

Оцінка рівня енергії вітрового потоку за супровідними даними

Яременко^f М. К., ORCID [0000-0001-8782-1642](https://orcid.org/0000-0001-8782-1642)

Клен^s К. С., к.т.н., ORCID [0000-0002-6674-8332](https://orcid.org/0000-0002-6674-8332)

Кафедра промислової електроніки kaf-pe.kpi.ua

Факультет електроніки fel.kpi.ua

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» kpi.ua

Київ, Україна

Анотація—У статті наведено методику оцінки рівня енергії вітрового потоку за супровідними даними. Проведено розрахунок матриці коефіцієнтів кореляції Пірсона для таких метеоданих, як швидкість вітру, температура повітря, тиск на рівні моря. Проведено оцінку значущості коефіцієнтів кореляції за критерієм Стьюдента, з'ясовано, що величина коефіцієнтів кореляції та їх значущість залежать від конкретної реалізації вибірки. Побудовано графіки залежності коефіцієнтів кореляції від часу при різних розмірах вибірки, а також графік залежності коефіцієнта зв'язку між коефіцієнтом кореляції між швидкістю вітру та тиском та коефіцієнтом кореляції між швидкістю вітру та температурою від часу. Проведено оцінку оптимального розміру вибірки спостережень, для якого графіки коефіцієнтів кореляції Пірсона будуть мати такий вигляд, який дозволить прогнозувати подальшу зміну коефіцієнтів. Наведено методику вибору супровідних метеоданих та їх кореляційних функцій для прогнозування на певний інтервал часу. Наведено формули для визначення потужності за відомими значеннями швидкості вітру та рівня енергії за відомою потужністю.

Бібл. 19, рис. 13, табл. 4.

Ключові слова — системи роззосередженої генерації; метеодані; прогнозування; коефіцієнт кореляції; апроксимація; ряд Фур'є

I. Вступ

Розпорядженням від 18 серпня 2017 р. український уряд схвалив Енергетичну стратегію України, яка передбачає, що до 2035 р. частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в енергетичному секторі становитиме 11% [1]. Станом на кінець 2016 р. встановлено 1,1 МВт потужності відновлюваних джерел енергії, яка виробляє близько 1% загальної кількості виділеної електроенергії. Найбільшу частку відновлюваних джерел енергії в Україні складають вітрові електростанції, які у 2016 році виробляли 925 ГВт·год енергії [2]. У зв'язку зі збільшенням кількості встановлених відновлюваних джерел у розосереджених системах зростає потреба у розробці ефективних алгоритмів керування цими системами. Однак особливістю відновлюваних джерел є змінний та імовірнісний характер вихідної потужності. Кількість енергії, що виробляється ВДЕ, залежить від часу доби, швидкості вітру, величини сонячного випромінювання та багатьох інших факторів навколишнього середовища. Застосування принципу невизначеності Гейзенберга до систем розосередженої генерації вказує на необхідність реалізації двох каналів керування системою [3]. Перший канал на базовому інтервалі має забезпечувати необхідний рівень енергії для заряду акумулятора, а другий канал на інтервалі спостереження має забезпечувати необхідний рівень енергії, яку можна отримати від відновлюваних джерел. Відповідно, потрібна система, яка буде здатна враховувати різні

параметри та координувати генерацію та накопичення енергії у системі розосередженої генерації. Ефективна робота системи реалізується шляхом інтелектуального контролю на базовому інтервалі за методом предиктора–коректора [4]. На n -му інтервалі передбачається функція зміни швидкості вітру на $(n+1)$ -му інтервалі, на $(n+1)$ -му інтервалі проводиться корекція прогнозованої моделі та прогнозування на $(n+2)$ -ий інтервал. Таким чином, прогнозування буде відбуватися на інтервал τ , що рівний інтервалу отримання метеоданих (даних про швидкість вітру). У роботі [5] проводилося прогнозування швидкості вітру з використанням апроксимації лінійних функцій на базі функцій Уолша, але таке прогнозування не повторювало форму залежності швидкості вітру від часу і після прогнозування потребувало коригувальних методів; у роботі [6] проводилося прогнозування об'єму енергоспоживання. Метою статті є прогнозування швидкості вітру на основі супровідних даних тиску та температури.

II. МАТРИЦЯ КОЕФІЦІЄНТІВ КОРЕЛЯЦІЇ

Для знаходження наявності лінійної статистичної залежності між значеннями метеоданих скористаємося коефіцієнтом кореляції Пірсона, який знаходиться за такою формулою [7]:



$$k_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

де x_i та y_i – значення величин метеоданих, між якими досліджується статистичний зв'язок, наприклад, швидкість вітру, його напрям, температура повітря, тиск; \bar{x} та \bar{y} – математичні очікування величин у вибірці, n – розмір вибірки.

