

на смесительные насосы или теплообменники. Процесс замены невозможно выполнить во всех абонентов за летний сезон, его следует выполнять поэтапно, начиная с гидравлически наиболее отдаленных абонентов за критерием гидравлического радиуса. После завершения каждого этапа необходима оптимизация гидравлического и теплового режимов системы теплоснабжения. Только так можно получить выигрыш от переоборудования тепловых вводов не только после полного завершения работ, но и после выполнения каждого этапа. Обе задачи невозможно выполнить без надлежащего математического аппарата и программного обеспечения.

Ключевые слова: городское энергетическое планирование, тепловой ввод, тепловая сеть, гидравлический радиус, реконструкция, гидравлический режим.

УДК 621.548

Н.О. Костогрізова; В.В. Дубровська, канд. техн. наук, доцент;
В.І. Шкляр, канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРУ ШВИДКОСТЕЙ ВІТРУ

Проведено статистичний аналіз вимірів швидкості вітру в м. Києві за допомогою диференціального розподілу та статистичною функцією Вейбулла. Встановлено переважні напрями руху вітру протягом року та за сезонами. Визначена залежність питомої потужності виробництва вітрової енергії від повторюваності швидкості вітру.

Ключові слова: функція розподілу Вейбулла, густина ймовірності повторення швидкості, функція розподілу енергії вітру.

Вступ.

Одним зі стратегічних шляхів енергозабезпечення країни може стати використання нетрадиційних джерел енергії. Найбільш перспективною з екологічної і економічної точки зору серед поновлюваних видів енергії, згідно концепції енергетичної політики України на період до 2020 року, є вітроенергетика. Робота вітрогенератора потужністю 1 МВт за 20 років дозволяє зекономити приблизно 29 тис. тонн вугілля або 92 тис. баррелів нафти. Щорічно застосування такого генератора запобігає потраплянню в атмосферу 1800 т CO₂, 9 т SO₂, 4 т оксидів азоту [1].

Одним із напрямів розвитку науково-дослідницької діяльності в області вітроенергетики є коректна аргументована оцінка потенціалу вітрової енергії. Для систематизації характеристик вітрової ситуації в конкретному регіоні з метою її ефективного енергетичного використання, як правило, розробляється вітроенергетичний кадастр, який являє собою сукупність аерологічних і енергетичних характеристик вітру. Значення швидкості вітру, що вимірюють на метеорологічних станціях, дає можливість отримати достатні відомості про середньоперіодичні швидкості: за добу, місяць і рік. Для районування територій використовують такі показники, як середньорічна швидкість вітру; питома потужність вітру, сумарні потенціальні вітроенергоресурси та безперервна тривалість робочої швидкості вітру, як критерій стабільності функціонування вітроагрегатів. Такі дані можна використовувати лише для грубої оцінки вітроенергетичних ресурсів певного району, але їх недостатньо для прийняття конкретних технічних рішень.

Мета та завдання.

Тому на сьогоднішній день зростає необхідність у виявленні найбільш перспективних місць використання вітрової енергії, враховуючи головну особливість вітрової енергії – нерівномірність її прояву в часі та просторі, тобто з урахуванням частоти та напрямку повторення швидкості.

Часто ВЕУ розміщують вдалині від метеорологічних і аерологічних станцій, а висота осі вітроколеса змінюється в широких межах. Тому виникає задача відновлення режиму вітру в будь-якій точці приземного шару. Найбільш ефективним способом розв'язку цієї задачі в даний час визнаний статистичний метод.

Матеріали і результати досліджень.

Обробка даних регулярних спостережень показує, що річний (місячний) розподіл густини вірогідності частоти повторюваності швидкостей вітру може бути з достатньою точністю описано

диференціальним розподілом або статистичною функцією Вейбулла. Використання даних функцій дає можливість більш точно оцінити очікувану потужність вітрового потоку, вірогідність виникнення необхідної швидкості та тривалість робочої швидкості вітру у певному напрямку.

Аналіз характеристик вітру за диференціальним розподілом полягає в математичній обробці масиву експериментальних даних, а при використанні статистичної функції Вейбулла - за середнім значенням швидкості вітру, що скорочує необхідність в великій кількості вимірів швидкостей вітру.

