

## РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ІНСОЛЯЦІЇ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ

Доценко С. І.<sup>1</sup>, Тимчук С. О.<sup>1</sup>, Шендрик С. О.<sup>2</sup>, Шулима О. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенко,

<sup>2</sup> Сумський державний університет

*Виконано аналіз та запропоновано норми споживання сонячної енергії для виробництва електричної енергії фотоелектричними панелями.*

**Постановка проблеми.** Сонячна енергетика сьогодні становить вагомий відсоток енергетичного виробітку в світі і дуже активно розвивається в таких країнах як Німеччина, США, Великобританія, Японія, Корея та Китай [1]. В Україні використання сонячної енергії для видобутку електричної енергії, поки що, не достатньо поширено, але становить інтерес завдяки своїй екологічності та відновлюваності. Одним з важливих шляхів підвищення ефективності використання сонячної енергії в народному господарстві України є вдосконалення методик аналізу поточного енергоспоживання і методик нормування виробництва електроенергії сонячними електростанціями. При проектуванні та використанні сонячної установки необхідно враховувати кількість сонячної енергії (інсоляцію), яка надходить до неї. Рівень інсоляції залежить від географічних координат (широти) місцевості, погодних умов (хмарності) та пори року. Також, неоднорідним є графік споживання. Тому необхідно виявити залежність між інсоляцією та споживанням у відповідності до географічних, погодних умов та пори року.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Україна має значний потенціал відновлювальних джерел енергії для генерації електричної енергії [2], значно більше ніж деякі країни північної та центральної Європи, наприклад Німеччина. Для України проводилося визначення значення інсоляції. Так в роботі [3] Україна, в залежності від значення інсоляції за рік, поділена на чотири зони (I зона 1350 кВт·год/м<sup>2</sup>, II зона 1250 кВт·год/м<sup>2</sup>, III зона 1150 кВт·год/м<sup>2</sup>, IV зона 1000 кВт·год/м<sup>2</sup>). Але наведені значення потребують уточнення. Крім того, необхідно визначити, як природні особливості регіону впливають на технічні характеристики фотоелектричних панелей, на їх здатність забезпечити надійне і якісне електропостачання споживачів

**Мета статті.** Метою роботи є визначення потужності фотоелектричних панелей в залежності від рівня інсоляції. Для досягнення цієї мети необхідно розробити універсальну методику розрахунку рівня інсоляції для визначення величини річної генерації електроенергії фотоелектричними панелями.

**Основні матеріали дослідження.** Генерація електричної енергії фотоелектричними панелями залежить від погодних умов.

Прибутковою частиною енергетичного балансу є кількість сонячної енергії, яка потрапляє на відповід-

ну площу. При цьому способи орієнтації поверхні фотоелектричної панелі можуть бути наступними:

- поверхня весь час зорієнтована на сонце і розміщена до сонячних променів під прямим кутом;
- поверхня може бути зорієнтованою у горизонтальній площині, вертикальній площині;
- поверхня розміщена під прямим кутом до променів сонця лише для одного обраного положення сонця, наприклад для моменту сонячного рівнодення (21-22 березня та вересня).

Для кожної з цих видів орієнтації сумарна інсоляція буде різною. Максимально можливою вона буде для першого варіанту, який вимагає застосування відповідної системи стеження.

Для визначення об'ємів річної генерації за розрахунковий (прогнозний) слід обирати перший варіант орієнтації. Для інших варіантів орієнтації зменшення рівня інсоляції, відносно розрахункового, може бути враховано введенням відповідних коефіцієнтів, як це пропонується в роботі [4].

В роботі [5] виконано дослідження стабільності генерування сонячних електростанцій у задачі забезпечення балансової надійності.

У роботах [4-5] інсоляція визначається у розрахунку на один квадратний метр поверхні фотоелектричної панелі.