Враховуючи принцип невизначеності Гейзенберга, розмір вибірки має безпосередній вплив як на її достовірність та відтворюваність, так і на статистичний зв'язок величин у ній та значущість цього зв'язку. Значущість коефіцієнта кореляції будемо оцінювати за допомогою t -критерію Стьюдента [8]:

$$t_{роз} = \frac{k\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-k^2}},$$

де k – коефіцієнт кореляції Пірсона, n – розмір вибірки. Цей критерій може бути застосований для даних з нормальним розподілом. У роботі [9] вказано розглядати розподіл швидкості вітру як нормальний, а у роботі [10] – як Вейбулла. Ці та інші джерела вказують на те, що розподіл може відрізнитися у залежності від регіону. Для м. Київ приймемо, що розподіл є нормальним.

Згідно з цим критерієм, статистичний зв'язок між величинами вважається значущим, якщо розраховане значення $t_{роз}$ більше за табличне $t_{таб}$, і не вважається значущим, якщо розраховане значення менше за табличне. Порівнюючи розраховане і табличне значення, можна з вірогідністю $P = (1 - \alpha) \cdot 100\%$ з імовірністю α стверджувати про існування статистичного взаємозв'язку:

$$\begin{cases} |t_{роз}| < t_{таб} - \text{взаємозв'язок не існує,} \\ |t_{роз}| > t_{таб} - \text{взаємозв'язок існує.} \end{cases}$$

Для виявлення статистичних залежностей між величинами побудуємо матрицю коефіцієнтів кореляції між різними видами метеоданих (табл. 1), кожен стовпчик та рядок якої буде відповідати за окремий вид метеоданих. В якості вихідних даних візьмемо спостереження з метеостанції за 19.02.2019–27.02.2019 у м. Київ [11].

Розрахуємо значення t -критерію Стьюдента (табл. 2).

Для розрахунків покладемо $\alpha = 0,05$, що означає, що 95% вимірних даних входять до заданого довірчого інтервалу та матимуть схожі параметри розподілу, розмір вибірки в 1 день $n = 24$ та кількість степенів свободи (різниця між кількістю спостережень та кількістю використаних параметрів вибірки, у нашому випадку їх 2 – математичне очікування та дисперсія, що фігурують у формулі коефіцієнта

кореляції) $\nu = n - 2 = 22$, при цьому табличне значення критерію буде рівним [12]:

$$t_{таб} = 2,0739.$$

З таблиці 2 видно, що усі коефіцієнти, за винятком головної діагоналі, є значущими, з чого можна зробити висновок, що тією чи іншою мірою взаємозв'язок між усіма видами величин існує.

У зв'язку з випадковим характером руху вітряних мас, кількості одержаного сонячного тепла та інших параметрів значущість коефіцієнтів кореляції величин, що досліджуються, та їхні числові значення можуть змінюватися у залежності від дня спостережень. Це пов'язано з тим, що робиться наближення графіку зміни швидкості вітру у часі лінійними функціями, але навіть з урахуванням цього цей графік не є виключно зростаючим чи спадним та не є періодичним на достатньо великому проміжку часу.

III. ГРАФІКИ ЗМІНИ КОЕФІЦІЄНТІВ КОРЕЛЯЦІЇ

Побудуємо графіки зміни коефіцієнту кореляції для різних пар величин при різних розмірах вибірки. У якості мінімальної візьмемо вибірку розміром 4 та більше, для того, щоб показати зміни у графіках зі зміною розміру вибірки. Тобто вибір мінімального розміру вибірки був виконаний довільно. Для підрахунку коефіцієнта кореляції, що відповідає i -ій годині, будемо використовувати n попередніх спостережень, тим самим формуючи вибірку розміром n , іншими словами, лаг (інтервал зміщення величин) вибраний рівним 1 кроку заміру або 1 годині. Оптимальним вважатимемо такий розмір вибірки, при якому графік буде візуально схожим з графіком уже відомої функції. За необхідністю більш точне порівняння може бути виконано з використанням коефіцієнта нелінійних спотворень або методами категоризації. Графіки будуватимемо, починаючи з деякого моменту спостереження з використанням попередніх спостережень або даних.

