

## СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ ВІТРОВОЇ ТА СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Лисенко О.В., Назаренко І.П.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

*У статті проведений статистичний аналіз потенціалу спільної роботи вітрової та сонячної електростанцій за даним річних записів швидкості вітру та сонячної інсоляції, що отримані у 2016 році в суміжних районах Запорізької області.*

**Постановка проблеми.** Зараз в усьому світі вітроелектрогенератори та фотоелектричні системи (ФЕС) є найбільш швидко зростаючими за кількістю та загальною потужністю джерелами відновлюваної енергії. Проте чи не найголовнішим їх недоліком лишається нестабільність генерації під впливом сезонних та метеорологічних факторів. Останні є джерелами коливань потужності тривалістю від кількох діб до кількох хвилин, що негативно впливають на роботу енергосистем так як істотна електричної енергії.

Оптимізація роботи енергетичної системи при збільшенні об'єму генерації ВДЕ є однією з пріоритетних задач. Та для нівелювання вірогідного характеру генерації ВДЕ потрібно: створення системи прогнозування генерації електроенергії; впровадження використання акумуляторів для балансування енергетичної системи.

В більшості робіт при статистичному аналізі наявних метеорологічних даних та розробці за ними математичних моделей прогнозування генерації є як правило використовують середньоденні, а в деяких дослідженнях середньомісячні значення сонячної радіації, що може негативно впливати на точність прогнозування

**Аналіз останніх досліджень.** Протягом останніх 4 років в Україні спостерігається поступове зростання встановлених потужностей ВДЕ, але складна економічна ситуація в країні не сприяла досягненню цілей, прийнятих у Національному плані дій з відновлюваної енергетики, по досягненню 11% частки ВДЕ у енергоспоживанні. Станом на кінець 2016 року встановлено 1 117 МВт потужностей ВДЕ, які виробляють близько 1% у загальному обсязі відпущеної електроенергії. Найбільшу частку серед ВДЕ в Україні займають вітрові та сонячні електростанції, на яких у 2016 році було вироблено 925 ГВт\*год та 492 ГВт\*год електроенергії відповідно. [1].

Аналізу спостережень метеорологічних показників та оцінці вітрового та сонячного потенціалу території України в цілому присвячено ряд робіт вітчизняних фахівців. Але вивчення особливостей вітрового та сонячного потенціалу та як наслідок їх енергетичних показників окремих регіонів України майже не проводилося.

**Мета статті.** Провести статистичний аналіз потенціалу спільної роботи вітрової та сонячної електростанцій за даним річних записів швидкості вітру та сонячної інсоляції, що отримані у 2016 році в суміжних районах Запорізької області.

**Основні матеріали дослідження.** Автором була опублікована серія робіт [2-5], в яких був проведений статистичний аналіз окремо вітрового потоку та сонячної інсоляції.

При проведенні подальшого статистичного аналізу сумарної потужності вітро- та фотоелектричних станцій в умовах даного регіону будемо вважати ці дані суміщеними в часі та просторі. В подальшому ці дані можна використати для оцінки стохастичних параметрів, побудови математичної моделі та імітаційного моделювання різних конфігурацій генеруючих та споживчих потужностей.

Для зручності подальших розрахунків щодо сумарної дії вітрової та сонячної енергії можна значення швидкості вітру та сонячної радіації нормувати за допомогою відповідних величин номінальної потужності вітроелектричних установок (ВЕУ) та фотомодулів (ФМ). Тоді показником вітрової енергії можна вважати величину

$$k_w = P(v)/P_n,$$

де  $P(v)$  – поточна потужність ВЕУ в залежності від швидкості вітру  $v$ ;

$P_n$  – номінальна потужність ВЕУ.

Аналогічно задається показник для сонячної енергії

$$k_s = P(\rho)/P_n$$

де  $P(\rho)$  – поточна потужність ФМ  $P(\rho)$  в залежності від  $\rho$  – рівня сонячної радіації.

При такому підході суттєвими є енергетичні характеристики ВЕУ та ФМ. Для визначеності використано досить типові характеристики, що можуть бути поширені на вживані в даний час типи установок.

Для сумарної потужності ВЕС та СЕС можна використовувати приведені показники відносної потужності

$$k_{\Sigma} = \alpha_1 \cdot k_w + \alpha_2 \cdot k_s,$$

де  $\alpha_i$  – вагові коефіцієнти, пропорційні номінальним потужностям відповідних станцій.

Для коректності порівняння різних конфігурацій системи «вітер-сонце» доцільно прийняти  $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ . Для переходу від відносної потужності до абсолютної можна помножити її на сумарну номінальну.

Слід зазначити, що для ФМ коректніше множити відносний показник на площу (чи кількість) модулів та пікову потужність 1 м<sup>2</sup> (чи модуля) при даних погодних умовах, враховуючи відмінність від стандартного значення за допомогою вагового коефіцієнта. Результати співпадуть зі спрощеним підходом, якщо номінальна потужність вказана саме для цих погодних умов (розробники, як правило, вказують потуж-

ність окремо для спеціальних та деяких стандартних погодних умов).

Для врахування залежності потужності ФМ від зовнішньої температури можна вважати ККД рівним 18% взимку, 16% влітку, 17% у міжсезоння.