Пропонуємо конкретні дані про інсоляцію за відповідний період (добу, місяць, сезон, рік) представити у відносних величинах шляхом їх ділення на величину відповідної максимальної потужності. Для періодів часу, протягом яких спостерігається інсоляція, також передбачається перехід до відносних величин, що забезпечить коректність порівняння відносних величин інсоляції для різних місяців.

Для визначення можливої величини згенерованої протягом року енергії необхідно мати статистичні дані про інсоляцію для обраного місця розміщення сонячних панелей, а саме дані про тривалість відповідної потужності сонячного випромінювання протягом розрахункового періоду. Як приклад, у табл. 1 наведено погодинні дані про інсоляцію (в кВт·год/м<sup>2</sup>) по місяцям у м. Одеса згідно [4].

В таблиці 2 наведено результати перерахунку, здійсненого шляхом ділення щогодинних значень інсоляції для кожного місяця на максимальне значення для 13:00 години. Не зважаючи на те, що для лютого, квітня, червня і липня цей максимум спостерігався о 14:00 години, у розрахунках умовно обрано 13:00.

Таблиця 1 – Значення погодинної інсоляції протягом року кВт·год/м<sup>2</sup>

Години/Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
5:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6:00:00	0,0	0,0	0,2	0,6	10,0	20,5	8,2	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0
7:00:00	0,0	0,0	7,7	24,2	77,9	101,2	58,5	33,6	7,4	0,1	0,0	0,0
8:00:00	0,1	0,5	47,8	112,4	188,8	217,7	147,3	137,1	71,5	16,6	0,7	0,0
9:00:00	3,5	20,6	135,8	231,1	316,3	347,4	246,4	265,4	186,8	84,0	19,1	2,7
0:00:00	33,5	75,9	239,0	356,7	435,2	480,3	347,3	385,3	312,3	163,9	62,1	31,0
11:00:00	82,6	137,2	330,3	466,4	555,9	591,1	453,0	495,7	425,0	247,8	113,4	74,0
12:00:00	120,6	192,3	403,3	533,8	646,4	677,6	548,1	597,0	500,7	306,0	149,3	108,9
13:00:00	138,7	227,4	418,7	570,8	679,4	711,5	605,9	636,5	557,2	339,1	166,7	130,9
14:00:00	137,8	236,1	397,4	581,2	671,5	714,4	644,8	619,6	545,3	335,6	169,2	126,1
15:00:00	117,7	214,8	361,1	564,9	639,6	627,3	640,7	580,3	508,9	294,2	141,4	102,0
16:00:00	82,5	171,7	288,2	471,8	565,1	535,3	592,1	504,1	412,5	216,2	98,2	64,1
17:00:00	35,8	105,3	199,5	346,5	445,3	433,7	523,2	390,4	292,9	119,1	36,6	18,8
18:00:00	3,7	30,7	86,7	213,1	307,7	317,5	432,2	259,2	146,0	24,9	2,5	0,4
9:00:00	0,0	1,6	14,7	92,6	164,5	193,8	315,4	133,1	37,5	1,5	0,0	0,0
20:00:00	0,0	0,0	0,2	14,1	50,3	81,8	195,6	31,0	1,5	0,0	0,0	0,0
21:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	12,5	113,6	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
22:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	79,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23:00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
за день	756,5	1414,1	2930,8	4580	5756	6063	6058,7	5469	4006,0	2148	959,2	658,8
За місяць	23,5	39,6	90,9	137,4	178,5	181,9	187,7	167,2	120,2	66,6	28,8	20,4