ТАБЛИЦЯ 1 МАТРИЦЯ КОЕФІЦІЄНТІВ КОРЕЛЯЦІЇ

	Температура повітря, °C	Тиск на рівні моря, гПа	Швидкість вітру, м/с
Температура повітря, °C	1	-0,4690	0,9262
Тиск на рівні моря, гПа	-0,4690	1	-0,6612
Швидкість вітру, м/с	0,9262	-0,6612	1

ТАБЛИЦЯ 2 РОЗРАХОВАНІ ЗНАЧЕННЯ t -КРИТЕРІЮ СТЬЮДЕНТА

	Температура повітря, °C	Тиск на рівні моря, гПа	Швидкість вітру, м/с
Температура повітря, °C	–	-2,4905	11,5214
Тиск на рівні моря, гПа	-2,4905	–	-4,1334
Швидкість вітру, м/с	11,5214	-4,1334	–



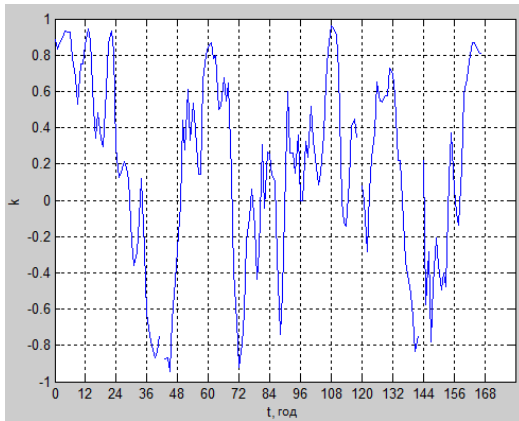


Рис. 1. Коефіцієнт кореляції між швидкістю вітру та температурою, розмір вибірки 8.

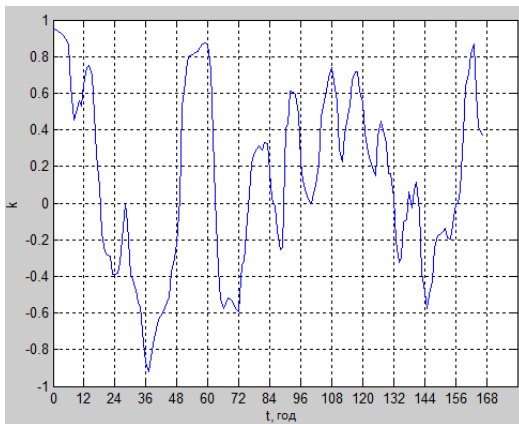


Рис. 2. Коефіцієнт кореляції між швидкістю вітру та температурою, розмір вибірки 16.

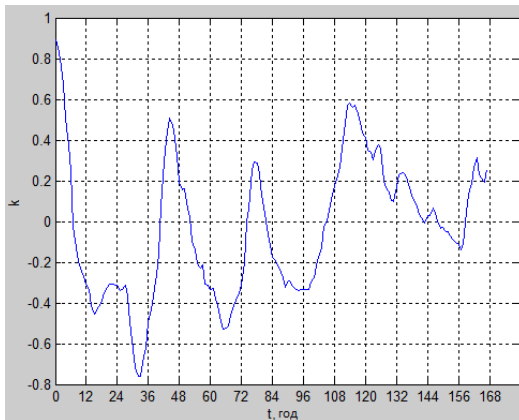


Рис. 3. Коефіцієнт кореляції між швидкістю вітру та температурою від часу, розмір вибірки 32.

На рис. 1–3 зображено залежність коефіцієнта кореляції між температурою та швидкістю вітру від часу з розміром вибірки 8, 16 та 32, оптимальними вибірки розміром 24–38. Розміри вибірки були вибрані довільно, щоб показати зміну у графіках коефіцієнтів кореляції.

Розміри вибірок були взяті таким чином, щоб показати випадок з графіком, схожим на шум (рис. 1), з наближенням до гармонічного характером залежності (рис. 2) та з таким, що з подальшим збільшенням

розміру вибірки стає менше схожим на синусоїдальний. Виконавши візуальний аналіз, оптимальними було вибрано розміри вибірки 14–20. На рисунках наведено графіки лише з окремими розмірами вибірки.

На рис. 4. зображено залежність коефіцієнта кореляції між температурою та тиском від часу з розміром вибірки 32, оптимальними є вибірки розміром 24–38.

На рис. 5. зображено залежність коефіцієнта кореляції між швидкістю вітру та тиском від часу з розміром вибірки 16, оптимальними є вибірки розміром 14–18.

Дослідимо нормовані кореляційні функції даних швидкості вітру, тиску та температури, узятих зі зсувом (надалі – нормовані кореляційні функції), формула яких матиме вигляд [13]:

$$k_{xx}(t) = \frac{\sum_{i=t+1}^n (x_i - \bar{x}_{1t})(x_{i-t} - \bar{x}_{2t})}{\sqrt{\sum_{i=t+1}^n (x_i - \bar{x}_{1t})^2 \sum_{i=t+1}^n (x_{i-t} - \bar{x}_{2t})^2}},$$

$$\bar{x}_{1t} = \frac{\sum_{i=t+1}^n x_i}{n-t}, \quad \bar{x}_{2t} = \frac{\sum_{i=t+1}^n x_{i-t}}{n-t}, \quad t - \text{лаг (зсув)}.$$

