

УДК 621.311:681.3

Лук'яненко Лук'ян Миколайович, канд. техн. наук; старш. наук співроб., Інститут електродинаміки НАН України, пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна, 05035308696, Lukianenko.Lukian@gmail.com

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

В статті проведено аналіз характеру роботи сонячних електростанцій на базі вимірів з різною дискретністю (від 10 сек до 1 години) за різні проміжки часу (від одного дня до декількох років). На базі проведеного аналізу виявлено певні схожі тенденції у їх поведінці та сформовано рекомендації щодо їх врахування при виконанні задач перспективного планування.

Ключові слова: сонячна електрична станція, заміри, перспективне планування, режими, графік роботи.

Лукьяненко Лукьян Николаевич, канд. техн. наук, ст. науч. Сотр., Институт электродинамики НАН Украины, пр.Победы, 56, Київ-57, 03680, Україна, 05035308696, Lukianenko.Lukian@gmail.com

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

В статье проведен анализ характера работы солнечных электростанций на базе измерений с разной дискретностью (от 10 сек до 1 часа) за различные промежутки времени (от одного дня до нескольких лет). На базе проведенного анализа выявлены определенные тенденции в их поведении и сформированы рекомендации по их учету при выполнении задач перспективного планирования. Библ.3, рис.5.

Ключевые слова: солнечная электростанция, замеры, перспективное планирование, режимы, график работы.

Lukianenko Lukian , PhD, Senior Researcher
Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

ANALYSIS OF OPERATING CONDITIONS OF SOLAR POWER STATIONS

In paper, the analysis of the operating conditions of solar PV power plants on the basis of measurements at different increments (from 10 seconds to 1 hour) for various time periods (from one day to several years) was presented. On the basis of this analysis some similar trends in behaviour PV power plants were recognised. General recommendations for planning department have been made.

Key words: PV solar power station, measurements, planning, loadflow, schedule.

Вступ

Останні роки в Україні активно розвивається генерування електричної енергії на базі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). В результаті, значна кількість таких електричних станцій уже експлуатується та є конкретні плани щодо впровадження величезних обсягів ВДЕ у найближчому майбутньому. Під ВДЕ в основному маються на увазі сонячні та вітрові електростанції (СЕС та ВЕС, відповідно). Працюючі електростанції на базі ВДЕ, як правило, локалізовані за регіональними критеріями і уже створюють досить значну, відносно теплової генерації, частку в певних регіонах. При цьому враховуючи флуктуаційний характер роботи СЕС та ВЕС в цих регіонах виникають, а в майбутньому будуть тільки погіршуватись, відомі проблеми пов'язані з підтриманням балансів активної/реактивної потужностей, коливанням напруги та з погіршенням інших режимних параметрів [1–3]. Стосовно ВЕС, частково проблеми обумовлені флуктуаційним характером їх роботи можуть бути вирішені за допомогою прогнозування (короткострокового та довгострокового). Для СЕС якісне прогнозування виконати на порядок складніше, так як генерування СЕС сильно залежить від докладної інформації про ступінь, структуру, рівні та рух існуючих хмар у безпосередній близькості від об'єкта сонячної генерації. Тому в цій статті сконцентруємось на питаннях, пов'язаних з аналізом характеру роботи сонячних електростанцій на базі вимірів та виявленням певних схожих тенденцій у їх поведінці.

Структура та параметри вимірів СЕС

Дослідження було проведено на базі вимірів для 8-ми СЕС загальною встановленою

потужністю 390 МВт. З метою дотримання умов конфіденційності всі назви реальних СЕС змінено. Потужність цих СЕС наведено у табл. 1. Усі проаналізовані виміри можна розділити на два класи:

I клас – інтегральні виміри з частотою 1 год. протягом одного року (приблизно);

II клас – «швидкі» виміри з частотою 10с./1хв. протягом декількох днів.

У табл.1 представлено структуру вимірів з розподілом за класами у розрізі енергосистем (областей).