Функція розподілу Вейбулла має вигляд:

$$p(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{u}{c}\right)^k\right], \text{ для } 1 < k < 10, \quad (1)$$

де $p(u)$ – густина ймовірності повторення швидкості зі значенням u ; u – значення швидкості вітру що цікавить, м/с; c – масштабний коефіцієнт визначається виразом:

$$c = \frac{\bar{u}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)}, \quad (2)$$

де середня швидкість вітру:

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{n}, \quad (3)$$

де u_i – поточне значення швидкостей вітру, отримані в результаті метеорологічних спостережень за деякий період часу, м/с; n – загальна кількість спостережень за той же період часу; $\Gamma(1+1/k)$ – гамма-функція, k - коефіцієнт форми розподілу Вейбула, котрий характеризує асиметрію кривої і визначається:

$$k = \left(\frac{\sigma}{g_c}\right)^{-1,086}, \quad (4)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення швидкості вітру, що визначається за виразом:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{n} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n u_i}{n}\right)^2}. \quad (5)$$

В даній роботі виконано статистичний аналіз результатів виміру швидкостей вітру за даними метеостанції Жуляни у м. Києві у 2013 рік [2]. Виміри швидкостей проводилися щоденно у 2:00, 5:00, 8:00, 11:00, 14:00, 17:00, 20:00, 23:00 на висоті 10-12 метрів.

Ймовірність швидкості вітру по градаціях виконано за диференціальним розподілом та функцією Вейбулла і наведено в таблиці 1. Розрахунок проведено за [3].

Таблиця 1

Статистичний аналіз результатів виміру швидкості вітру

u	dN/du	Φ_u	Φ_{u>u'}	Φ_u · u	u³	Φ_u · u³	P_u	P_u · Φ_u	P
м/с	(м/с)⁻¹	(м/с)⁻¹			(м/с)³	(м/с)²	Вт/м²		
0	235	0,081	1,00	0	0	0,00	0	0,00	0,000
1	429	0,147	0,92	0,15	1	0,15	1	0,10	0,224
2	783	0,268	0,77	0,54	8	2,15	5	1,40	0,275
3	737	0,253	0,50	0,76	27	6,82	18	4,43	0,222
4	453	0,155	0,25	0,62	64	9,94	42	6,46	0,137
5	176	0,060	0,10	0,30	125	7,54	81	4,90	0,068
6	71	0,024	0,04	0,15	216	5,26	140	3,42	0,028
7	24	0,008	0,01	0,06	343	2,82	223	1,83	0,010
8	7	0,002	0,00	0,02	512	1,23	333	0,80	0,003
9	1	0,000	0,00	0,00	729	0,25	474	0,16	0,001
10	1	0,000	0,00	0,00	1000	0,34	650	0,22	0,000
11	0	0,000	0,00	0,00	1331	0,00	865	0,00	0,000
12	0	0,000	0,00	0,00	1728	0,00	1123	0,00	0,000
13	0	0,000	0,00	0,00	2197	0,00	1428	0,00	0,000

Де u – швидкість вітру з інтервалом Δu , dN/du – густина функції розподілу швидкості вітру, Φ_u – ймовірний диференціальний розподіл швидкості вітру, $\Phi_{u>u'}$ – інтегральна повторюваність швидкості вітру, P_u – питома потужність швидкості вітру (при $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$), $P_u \cdot \Phi_u$ – функція розподілу енергії вітру, P – функція Вейбула ймовірного розподілу швидкості вітру.

Максимальне значення ймовірності розподілу швидкості за диференціальним розподілом, як видно з рис.1а - 2,25 м/с. Аналіз статистичних швидкостей вітру за сезонами показав, що більші значення для повторення ймовірні взимку, найбільша ймовірність повторення швидкостей 1-2 м/с має місце влітку. Розподіл осінніх та весняних швидкостей має аналогічні значення. Функція розподілу швидкості вітру за сезонами представлена на рис. 1б.