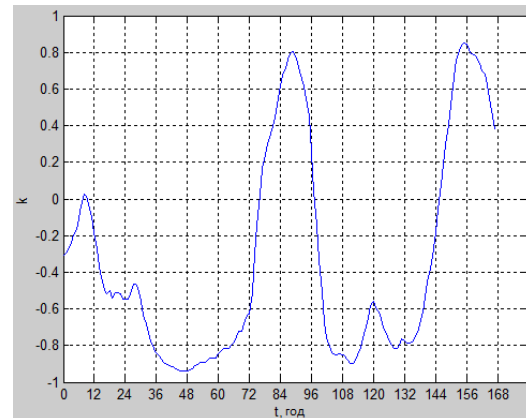


Рис. 4. Коефіцієнт кореляції між температурою та тиском від часу, розмір вибірки 32.

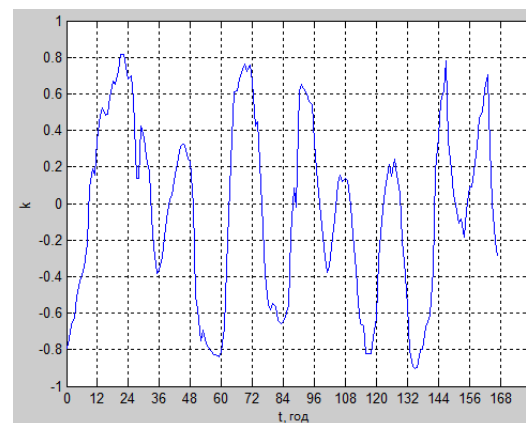


Рис. 5. Коефіцієнт кореляції між швидкістю вітру та тиском від часу, розмір вибірки 16.

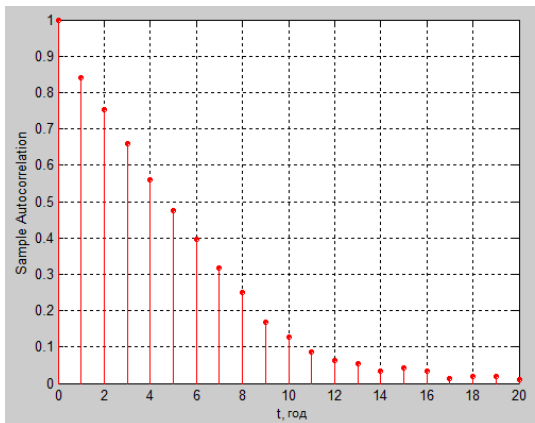


Рис. 6. Нормована кореляційна функція даних швидкості вітру.

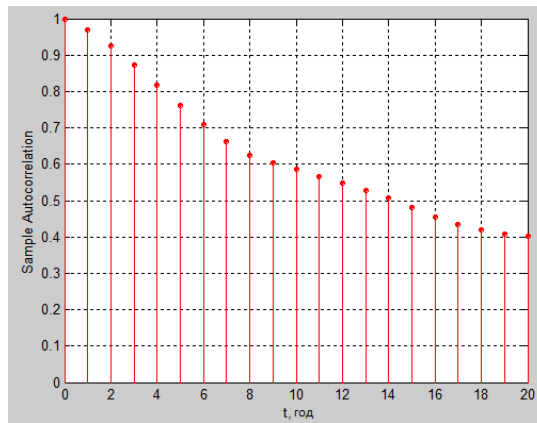


Рис. 8. Нормована кореляційна функція даних температури.

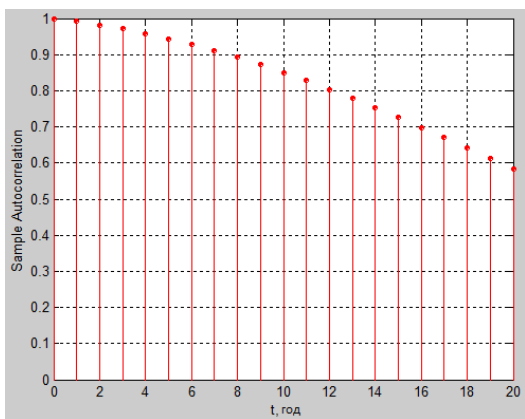


Рис. 7. Нормована кореляційна функція даних тиску.

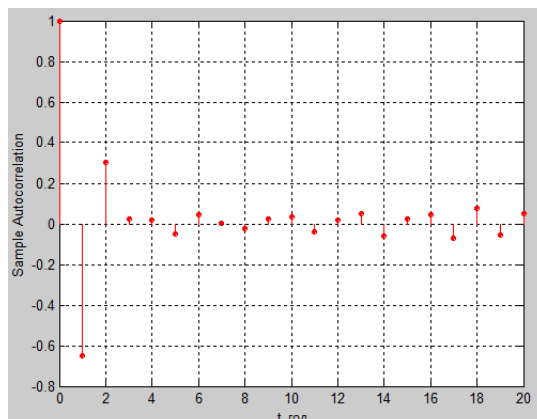


Рис. 9. Нормована кореляційна функція нестационарного часового ряду з нормальним розподілом.