Таблиця 1

Потужність та структуризація вимірів по СЕС, що досліджувались

Енергосистема, область	СЕС	Потужність СЕС, МВт.	Клас		
			I клас Заміри з частотою 1 год.	II клас Заміри з частотою 1 хв. Заміри з частотою 10 с.	
Південна ЕС (Одеська область)	СЕС-1	43,1	частково	+	-
	СЕС-2	43,0	+	+	-
	СЕС-3	43,4	частково	+	-
Дніпровська ЕС (Микол. область)	СЕС-4	31,0	частково	+	-
Кримська ЕС (АР Крим)	СЕС-5	85,0	+	+	+
	СЕС-6	30,0	+	+	+
	СЕС-7	7,5	+	+	+
	СЕС-8	107,0	+	+	+

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

Аналіз сезонного коливання потужності СЕС

Аналіз вимірів СЕС з дискретністю 1 година. протягом року проведено з метою виявлення сезонних залежностей, визначення реальної середньої потужності за рік та за кожен характерний період року (осінь, зима, весна, літо). Було виконано аналіз коливання потужності СЕС протягом року, приклад одного із графіків наведено на рис. 1 (для СЕС-8).

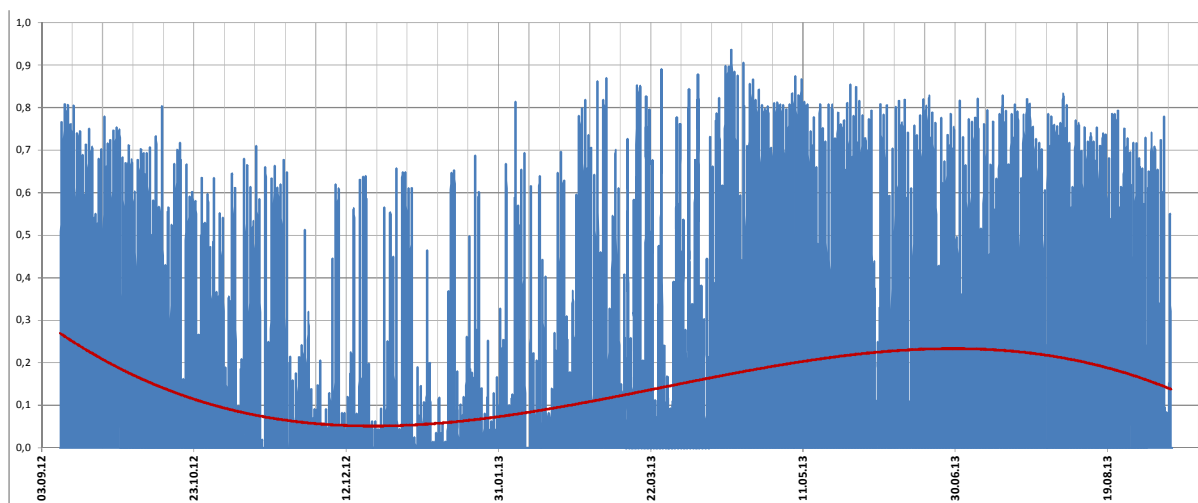


Рис. 1. Приклад сезонних коливань потужності СЕС

На рис. 1 по вісі абсцис відкладено час, за який проводились виміри. По вісі ординат відкладено активна потужність СЕС (у відносних одиницях), зафіксовану на цей момент часу. Узагальнена інформація обробки даних вимірювань щодо усіх СЕС, які досліджуються, зведена до табл. 2.

Узагальнені дані обробки вимірювань СЕС

СЕС	Середня потужність за сезон, в.о.				Середня потужність за рік, в.о.
	Осінь	Зима	Весна	Літо	
СЕС-1	-	0,073	0,194	0,218	0,152
СЕС-2	0,138	0,054	0,197	0,220	0,156
СЕС-3	-	-	-	0,224	-
СЕС-4	-	-	-	0,202	-
СЕС-5	0,013	0,000	0,173	0,210	0,100
СЕС-6	0,137	0,043	0,185	0,208	0,144
СЕС-7	0,157	0,067	0,201	0,227	0,164
СЕС-8	0,141	0,058	0,185	0,206	0,148

Наведений вище графік та таблиця, по-перше, ілюструють сезонність виробітку електричної енергії СЕС протягом року. По-друге, з графіку видно, що максимальна «межа потужності» СЕС (за винятком лише окремих викидів) протягом року не перевищує 90 % від її встановленої потужності. А здебільшого генерація СЕС протягом року не перевищує 80 % від встановленої потужності.