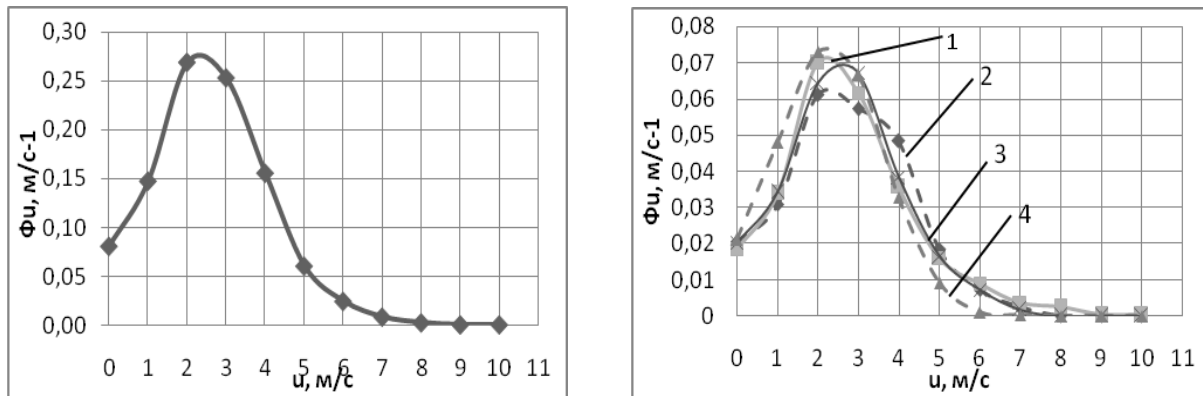


Рис.1. Функція розподілу повторюваності швидкості вітру:
а) річна функція розподілу швидкості вітру;
б) функція розподілу швидкості вітру за сезонами: 1 - весна; 2 - зима ; 3 - осінь; 4 – літо.

При цьому річна функція розподілу енергії вітру має максимум при $u=4$ м/с, як видно з рис.2а, тобто при швидкості вітру в 2 рази більше від найбільш вірогідної. Розподіл сумарної функції енергії вітру за сезонами показує, що найбільші потужності для виробництва вітрової енергії можливі взимку та восени, що представлено на рис. 2б.

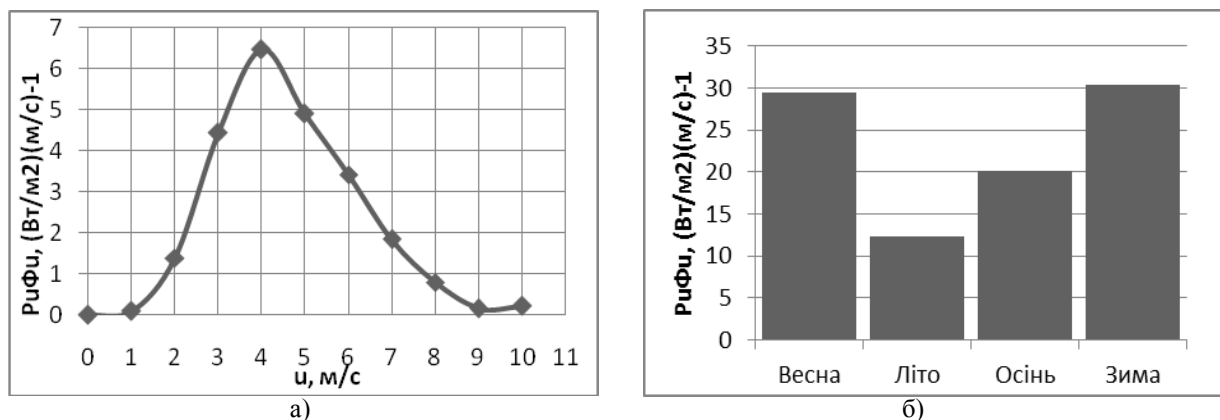


Рис.2 Розподіл енергії вітру:
а) функція розподілу енергії вітру від його швидкості;
б) сумарне значення функції розподілу енергії вітру за сезонами.

При вивченні повторюваності швидкостей вітру необхідно мати на увазі, що з енергетичної точки зору також важливо знати значення питомої потужності швидкості вітру. Потужність вітрового потоку одиничного перерізу (питома потужність) визначається, як:

$$P_0 = \left(\frac{1}{2}\right) \rho u^3. \quad (6)$$

За результатами табл.1 визначена очікувана питома потужність і побудований графік (рис. 3а).

На рис. 3б представлено порівняння графіків диференціального розподілу та функція ймовірності розподілу Вейбула. З рисунку видно, що максимальне значення ймовірності розподілу швидкості за функцією Вейбулла відповідає швидкості вітру 2 м/с, а за диференціальним розподілом - 2,25 м/с, однак при швидкостях 5-10 м/с розподіл Вейбулла має більші значення вірогідності повторення, що дає значну розбіжність кривих залежності питомої потужності від ймовірності повторення швидкості вітру, які

наведені на рис. 3а. Дана розбіжність має суттєвий вплив на вибір потужності вітрогенератора та прийняття інших технологічних рішень щодо роботи електросистеми. Вона зумовлена використанням емпіричних формул та коефіцієнтів.

