швидкість, напрям) вітру з використанням розподілу Вейбула. Отримано вираз для середньоквадратичного відхилення швидкості вітру, що дозволяє прийняти рішення щодо розміщення вітроенергоустановки.

Ключові слова: розподіл Вейбула, вітроелектроустановка, швидкість вітру.

Вступ і постановка завдання. Інтенсивний розвиток вітроенергоустановок як альтернативного джерела електроживлення вимагає методики визначення характеристик вітру в окремо взятому регіоні для вибору оптимально узгодженого з параметрами вітру типу вітроенергоустановок, їх кількості та розміщення. Для вирішення цього завдання використовують статистичні дані швидкості вітру, які дозволяють отримати відомості про ймовірнісні характеристики змін швидкості вітру й оцінити його енергетичний потенціал, що дає змогу прийняти рішення щодо придатності конкретної місцевості для використання енергії вітру.

Аналіз статистичних даних вітру в регіоні. Основним джерелом вихідних даних є спостереження за швидкістю вітру на опорній мережі гідрометеослужби. Ці спостереження проводяться за єдиною методикою, кілька раз на добу, охоплюють великий період часу.

Групування вимірних даних вітру ефективно для перетворення в частотний розподіл для подальшого аналізу. Швидкість вітру групують зазвичай у класи – інтервали. Коли межі інтервалів обрано, визначають середню швидкість вітру для кожного класу й відповідну частоту виникнення.

Для аналітичної оцінки ймовірності настання певних швидкостей вітру в регіоні використовують двопараметричний розподіл Вейбула

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right], \quad (1)$$

де c – масштабний коефіцієнт; k – безрозмірний параметр форми; v – швидкість вітру.

Середня швидкість вітру

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v f(v) dv; \quad (2)$$

середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \left[\int_0^{\infty} (v - \bar{v})^2 f(v) dv \right]^{1/2}. \quad (3)$$

Підставимо вираз (1) в рівняння (2), отримаємо:

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] dv. \quad (4)$$

Якщо $x = (v/c)^k$, тоді $dx = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} dv$, де $x^{1/k} = \frac{v}{c}$.

Підставивши вирази (5) в рівняння (4), то після спрощення маємо такі перетворення:

$$\bar{v} = c \int_0^{\infty} x^{1/k} \exp(-x) dx.$$

Підставивши гамма-функцію $\Gamma(z) = \int_0^{\infty} x^{z-1} \exp(-x) dx$,

де $z-1 = 1/k$, отримаємо вираз для визначення середньої швидкості вітру:

$$\bar{v} = c \Gamma[1 + (1/k)].$$

Тому вираз (3) можна подати так:

$$\sigma = \left[\int_0^{\infty} (v - \bar{v})^2 f(v) dv \right]^{1/2} = \left[\int_0^{\infty} v^2 f(v) dv - 2\bar{v}\bar{v} + \bar{v}^2 \right]^{1/2}.$$

Спростимо інтеграл: $\int_0^{\infty} v^2 f(v) dv = c^2 \int_0^{\infty} \frac{v^2}{c^2} \exp(-x) dx = c^2 \Gamma(1 + 1/k)$.

Отримаємо остаточний вираз для середньоквадратичного відхилення:

$$\sigma = c(\Gamma(1 + 2/k) - \Gamma^2(1 + 1/k))^{1/2}.$$

Для спрощення способу визначення параметрів c і k розподілу Вейбула пропонується використовувати не табличні значення допоміжних функцій, а графічні залежності, наведені на рис. 1 та 2; $\bar{v}$ – середнє значення швидкості вітру, що розраховуємо за формулою

$$\bar{v} = \sum_{j=1}^M f(v_j) v_j,$$

де v_j^2 – середньоквадратичне значення швидкості вітру за діапазонами, що розраховується за формулою