Далі, з урахуванням того, що потужність СЕС протягом року не перевищує 80 % від встановленої, проаналізуємо розподіл максимальної пікової потужності СЕС за годинами доби. Для проведення такого аналізу було побудовано усереднену (на базі максимальних значень генерації усіх 8-ми СЕС, що досліджуються) добову криву максимальної генерації СЕС для сонячного безхмарного дня, наведену на рис. 2.

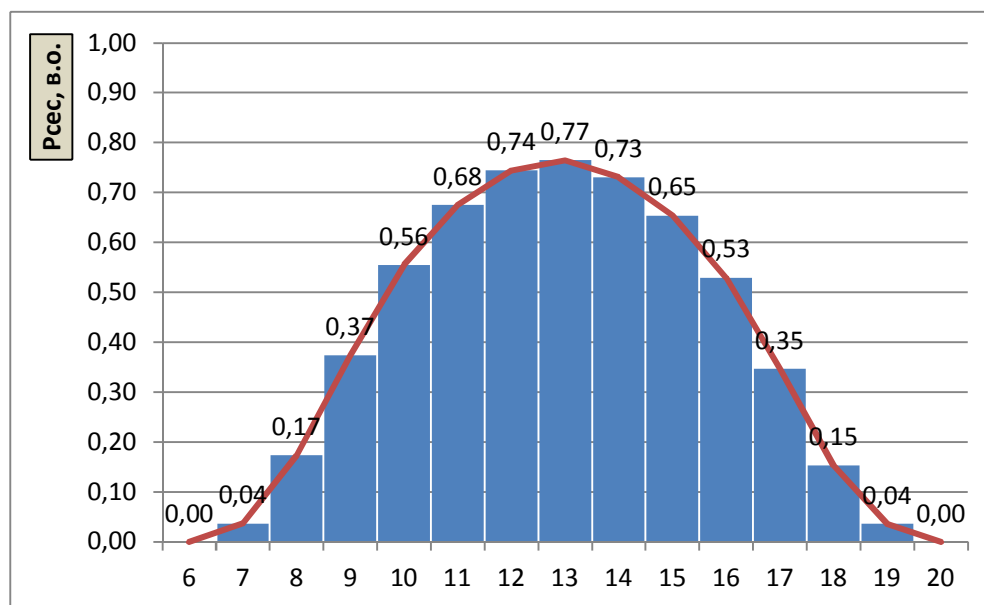
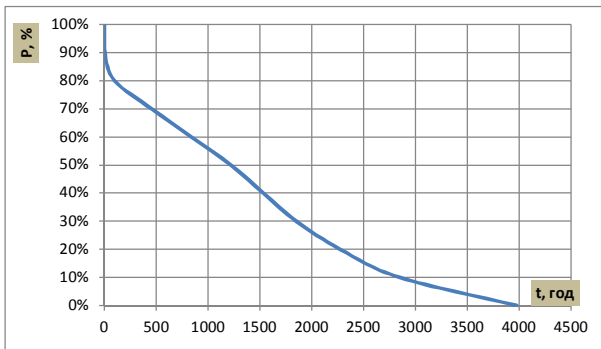


Рис. 2. Розподіл максимальної пікової потужності СЕС за годинами доби

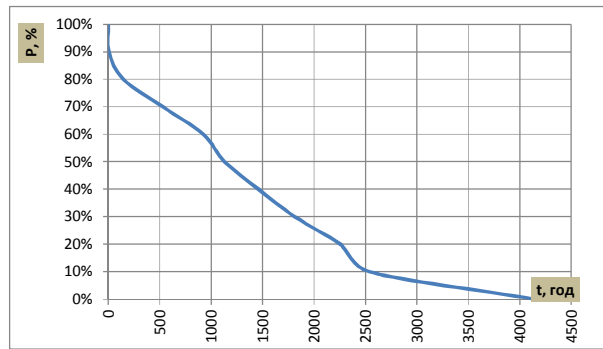
Також на рис. 2 відображено коефіцієнти масштабування генерації СЕС стосовно встановленої потужності за годинами доби, наприклад, на 13 год., у сонячний, без хмарний день усереднена по 8-ми СЕС максимальна потужність становить 77 % від встановленої потужності, що повністю відповідає результатам попередніх досліджень. Таким чином, якщо необхідне значення максимальної генерації СЕС, наприклад, на 17 год., для СЕС встановленою потужністю 100 МВт, то для літнього періоду (і безхмарної погоди) вона може бути прийнята приблизно 36 МВт.