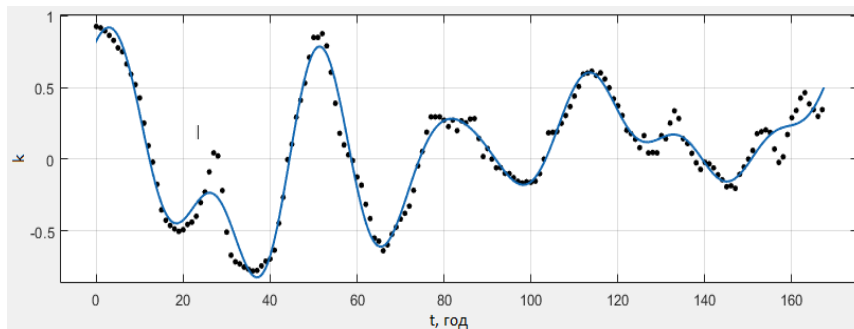


Рис. 10. Апроксимація коефіцієнта кореляції між швидкістю вітру та температурою рядом Фур'є з 8 гармоніками.

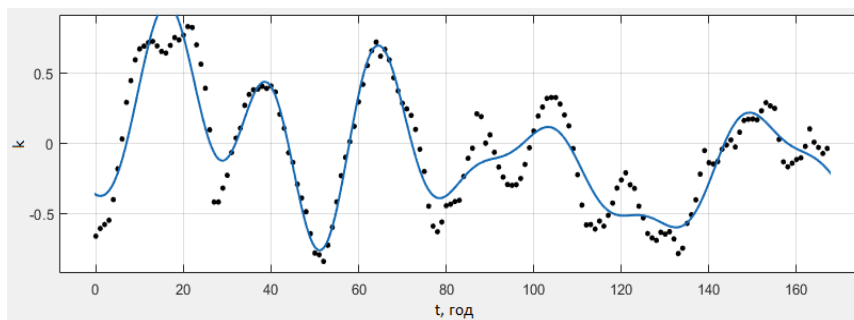


Рис. 11. Апроксимація коефіцієнта кореляції між швидкістю вітру та тиском рядом Фур'є з 8 гармоніками.

Нормована кореляційна функція для швидкості вітру, наприклад, матиме наступний вигляд наведеної на рис. 6.

А для тиску та температури матиме вигляд, наведений на рис. 7 та рис. 8.

Згідно з [14], випадковий нестационарний часовий ряд з нормальним розподілом може мати вигляд нормованої кореляційної функції, представлений на рис. 9.

Нормована кореляційна функція стаціонарного часового ряду повинна зі збільшенням лагу спадати до нуля за експоненціальним законом, причому не відразу, на відміну від нестационарного часового ряду [15] (рис. 10). Припускаючи, що часові ряди швидкості вітру, тиску та температури є стаціонарними, отримуємо, що їх імовірнісні характеристики не змінюються у часі.

Апроксимуємо кореляційні функції між швидкістю вітру та температурою та між швидкістю вітру та тиском рядом Фур'є [16]:

$$f(x) = A_0 + \sum_i (A_i \cos(i \cdot xw) + B_i \sin(i \cdot xw))$$

де $f(x)$ – величина, що буде апроксимована, x – незалежна змінна (час), w – частота першої гармоніки ряду Фур'є, i – номер гармоніки.

Апроксимацію будемо проводити з використанням Curve Fitting Toolbox [17] — середовища MATLAB® для тих графіків, які мають найкраще наближення до гармонічного. Вибір таких графіків може бути здійснений, виходячи з, наприклад, коефіцієнта нелінійних спотворень. Результати апроксимації наведені на рис. 10 та 11.

Амплітуди гармонік ряду Фур'є кореляційної функції між швидкістю вітру та температурою наведені у табл. 3 ($w_1 = 0,037 \frac{1}{20d}$).

Амплітуди гармонік ряду Фур'є апроксимованої кореляційної функції між швидкістю вітру та тиском наведені у табл. 4 ($w_2 = 0,036 \frac{1}{20d}$).

