

ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА РИНКИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

УДК 621.311

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ

Л.М. Лук'яненко, канд. техн. наук, І.С. Гончаренко, асп.

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна
e-mail: lukianenko.lukian@gmail.com

У деяких регіонах України потужність відновлюваних джерел енергії вже складає досить значну частку порівняно з навантаженням цих регіонів. Для сонячних електростанцій (СЕС) провести якісне прогнозування досить складно. Метою цієї роботи є оцінка режимів роботи СЕС залежно від зовнішніх факторів. Оцінку режимів роботи СЕС виконано методом регресійного аналізу. Дослідження проведено з використанням результатів вимірів на восьми СЕС, що розташовані на півдні України, загальною встановленою потужністю 390 МВт. Результати розрахунків дали змогу визначити деякі загальні закономірності. Так, зокрема, встановлено, що СЕС, розміщені в радіусі 10 км, завжди мають схожу поведінку (незалежно від погоди) і для задач моделювання їх можна представляти однією станцією. Бібл. 3, рис. 5, табл. 2.

Ключові слова: сонячна електростанція, відновлювані джерела енергії.

Вступ. Електричні станції, побудовані на базі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), насамперед сонячні (СЕС) та вітрові електростанції (ВЕС), все ширше застосовуються в енергосистемах світу. У розвинених країнах частка ВДЕ в загальному балансі генерування складає близько 50 % [3]. Стосовно ситуації в українських енергосистемах, то загальна частка встановленої потужності ВДЕ в загальному обсязі генерування становить близько 2...3 %, що значно менше в порівнянні з більш розвиненими країнами. Проте ВДЕ, як правило, сконцентровані в певних регіонах. Зокрема, в українських енергосистемах у порівнянні із навантаженням цих регіонів потужність ВДЕ вже складає досить значну частку, інколи більше 50 %. Це певним чином впливає на режими роботи цих регіонів та може викликати низку проблем [1, 2].

Вплив різних типів ВДЕ на режими роботи енергосистем не однаковий. Так, для оцінки режимів роботи ВЕС, для яких характерним є флуктуаційний характер, можуть бути застосовані методи прогнозування, що дають достатньо точні результати, особливо короткострокове прогнозування. Для СЕС провести якісне прогнозування значно складніше, оскільки величина генерування їх значно залежить від детальної інформації про ступінь, структуру, рівні та рух існуючих хмар у безпосередній близькості від об'єкта, що досліджується.

Тому метою цієї роботи є оцінка режимів роботи СЕС залежно від зовнішніх факторів та визначення загальних закономірностей. Для оцінки режимів роботи СЕС пропонується використати метод регресійного аналізу.

Дослідження були проведені на базі результатів вимірів на восьми СЕС загальною встановленою потужністю 390 МВт. Характеристики вказаних СЕС та параметри проведених досліджень наведені в табл. 1.

Аналіз кореляції поведінки СЕС. Для кількісної оцінки загальних закономірностей характеру генерації активної потужності на різних СЕС за різних погодних умов для різної місцевості проведемо аналіз кореляції поведінки СЕС. З математичної точки зору для дослідження кореляції процесів, що відбуваються на різних СЕС, був використаний апарат регресійного аналізу, зокрема, кореляційні функції. Стисло основні положення такого аналізу наведені далі. Так, взаємну кореляцію двох процесів між собою можна оцінити за допомогою кореляційної функції $R(\tau)$, яка розраховується наступним чином:

$$R(\tau) = \frac{1}{T} \sum_0^{k-1} x_1(k\Delta t) \cdot x_2(k\Delta t + \tau) \Delta t - M_1 \cdot M_2, \quad (1)$$

де $M_1 = \frac{1}{k} \sum_0^{k-1} x_1(k\Delta t)$; $M_2 = \frac{1}{k} \sum_0^{k-1} x_2(k\Delta t)$; τ – часовий зсув між вимірами; $x_1(t)$ та $x_2(t)$ – виміри на СЕС1 та СЕС2, кореляція між якими досліджується; M_1 та M_2 – математичне очікування $x_1(t)$ та $x_2(t)$; t – час, протягом якого виконуються виміри; k – кількість вимірів.