Правильне встановлення напрямків вітру відіграє важливу роль у визначенні оптимального розташування вітроустановок на місцевості. Повторюваність напрямків вітру показує, яку частину часу протягом аналізованого періоду дули вітри того чи іншого напрямку.

Більш детальне вивчення напрямків вітру по 16 напрямкам із урахуванням не тільки повторюваності напрямків, а і середніх швидкостей вітру та найбільш ймовірного його повторення по кожному напрямку, дозволило уточнити загальну картину.

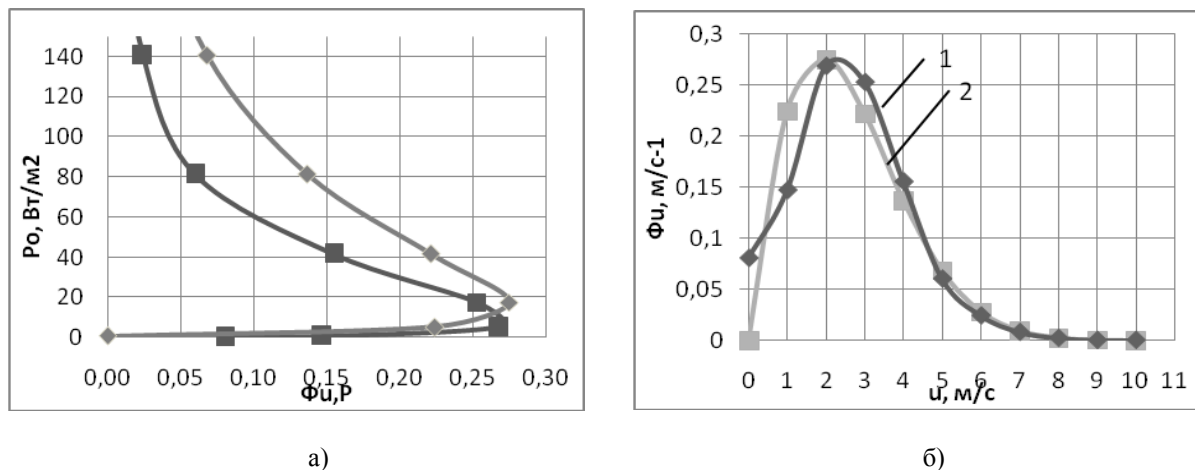


Рис. 3 Характеристики вітру:
 а) залежність питомої потужності від повторюваності швидкості вітру;
 б) функція розподілу повторюваності швидкості вітру;
 1 – диференціальний розподіл; 2 - розподіл за функцією Вейбулла.

Роза повторюваності напрямків вітру у 2013 році у м. Києві зображена на рис. 4а. З даного рисунка видно, що у м. Києві переважними напрямками дії вітрів є з заходу, півночі та півдня. При цьому значення середніх швидкостей за напрямками значно відрізняються від найбільш ймовірних швидкостей для повторення у заданому напрямку, що зображено на рис. 4б.

Аналіз повторюваності напрямків вітру за сезонами (рис. 4в) показав, що відсутність річного домінуючого напрямку дії вітру зумовлено дією вітрів у пріоритетних напрямках протягом сезону. Так, наприклад, влітку переважають вітри, що дмуть з півночі, взимку навпаки – з південного сходу та з заходу, а розподіл восени та весною має аналогічну структуру відповідно, але з меншими значеннями.