Математична модель роботи системи «вітер-сонце-споживач» передбачає представлення поточної потужності вітрових та сонячних установок у вигляді випадкових процесів. Особливістю моделювання є врахування таких параметрів, як максимальні, середні та мінімальні досяжні значення потужності, характер розподілу випадкових значень, тобто імовірність певних режимів, а також імовірні темп та амплітуда коливань поточних значень в режимі реального часу. При складанні потужностей як випадкових величин враховуємо, що математичне сподівання рівне сумі середніх значень, а дисперсія – сумі дисперсій плюс коваріація, тобто при визначенні варіативності суми враховується кореляція доданків.

Для врахування фактора сезонності розглядаємо окремі місяці – січень, квітень, липень та жовтень, як середини відповідних пір року. Наведемо деякі результати синхронного поєднання фактичних даних щодо швидкості вітру (потужності ВЕУ) та рівня інсоляції (потужності ФМ).

Розглянемо сумарну відносну потужність однакових за номінальною потужністю ВЕС та СЕС ( $\alpha_1=\alpha_2=0,5$ ). Середня потужність, середньоквадратичне відхилення (СКВ) та інші показники наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Осереднені показники потужності ФМ та ВЕУ, у.о. ( $\alpha_1=\alpha_2=0,5$ ).

параметр	станція	Січ.	Квіт.	Лип.	Жовт.
Середня потужність	ВЕС	0,41	0,44	0,28	0,56
	ФМ	0,17	0,33	0,38	0,26
	сумарна	0,24	0,32	0,26	0,35
СКВ	ВЕС	0,33	0,36	0,27	0,37
	ФМ	0,22	0,28	0,28	0,25
	сумарна	0,17	0,21	0,19	0,21
Кореляція ВЕУ та ФМ	сумарна	-0,28	-0,08	-0,05	-0,15
Вироблена енергія	ВЕС	305	320	208	430
	ФМ	53	135	172	90
	сумарна	179	228	190	260
Максимум	сумарна	0,76	1,0	0,89	0,87

Порівняно високі показники використання встановленої потужності обумовлені наступними факторами: рівень інсоляції визначено за умови оптимального орієнтування фотомодулів, а вітер визначено для висоти близько 100 м. Зауважимо, що середнє значення сумарної потужності не співпадає з півсумою потужностей ВЕУ та ФМ, оскільки осереднення по ФМ ведеться тільки впродовж світлового часу, а вітру та сумарної потужності – впродовж усієї доби. Сумарна вироблена енергія дорівнює сумі енергій, отриманих ВЕУ та ФМ, але розкид значень (тобто СКВ) при складанні двох випадкових величин помітно зменшується. Цьому сприяє також від'ємність коефіцієнта кореляції, хоча загалом ці величини можна вважати слабо корельованими або ж незалежними. Щоправда, взимку кореляція дещо помітніша – більше сонячних днів приходить на безвітряну погоду.

**Висновок.** Розглянуті характеристики поведінки потужностей електростанцій на базі сонячної та вітрової енергії, отримані з фактичних метеоданих, надалі можуть бути використані як тестові при розробці математичної моделі роботи сумісної вітро-сонячної станції. Така модель необхідна для оптимального вибору розмірів генеруючих та акумулюючих потужностей відповідно до режимів споживання енергії, для розрахунку показників надійності забезпечення енергією, тощо.

#### Список використаних джерел.

1. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні. Звіт підготовлено в рамках проекту «Секретаріат та Експертний хаб з енергоефективності», що впроваджується Програмою розвитку ООН в Україні за підтримки Уряду Республіки Словачія та сприяння Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарств в Україні – березень 2017.
2. Кузнецов М.П., Лисенко О.В. Оцінка градієнтів генеруючої потужності вітроенергетичних установок Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ, 2017. - Вип. 7, Т. 1 с. 3-10
3. Кузнецов М. П., Лисенко О. В. Оцінка характеристик вітрового режиму півдня України для потреб вітроенергетики //Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2017. – №. 261.
4. Кузнецов Н. П., Лысенко О. В. Вероятностные аспекты использования возобновляемых источников энергии на пустыющих и непригодных для сельского хозяйства территориях //International Scientific and Practical Conference World science. – ROST, 2017. – Т. 2. – №. 7. – С. 45-51.
5. Кузнецов М. П., Лисенко О. В. Статистический анализ энергетических показателей солнечной радиации (на примере данных Токмакской солнечной электростанции) // "Проблемы региональной энергетики" Электронный ресурс №2(34)2017 Академия наук республики Молдова, Институт энергетики.

#### Анотація

### СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ ВІТРОВОЇ ТА СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Лисенко О.В., Назаренко І.П.

*В статті проведено статистичний аналіз потенціала спільної роботи вітрової та сонячної електростанцій по даним годових записів швидкості вітру та сонячної інсоляції, отримані в 2016 році в сусідніх районах Запорізької області.*

#### Abstract

### STATISTICAL ANALYSIS OF JOINT WORKING POTENTIAL WIND AND SOLAR POWER

O. Lysenko, I. Nazarenko

*The statistical analysis of wind and solar power stations joint work potential was shown according to annual records of wind speed and solar insolation obtained in 2016 in the adjacent areas of the Zaporozhye region.*