Таблиця 3 Амплітуди гармонік ряду Фур'є кореляційної функції між швидкістю вітру та температурою

i	0	1	2	3	4
A_i	0,073	0,049	0,129	0,309	0,198
B_i	–	-0,190	-0,023	-0,026	0,066
i	5	6	7	8	
A_i	-0,139	0,165	0,083	-0,041	
B_i	0,100	-0,163	0,135	0,150	

Таблиця 4 Амплітуди гармонік ряду Фур'є кореляційної функції між швидкістю вітру та тиском

i	0	1	2	3	4
A_i	-0,047	0,115	0,123	-0,093	-0,308
B_i	–	0,216	0,073	0,035	0,059
i	5	6	7	8	
A_i	0,032	-0,144	-0,150	0,105	
B_i	0,018	0,156	-0,140	-0,149	

Для апроксимацій 2-х різних функцій, виконаних окремо, отримано 2 близьких значення частот гармонік ряду Фур'є.

На рис. 12 наведено графік часової залежності коефіцієнта зв'язку між коефіцієнтом кореляції швидкості вітру та часу і коефіцієнтом кореляції тиску та швидкості вітру, з якого видно, що він протягом всього інтервалу спостереження близький до 1, що говорить про те, що значення зв'язані між собою приблизно лінійною залежністю. Для його побудови були взяті апроксимовані значення рис. 10 та рис. 11. З цих значень утворено вибірки та за формулою (1) знайдено коефіцієнти зв'язку між ними, тобто замість x підставлялося значення коефіцієнта кореляції між швидкістю вітру та температурою, а замість y – значення коефіцієнта кореляції між швидкістю вітру та тиском, розмір вибірки при цьому був рівний 24.

Прогнозування може бути проведено наступним чином: у точках, де коефіцієнт кореляції на рис. 10 та 11 має значущі значення 0,5 або вище [18], апроксимовані графіки екстраполюються на заданий час вперед, після чого отримується 2 екстрапольованих значення коефіцієнту кореляції – між швидкістю вітру та тиском та між швидкістю вітру та температурою, і швидкість вітру підбирається з заданою точністю таким чином, щоб отримати екстрапольовані коефіцієнти кореляції.

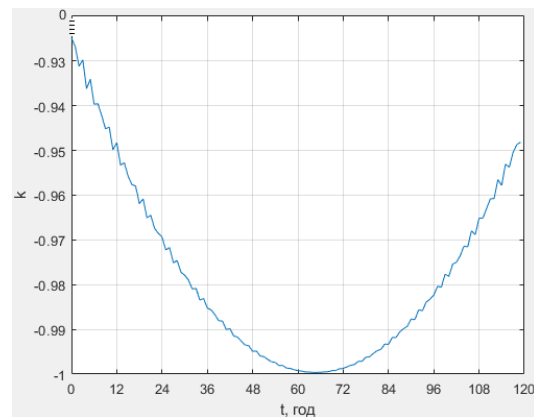


Рис. 12. Графік коефіцієнта зв'язку між коефіцієнтом кореляції швидкості вітру та коефіцієнтом кореляції швидкості вітру та тиску від часу.

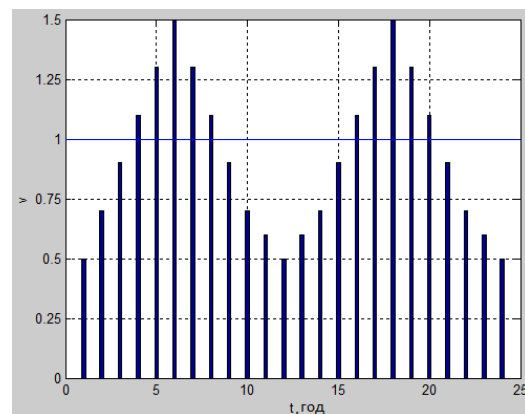


Рис. 13. Графік швидкості вітру, віднормований відносно середнього значення.

Виходячи з формули знаходження потужності вітроустановки [19], згідно з якою:

$$P = C_p \cdot \frac{\rho v^3}{2} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \eta_{ген} \cdot \eta_{мп}$$

де v – швидкість вітру, C_p – коефіцієнт використання енергії вітру, ρ – щільність повітря, D – діаметр вітроколеса, $\eta_{ген}$ – ККД генератора, $\eta_{мп}$ – ККД трансмісії. Тобто, $P \sim v^3$. Пам'ятаючи, що енергія $E = P \cdot t$, можна дізнатися очікувану кількість отриманої енергії, причому при переході від середнього значення швидкості вітру $\frac{0,5+1,5}{2} = 1$ (рис. 13) до середнього значення отриманої енергії отримаємо $\frac{0,5^3+1,5^3}{2} = 1,75$ відносно середнього значення, тобто нормування не зберігається.

Даний підхід передбачає вибір конкретних супровідних метеоданих на певний інтервал прогнозування τ , коефіцієнт кореляції швидкості вітру з якими на даному інтервалі може вважатися значущим, буде достатньо високим та може бути виконаний у вигляді цифрової схеми або у вигляді програмного забезпечення для мікроконтролера.