Таблиця 2 – Перераховані відносні показники інсоляції

Години/Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
0,05	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,11	0,000	0,000	0,000	0,001	0,015	0,029	0,013	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
0,16	0,000	0,000	0,018	0,042	0,115	0,142	0,097	0,053	0,013	0,000	0,000	0,000
0,21	0,001	0,002	0,114	0,197	0,278	0,306	0,243	0,215	0,128	0,049	0,004	0,000
0,26	0,025	0,091	0,324	0,405	0,466	0,488	0,407	0,417	0,335	0,248	0,115	0,021
0,32	0,242	0,334	0,571	0,625	0,641	0,675	0,573	0,605	0,560	0,483	0,372	0,237
0,37	0,595	0,604	0,789	0,817	0,818	0,831	0,748	0,779	0,763	0,731	0,680	0,565
0,42	0,870	0,846	0,963	0,935	0,951	0,952	0,905	0,938	0,898	0,902	0,895	0,832
0,47	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,53	0,994	1,038	0,949	1,018	0,988	1,004	1,064	0,974	0,979	0,990	1,015	0,963
0,58	0,849	0,945	0,862	0,990	0,941	0,882	1,058	0,912	0,913	0,868	0,848	0,779
0,63	0,595	0,755	0,688	0,827	0,832	0,752	0,977	0,792	0,740	0,638	0,589	0,490
0,68	0,258	0,463	0,477	0,607	0,655	0,610	0,863	0,613	0,526	0,351	0,220	0,144
0,74	0,027	0,135	0,207	0,373	0,453	0,446	0,713	0,407	0,262	0,073	0,015	0,003
0,79	0,000	0,007	0,035	0,162	0,242	0,272	0,521	0,209	0,067	0,004	0,000	0,000
0,84	0,000	0,000	0,001	0,025	0,074	0,115	0,323	0,049	0,003	0,000	0,000	0,000
0,89	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,018	0,188	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
0,95	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,132	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,05	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,078	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

На рис. 1 наведено графіки відносної інсоляції за таблицею 2. Номер ряду на графіках відповідає порядковому номеру місяця. При цьому, відносний час

розраховувався за величиною максимальної тривалості щомісячної інсоляції протягом року, яка дорівнює 18-ти годинам.