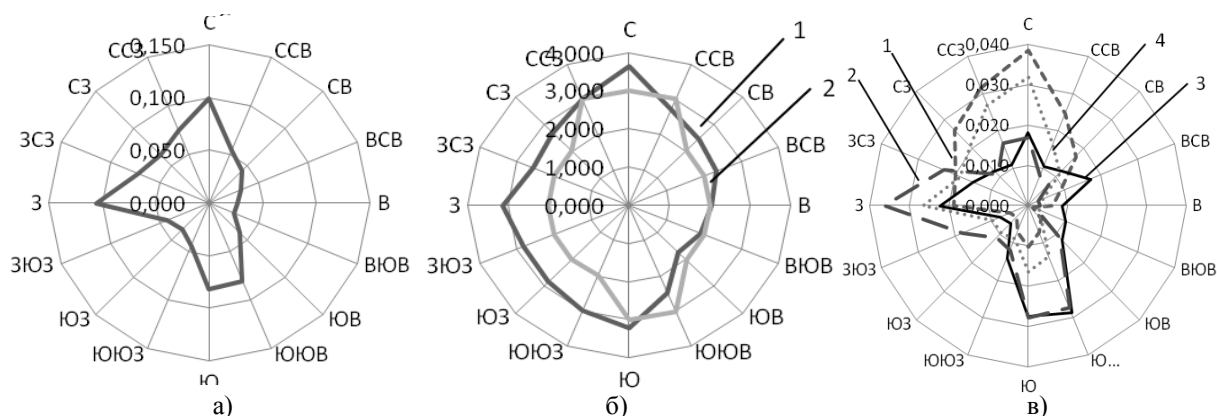


Рис. 4 Роза вітрів для м. Києва:
 а) повторюваність напрямків швидкостей вітру;
 б) 1- середньорічні швидкості за напрямками; 2 - найбільш вірогідні швидкості для повторення у даному напрямку;
 в) повторюваності напрямків вітру за сезонами: 1- літо, 2- зима, 3 – весна, 4- осінь.

Висновки.

За результатами вимірювання швидкості вітру порівняно використання двох методів для визначення ймовірності повторення швидкостей вітру: за диференціальним розподілом та функцією розподілу Вейбулла, побудовано графіки функцій енергії вітру, графік залежності питомої потужності від повторюваності швидкості вітру, побудована роза вітрів та визначена ймовірність швидкості вітру за сторонами світу та сезонами.

Домінуючими напрямками вітру для м. Києва у 2013 році були північ-влітку та захід та південний схід узимку. Переважними річними напрямками вітру є південь з ймовірністю 0,08, північ та захід з ймовірністю 0,1. При цьому найбільш ймовірна швидкість вітру у південному напрямку становить 3 м/с, у північному - 3 м/с, а у західному - 2 м/с.

Отримані дані можуть бути використанні при виборі місця встановлення, потужності, орієнтації і висоти встановлення вітроагрегату.

Список літератури

1. Вісник Брестського державного технічного університету. 2013. № 2. Міхалічева Е.А., Трифонов А.Г. Екологічні аспекти будівництва і експлуатації вітроенергетичних станцій.
2. www.rp5.ua
3. Твайделл Дж., Уейр А. Відновлювані джерела енергії. Пер. з англ. - М.: Енергоатоміздат, 1990. - 392 с.

N.O. Kostohrizova, V.V. Dubrovskaya, V.I. Shklyar

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

STATISTICAL ANALYSIS OF THE RESULTS OF MEASUREMENT OF WIND SPEEDS

One way of research activity in the wind's energy field is correct assessing of wind's energy potential. Today is increasing the necessity of identifying the most perspective places for generate wind electricity, considering main feature of wind power - the unevenness of manifestation in time and space, which based on the frequency and direction repetition of wind.

Objective of the study is determination the repeatability of wind speed and direction, which based on measurement of wind speed in Kyiv in 2013. Was performed a statistical analysis of wind speed measurements in Kiev using a differential distribution and Weibull statistical function. Were established preferred directions of the wind during the year and seasons. Was performed relation between power density production of wind energy and wind speed recurrence. The predominant wind directions for Kyiv in 2013 were north and west in the summer and southeast in winter. Dominant annual wind direction is south with probability 0.08, north and west with probability 0.1. The most probable wind speed for southerly direction is 3 m / s, for the north - 3 m / s, and for West - 2 m / s.

Keywords: Weibull distribution function, probability density repetition of velocity distribution, function of wind power.

1. Bulletin of the Brest State Technical University. 2013. № 2. Mihalycheva EA, AG Trifonov Environmental aspects of construction and operation vetroenerheticheskikh stations.
2. Www.rp5.ua
3. J.W. Twidell, A.D. Weir Renewable Energy Resources. Per. from English. - Moscow: Enerhoatomizdat, 1990. - 392 p.

УДК 621.548

Н.А.Костогризова; В.В.Дубровская, канд. техн. наук, доцент;

В.И.Шкляр, канд. техн. наук, доцент

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА

Проведен статистический анализ измерений скорости ветра в г. Киеве с помощью дифференциального распределения и статистической функции Вейбулла. Установлены преимущественные направления движения ветра в течение года и по сезонам. Определена зависимость удельной мощности выработки ветровой энергии от повторяемости скорости ветра.

Ключевые слова: функция распределения Вейбулла, плотность вероятности повторения скорости, функция распределения энергии ветра.