Таблиця 1

Енергосистема, область	Назва СЕС	Потужність, МВт	Клас		
			I клас	II клас	
			Заміри з частотою 1 год	Заміри з частотою 1 хв	Заміри з частотою 10 с
Південна ЕС (Одеська область)	Дунайська	43,1	Частково	+	–
	Франка	43,0	+	+	–
	Рені	43,4	Частково	+	–
Дніпровська ЕС (Миколаївська область)	Нептун	31,0	Частково	+	–
Кримська ЕС (АР Крим, Україна)	Охотникове	85,0	+	+	+
	Митяєве	30,0	+	+	+
	Родникове	7,5	+	+	+
	Перове	107,0	+	+	+

«+» – виміри наявні повністю, «–» – виміри відсутні.

Максимуми цієї функції $R(\tau)$ відповідають моментам, коли досліджувані функції (генерування СЕС1 та СЕС2) найбільш відповідають одна одній. Зміщення (τ) характеризує часовий зсув між процесами, що досліджуються.

Оцінка взаємкореляції окремих СЕС проводилася на підставі вимірів їх потужності генерування в часі. Для аналізу кореляційних зв'язків було запропоновано нівелювати характерну форму кривих вимірів потужності генерації СЕС протягом доби. З цією метою були побудовані «теоретичні» криві для замірів СЕС. Для цього використовувався метод апроксимації найменших квадратів для функції $y = ax^2 + bx + c$. Отримані теоретичні результати накладалися на результати добових прямих вимірів СЕС. Використовуючи такий підхід, була проведена нормалізація вимірів на усіх СЕС. У подальшому виконано аналіз їх взаємної кореляції. Для прикладу на рис. 1 наведена кореляційна функція для нормалізованих вимірів СЕС Охотникове та Митяєве.