$$v_j^2 = \sum_{j=1}^M f(v_j) v_j^2.$$

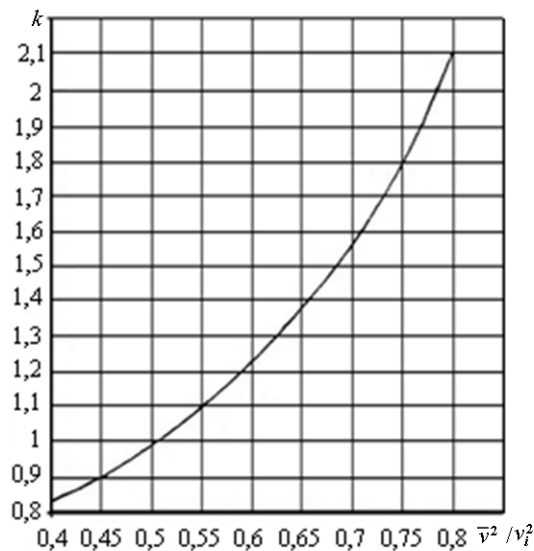
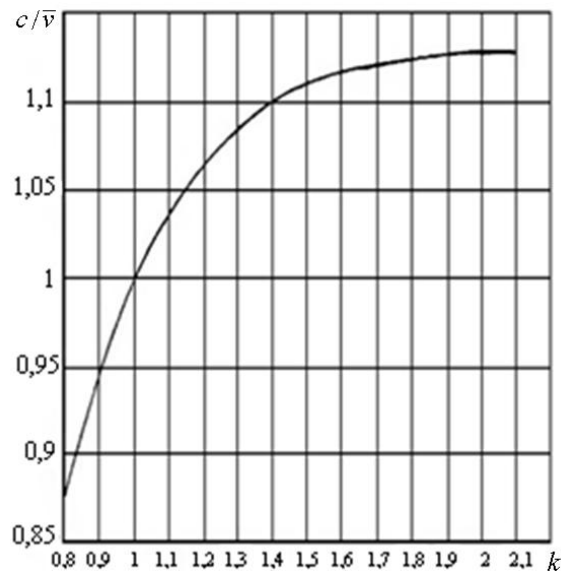
Якщо відомі k і c , можна розраховувати значення величин найбільш імовірної швидкості вітру (найбільша швидкість вітру для щільності ймовірності розподілу) v_I і швидкість вітру, що має максимальну енергію $v_{\text{макс}E}$:

$$v_I = c \left(\frac{k-1}{k} \right)^{1/k} v_{\text{макс}E} = c \left(\frac{k+2}{k} \right)^{1/k}.$$

Потужність вітру визначаємо за формулою

$$P(v) = \frac{1}{2} \rho A v^3,$$

де ρ – щільність повітря $1,225 \text{ кг/м}^3$; A – площа обдування вітру; v – швидкість вітру.

Рис. 1. Визначення параметра форми k Рис. 2. Визначення масштабного коефіцієнта c

Енергія вітру в одиничну площу (або щільність енергії вітру), Вт/м²:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3. \quad (5)$$

Рівняння (5) підходить для миттєвої оцінки щільності енергії. Але через мінливість швидкості вітру дискретний підхід до оцінювання енергії вітру може призвести до неточних результатів. Кубічне співвідношення між швидкістю вітру й питомою потужністю відчутно впливає на щільність енергії вітру. Як видно з рівняння (5), збільшення швидкості вітру в два рази приводить до збільшення щільності енергії вітру у вісім раз. Модель, яка описує розподіл вітру в локації і найбільше задовольняє оцінку потужності вітру в регіоні, ґрунтується на оцінці щільності розподілу енергії вітру:

$$P_w = \int_0^{\infty} P(v) f(v) dv,$$

де $f(v)$ – функція двопараметричного розподілу Вейбула.

Висновки. Статистичні параметри даних вітру ґрунтуються на середніх значеннях швидкості вітру. Для аналітичної оцінки ймовірності можна використовувати двопараметричний розподіл Вейбула. Отримано вираз для потужності вітру з урахуванням аналізу статистичних параметрів щільності розподілу енергії вітру.

Список літератури

1. *EWEAE uropean Statistics 2010* – Статистичні дані Європейської асоціації вітряної енергетики, 2010.
2. *Бабенко Г. О.* Вітроенергетичний комплекс України – досягнення, проблеми, перспективи / Г. О. Бабенко, В. М. Богма, Ю. В. Жабський та ін. *Новини енергетики.* – 2003. – 25 с.
3. *Бабаев Г.* Програма державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики / Г. Бабаев, Д. Дероган, А. Шидловський та ін. – К.: Вид-во Держкоменергозбереження України, НАН України, 1997. – 146 с.
4. *Васильев Ю. С.* Экология использования возобновляющихся энергоисточников / Ю. С. Васильев, Н. И. Хрисанов – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1991. – 343 с.

А. Д. Любимов, В. Н. Коваленко, А. И. Чубенко

Методика обработки статистических данных параметров ветра для принятия решения о размещении ветроэнергоустановки в конкретном регионе

Проведена оцінка статистических даних (швидкості, напрямлення) вітру з використанням розподілення Вейбулла. Отримано вираження для середньквадратичного відхилення швидкості вітру, що дозволяє прийняти рішення про розміщення ветроэнергоустановки.

A. D. Lyubimov, V. M. Kovalenko, A. I. Chubenko

Statistical data processing of wind parameters principles in order to get solving the wind energetic installation in concrete region allocation

Principles of the statistical data wind (meanspeed, direction) estimation by help at Weibull distribution is given and expression of meansquare deviation of wind speed is obtained, that allows to take decision as for wind energetic arrangement allocation.