Аналіз використання потужності СЕС за рік

Дані вимірів дали змогу побудувати графіки потужностей СЕС за тривалістю. Графіки побудовано тільки для світлого періоду доби (зимовий період з 8:00 до 16:00; літній період з 06:00 до 20:00), приклад для СЕС «СЕС-8» та «СЕС-6» наведено на рис. 3.



а) СЕС-8



б) СЕС-6

Рис 3. Ілюстрація графіків потужностей СЕС за тривалістю

Таблица 3

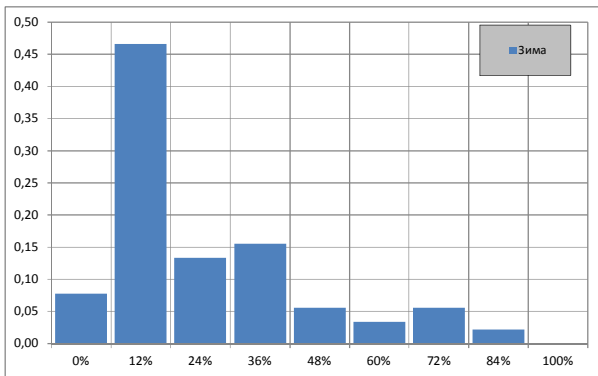
Приклад для СЕС «СЕС-8» та «СЕС-6»

СЕС	80 % від встановленої потужності та більше		70 % від встановленої потужності та більше	
	[год]	[%] часу на рік	[год]	[%] часу на рік
СЕС-5	61	1%	370	9%
СЕС-6	146	4%	530	13%
СЕС-8	96	2%	453	11%

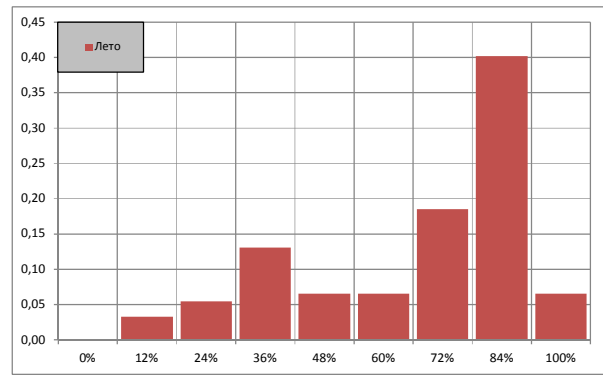
Аналіз графіків на рис. 3 та табл. 3 показав, що тривалість роботи СЕС з потужністю 90–100% від встановленої наближається до нуля протягом року. Тривалість роботи СЕС з потужністю 80 % становить 100–150 годин за рік (2–4 % від загальної тривалості роботи СЕС). Тривалість роботи СЕС з потужністю 70 % становить 400–600 годин (10–13 %).

Аналіз групових частот генерації СЕС за годинами для різних періодів року

У роботі виконано аналіз ймовірності появи певних потужностей СЕС на базі аналізу статистичної інформації щодо вимірів потужності. Зокрема, проведено аналіз ймовірності появи певної потужності у задані години протягом характерних періодів року. Наприклад, проаналізовано як змінюється потужність СЕС в годину максимальної генерації (на 13:00 годину) для періодів «літо» та «зима». В статі результати представлено лише для СЕС-6 (рис. 4) та для СЕС-8 (рис. 5.) на 13 годину для періодів «зима» та «літо» відповідно.