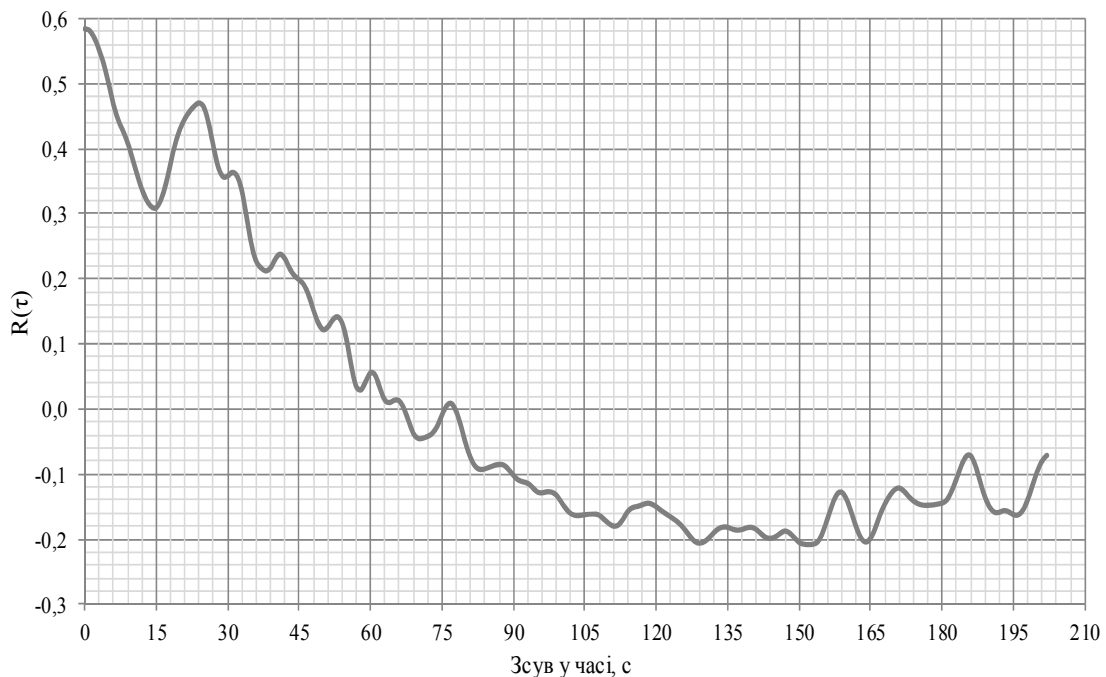


Рис. 1

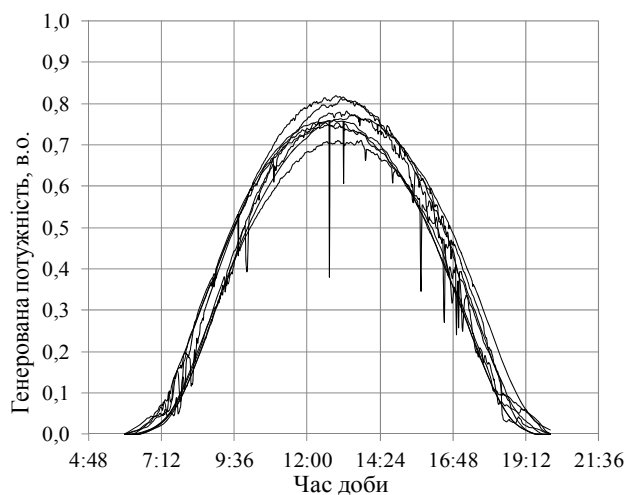


Рис. 2

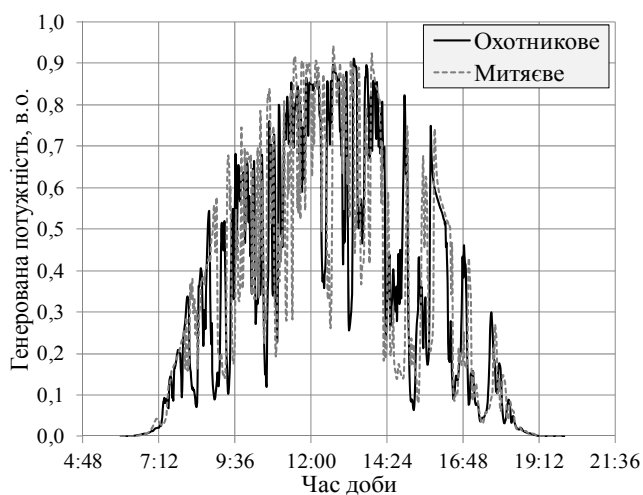


Рис. 3

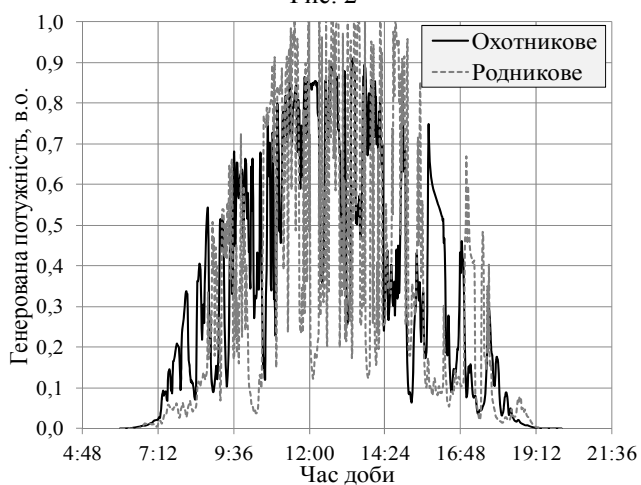


Рис. 4

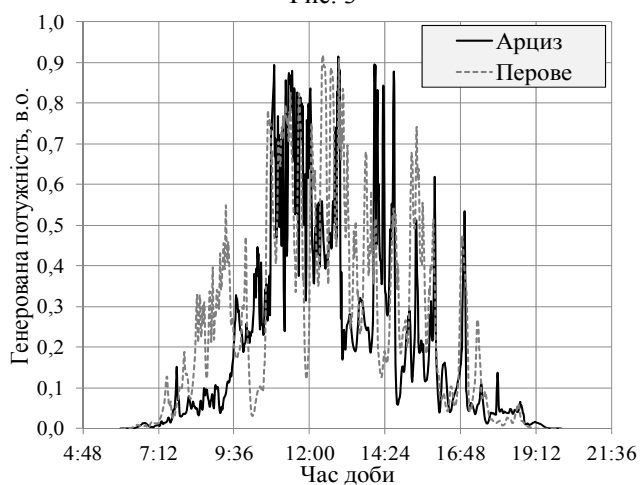


Рис. 5

Таблиця 2

№ з/п	Порівняння СЕС1 з СЕС2		Відстань між парами СЕС, км	«Ясна безхмарна погода»		«Змінна погода»	
				Макс. значення $R(\tau)$	Зсув (τ) максимуму	Макс. значення $R(\tau)$	Зсув $R(\tau)$ максимуму
1	Перове	Охотникове	45	0,9761	0	0,4451	31
2	Перове	Митяєве	37	0,9784	0	0,2477	8
3	Перове	Родникове	9	0,9272	0	0,4035	0
4	Перове	Арциз	367	0,9396	0	0,0644	44
5	Перове	Франка	340	0,9479	0	0,1237	150
6	Перове	Рені	449	0,8804	0	0,2614	254
7	Перове	Нептун	350	0,9245	0	0,2613	0
8	Охотникове	Митяєве	8	0,9960	0	0,5843	0
9	Охотникове	Родникове	38	0,9183	0	0,4253	0
10	Охотникове	Арциз	331	0,9571	0	0,1239	1
11	Охотникове	Франка	301	0,9606	0	0,1612	121
12	Охотникове	Рені	419	0,8828	0	0,2175	294
13	Охотникове	Нептун	305	0,9361	0	0,2109	0
14	Митяєве	Родникове	30	0,9213	0	0,3456	13
15	Митяєве	Арциз	338	0,9587	0	0,1784	11
16	Митяєве	Франка	309	0,9604	0	0,1673	0

Далі виконано побудову кореляційних функцій для всіх пар комбінацій СЕС. Основні результати наведено в табл. 2. Аналіз цієї таблиці дає змогу зробити висновок, що для ясної безхмарної погоди поведінка всіх СЕС дуже добре корелюється між собою ($R(\tau) > 0,88$). Це підтверджується порівнянням прямих вимірів потужності СЕС протягом доби (рис. 2).

Подібний аналіз був виконаний стосовно кореляційних функцій для вимірів, що відповідають погодним умовам «похмура погода» та «змінна погода». На рис. 3–5 показані результати порівняння для різних пар СЕС (табл. 2).

Висновки. Максимальний рівень генерування СЕС протягом сонячного дня на різних, навіть досить віддалених одна від одної СЕС, може співпадати і таким чином додаватися. Ймовірність виникнення таких ситуацій залежить, в першу чергу, від погодних умов і влітку може виникати досить часто.

Аналіз графіків коливання потужності протягом світлового дня та функцій кореляції показав, що кореляція СЕС значно залежить, по-перше, від погодних умов, а по-друге, від віддаленості СЕС одна від одної. Так, СЕС, розміщені в радіусі 10 км, завжди мають схожу поведінку (незалежно від погоди) і для задач моделювання їх можна представляти однією станцією. Кореляція процесів генерування СЕС на ділянках, розміщених на відстані більше 10 км, не носить системного характеру і значно залежить від погодних умов.

1. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах // Техн. електродинаміка. – 2011. – № 1. – С. 46–53.
2. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М., Трач І.В. Основні проблеми інтеграції відновлюваних джерел електроенергії в «слабкі» мережі // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 25–26.
3. Energy from renewable sources. Eurostat. Режим доступу: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_from_renewable_sources.

УДК 621.311

Л.Н. Лук'яненко, канд. техн. наук, **И.С. Гончаренко**, асп.

Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

Анализ режимов работы солнечных электрических станций в зависимости от внешних факторов

В некоторых регионах Украины мощность возобновляемых источников энергии уже составляет весьма значительную долю в сравнении с нагрузкой этих регионов. Для солнечных электростанций (СЭС) провести качественное прогнозирование достаточно сложно. Целью этой работы является оценка режимов работы СЭС в зависимости от внешних факторов. Оценку режимов работы СЭС выполнено методом регрессионного анализа. Исследование проведено с использованием результатов измерений на восьми СЭС, расположенных на юге Украины, общей установленной мощностью 390 МВт. Результаты расчетов позволили определить некоторые общие закономерности. Так, в частности, установлено, что СЭС, которые размещены в радиусе 10 км, всегда имеют похожее поведение (независимо от погоды) и для задач моделирования их можно представлять одной станцией. Библ. 3, рис. 5, табл. 2.

Ключевые слова: солнечная электростанция, возобновляемые источники энергии.

L.M. Lukianenko, I.S. Goncharenko

The Institute of Electrodynamics of The National Academy of Sciences of Ukraine,

Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

Analysis of weather dependence of solar power plant operation

Capacity of renewable energy sources in certain regions of Ukraine is significant compared to regions load. It is difficult to perform accurate forecast of solar power plant performance. The object of this paper is to evaluate dependence of solar power plant performance on the weather. The evaluation is performed by regression analysis method. Long-time measurements of eight different solar power plants performance was used for the research. Studied solar power plants have total capacity of 390 MW and are situated in southern Ukraine. Calculations results revealed the existence of some laws. In particular, it was found out that solar power plants, which are located within 10 km, always have similar behaviour (regardless of the weather), therefore, in simulation can be represented as a single solar power station. References 3, figures 5, tables 2.

Key words: solar power plant, renewable energy sources.

Надійшла 31.08.2016

Received 31.08.2016