ВИСНОВКИ

У даній статті досліджено характер залежності коефіцієнтів кореляції метеоданих від часу та з'ясовано, що найменш випадковий характер у загальному випадку спостерігається при кількості спостережень 14–18 або 28–38, тому для покращення результатів прогнозування необхідно обирати розмір вибірки метеоданих з даного інтервалу. Представлено методику вибору метеоданих та конкретних інтервалів кореляційних функцій, на яких можна проводити прогнозування швидкості вітру, та побудовано графіки залежностей між коефіцієнтом кореляції швидкості вітру та коефіцієнтом кореляції швидкості вітру та тиску. Перевагою запропонованої методики є те, що для прогнозування рівня енергії вітрогенератора не потрібно встановлювати анемометр, що містить рухомі частини, а розрахунок проводиться за супровідними даними.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] “Ostap Semerak: Ukrayina zobov'yazalasya do 11% zbil'shyty chastku vidnovlyuvanoi energetyky do 2035 roku [Ostap Semerak: Ukraine pledged to increase its share of renewable energy by 11% by 2035].” [Online]. Available: <https://www.kmu.gov.ua/ua/news/ostap-semerak-ukrayina-zobov'yazalasya-do-11-zbilshiti-chastku-vidnovlyuvanoi-energetiki-do-2035-roku>. [Accessed: 17-Feb-2019].
- [2] “Rozvytok vidnovlyuvanykh dzherel energiyi v Ukraini [Development of renewable energy sources in Ukraine].” 2017. [Online]. Available: <http://energymagazine.com.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukrai-ni.pdf>. [Accessed: 07- Feb -2019].
- [3] K. S. Osypenko and V. Y. Zhuikov, “The evaluation of fractal dimension and transfer function of the clouds,” *Microsystems, Electron. Acoust.*, vol. 22, no. 5, pp. 13–19, Dec. 2017, DOI: [10.20535/2523-4455.2017.22.5.106578](https://doi.org/10.20535/2523-4455.2017.22.5.106578).
- [4] Butcher J. C., *Numerical Methods for Ordinary Differential Equations*. New York: John Wiley & Sons, 2003, ISBN: 978-0-470-72335-7.
- [5] Kateryna Osypenko, *Prediction and approximation of the primary energy flow*: Wroclaw, 2018, URL: http://gpw.pwr.edu.pl/lista_referatow/
- [6] “Forecasting power consumption based on source information,” *Bull. South Ural State Univ. Ser. "Power Eng.*, vol. 16, no. 2, pp. 59–65, 2016, DOI: [10.14529/power160208](https://doi.org/10.14529/power160208).
- [7] E. Elyseeva and M. Yuzbashev, *Obshhaya teoriya statystyky [General theory of statistics]*, 3rd ed. Moscow: Fynansy y statystyka, 2008, ISBN: 5279018333.
- [8] A. Saveleva and N. Chernenko, “Proverka znachimosti dlya koefficienta korelyatsii [Significance test for correlation coefficient],” 2018. [Online]. Available: <https://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=18221>. [Accessed: 07- Feb -2019].
- [9] V. Kalinin, K. Nabatov, A. Shuvalov, and A. Kobelev, “O vozmozhnostiakh ispolzovaniia alternativnykh istochnikov energii [About the possibilities of using alternative energy sources],” *Vestn. TGTU*, vol. 9, pp. 450–456, 2003, URL: http://vestnik.tstu.ru/rus/t_9/pdf/9_3_010.pdf.
- [10] V. Elistratov, *Ispolzovanie vozobnovliaemoi energii [Use of renewable energy]*. Sankt-Peterburg: Izdatelstvo Politekhicheskogo universiteta, 2008.
- [11] “Grafik elementov pogody. Belgidromet [Graph of weather elements. Belhydromet].” [Online]. Available: <http://pogoda.by/meteograph/UKBB>. [Accessed: 07-Apr-2019].
- [12] Student, “The Probable Error of a Mean,” *Biometrika*, vol. 6, no. 1, p. 1, Mar. 1908, DOI: [10.2307/2331554](https://doi.org/10.2307/2331554).
- [13] K. Kas'yan and M. Kas'yan, *Programa, metody chni vkazivky ta kontrol'ni zavdannya z dy'sey pliny "Komp'yuterna texnika v naukovy'x doslidzhennyax" dlya studentiv special'nostej 7(8).05010201 "Komp'yuterni sy'stemy ta merezhi", 7(8).05010203 "Specializovani komp'yuterni sy'stemy". Zaporizhzhya: ZNTU, 2015, URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/433/1/Metod_KTvND_2015zao.pdf*.
- [14] “Korrelyaciya i svertka [Correlation and convolution].” [Online]. Available: <http://www.williamspublishing.com/PDF/5-8459-0710-1/part.pdf>. [Accessed: 17- Feb -2019].
- [15] Box, G. E. P., G. M. Jenkins, and G. C. Reinsel. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. 3rd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1994.
- [16] P. T. Avdyeyeva and O. Kachayenko, *Ryady Furye. Prakty'kum [Fourier series. Practical work]*. Kyiv, 2016.
- [17] “Fit curves and surfaces to data - MATLAB.” [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/curvefit/curvefitting-app.html>. [Accessed: 07- Feb -2019].
- [18] “Koefficient korelyatsiyi Pirsona [Pearson correlation coefficient].” [Online]. Available: https://uk.wikipedia.org/wiki/Коефіцієнт_кореляції_Пірсона. [Accessed: 21-Mar-2019].
- [19] V. Krivcov, A. Olejnikov, and A. Yakovlev, *Neischerpaemaya energiya. Vetroelektrogeneratory [Inexhaustible energy. Wind power generators]*. Kharkov: Nacionalnyj aerokosmicheskij universitet «Harkovskij aviacionnyj institut», 2003.