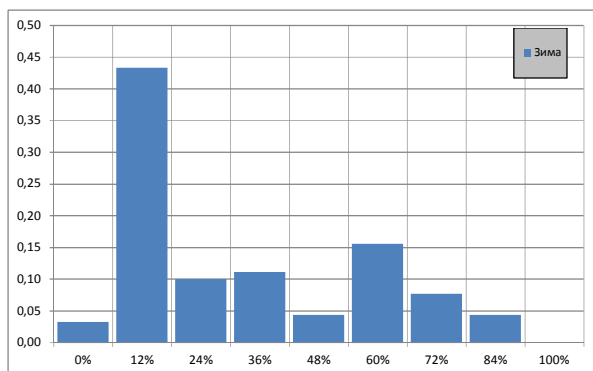


а) Зимовий період

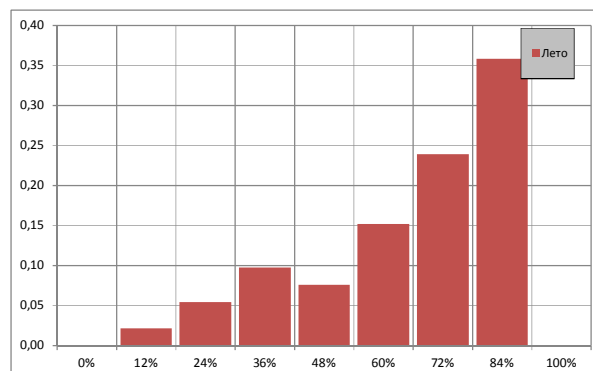


б) Літній період

Рис 4.



а) Зимовий період



б) Літній період

Рис. 5. Групові частоти генерації СЕС в характерні періоди року (Літо-Зима)

Висновки

Результати аналізу гістограм групових частот свідчать, що на 13:00 у зимовий період найбільш ймовірна потужність СЕС перебуває в межах 10–30 %. На той час, як у літній період найбільша ймовірність потужності СЕС перебуває в діапазоні від 60–80 %. Одержані результати підтверджують зроблений раніше висновок щодо сезонної залежності генерації СЕС та дають змогу кількісно оцінити таку нерівномірність з точки зору статистичних спостережень.

На основі всебічного аналізу вимірів СЕС можна стверджувати, що максимальна генерація СЕС протягом року не перевищує 80 % від встановленої потужності сонячної електростанції. Для розрахунку генерації СЕС на певну годину з метою моделювання перспективних режимів роботи енергосистем запропоновано коефіцієнти масштабування генерації СЕС стосовно встановленої потужності по годинах доби за умови сонячної безхмарної погоди у літній період.

На основі аналізу гістограм групових частот визначено, що в період максимальної генерації СЕС (на 13:00) у зимовий період найбільш ймовірна потужність СЕС перебуває в межах 10–30 % від встановленої. На той час, як в літній період найбільш ймовірне значення потужності СЕС перебуває в діапазоні від 60–80 %.

Максимальний рівень генерації СЕС протягом сонячного дня на різних, навіть досить віддалених одна від одної СЕС, може співпадати і підсумовуватись. Ймовірність такого співпадання залежить в першу чергу від погодних умов і у літній період може виникати досить часто. Тобто з урахуванням попередніх висновків можна стверджувати, що всі СЕС у літній безхмарний день необхідно представляти потужністю 80 % від встановленої.

Список використаної літератури

1. Кириленко О. В., Павловський В. В., Лук'яненко Л. М. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах // *Технічна електродинаміка*. – 2011. – № 1. – С. 46–53.
2. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М., Зоммер А.Е. Аналіз впливу приєднання відновлюваних джерел електроенергії на рівні напруги електричних мереж // *Техн. електродинаміка*. Тем. випуск. Силова електроніка та енергоефективність. – 2011. – Ч. 2. – С. 44-49.
3. 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.

References

1. O. Kyrylenko, V. Pavlovskiy, L. Lukianenko. Technical aspects of adoption of distributed generation sources // *Tekhn. Elektrodynamika*. – 2011. – No 1. – P. 46–53.
2. O. Kyrylenko, V. Pavlovskiy, L. Lukianenko A. Zommer. Analysis of the impact of the accession of renewable energy source to voltage levels of electrical networks // *Tekhn. Elektrodynamika*. Specific. release. Power Electronics and Energy Efficiency. – 2011. – Part 2. – P. 44-49.
3. O. Kyrylenko, V. Pavlovskiy, L. Lukianenko, I. Trach. The main problems of integration of renewable energy source to the "weak" network // *Tekhn. Elektrodynamika*. – 2012. – No 3. P. 25–26.

Поступила в редакцію 20. 07 2014 г.