Надійшла до редакції 25 березня 2019 р.



Оценка уровня энергии ветрового потока по сопроводительным данным

Яременко^f М. К., ORCID [0000-0001-8782-1642](https://orcid.org/0000-0001-8782-1642)

Клен^s К. С., к.т.н., ORCID [0000-0002-6674-8332](https://orcid.org/0000-0002-6674-8332)

Кафедра промышленной электроники kaf-pe.kpi.ua

Факультет электроники fel.kpi.ua

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» kpi.ua

Киев, Украина

Аннотация—В статье приведена методика оценки уровня энергии ветрового потока с сопроводительными данными. Проведен расчет матрицы коэффициентов корреляции Пирсона для таких метеоданных, как скорость ветра, температура воздуха, давление на уровне моря. Проведена оценка значимости коэффициентов корреляции по критерию Стьюдента, установлено, что величина коэффициентов корреляции и их значимость зависят от конкретной реализации выборки. Построены графики зависимости коэффициентов корреляции от времени при различных размерах выборки, а также график зависимости коэффициента связи между коэффициентом корреляции между скоростью ветра и давлением и коэффициентом корреляции между скоростью ветра и температурой от времени. Проведена оценка оптимального размера выборки наблюдений, для которого графики коэффициентов корреляции Пирсона будут иметь такой вид, который позволит прогнозировать дальнейшее изменение коэффициентов. Приведена методика выбора сопроводительных метеоданных и их корреляционных функций для прогнозирования на определенный интервал времени. Приведены формулы для определения мощности по известным значениям скорости ветра и уровня энергии по известной мощности.

Библ. 19, рис. 13, табл. 4.

Ключевые слова — системы распределенной генерации; метеоданные; прогнозирование; коэффициент корреляции; аппроксимация; ряд Фурье

UDC 621.314

Estimation of the Energy Level of the Wind Stream for the Accompanying Data

M. K. Yaremenko^f, ORCID [0000-0001-8782-1642](https://orcid.org/0000-0001-8782-1642)

K. S. Klen^s, PhD, ORCID [0000-0002-6674-8332](https://orcid.org/0000-0002-6674-8332)

Department of Industrial Electronics kaf-pe.kpi.ua

Faculty of Electronics fel.kpi.ua

National technical university of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute» kpi.ua

Kyiv, Ukraine

Abstract—In the article the matrix of Pearson correlation coefficients for wind speed, air temperature, pressure at sea level and time on meteorological data taken from 19–02–2019—27–02–2019 in Kyiv was calculated. The matrix was calculated for the size of the sample equal to 24. The significance of the coefficients according to Student's *t*-criterion was determined, that the value of the correlation coefficients and their significance depend on the concrete sample. It is concluded that due to the stochastic nature of the wind mass movement, the amount of solar heat received and other parameters, the significance of the correlation coefficients of the investigated values and their magnitude may vary depending on the time and day of observations. Graphs of changes in correlation coefficients between wind speed and time, between wind speed and pressure, between wind speed and temperature, between temperature and pressure, depending on the number of observations, have been constructed, the character of the change and the required minimum number of observations have been found. Near Fourier with 7–8 harmonics, graphs of functions of correlation coefficients between wind speed and time, between wind speed and pressure using the MATLAB[®] Curve Fitting Toolbox application are approximated. The number of harmonics was chosen with the best approximation of the approximated graph to the original. According to the approximated graphs, a graph of correlation coefficient correlation between the coefficient of correlation of wind speed and the coefficient of correlation of wind speed and pressure was constructed.

The obtained results show that the nature of the correlation coefficients between the coefficient of correlation of wind speed and time and the correlation coefficient between pressure and wind speed allows predicting the values of these meteorological data.

Ref. 19, fig. 13, tabl. 4.

Keywords — systems of distributed generation; weather data; forecasting; correlation coefficient; approximation; Fourier series