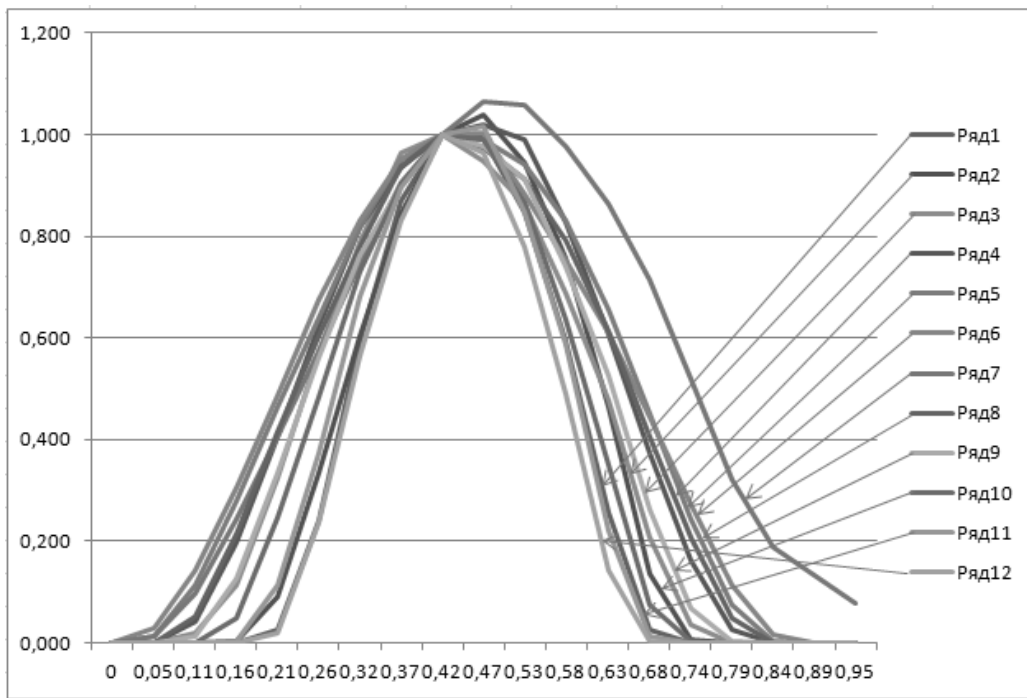


Рисунок 1 – Графіки відносної інсоляції за таблицею 2

На рис. 2 – 8 наведено графіки відносної інсоляції при введенні відносної тривалості періоду інсоляції. За одиницю прийнято тривалість інсоляції для відповідного місяця, а години доби перераховано у відносну тривалість періоду інсоляції для цього місяця.

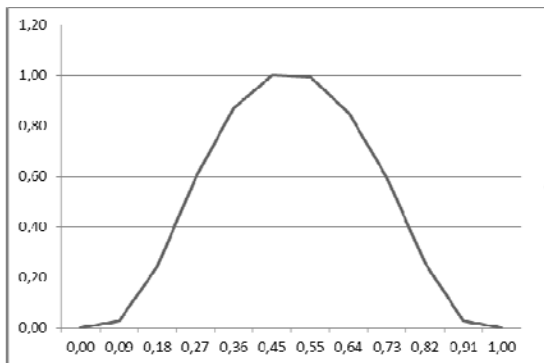


Рисунок 2 – Відносна інсоляція для січня

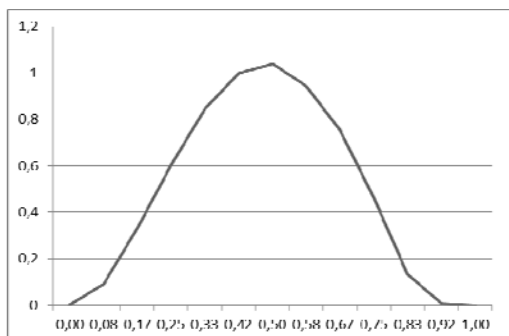


Рисунок 3 – Відносна інсоляція для лютого

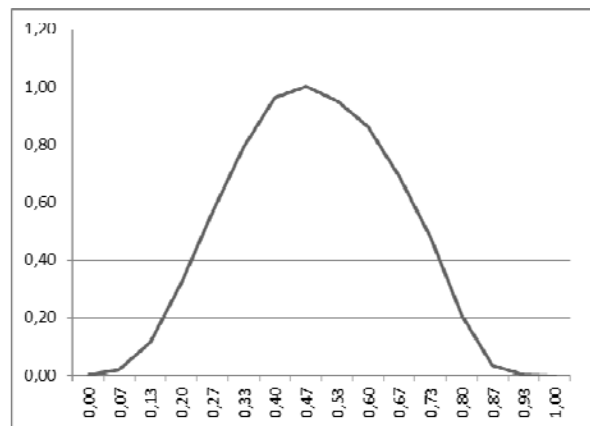


Рисунок 4 – Відносна інсоляція для березня

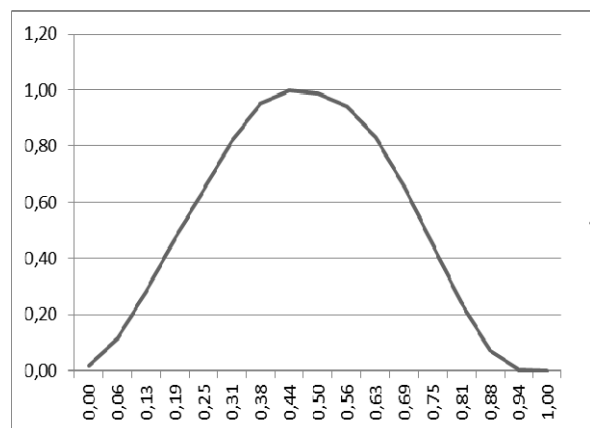


Рисунок 5 – Відносна інсоляція для травня

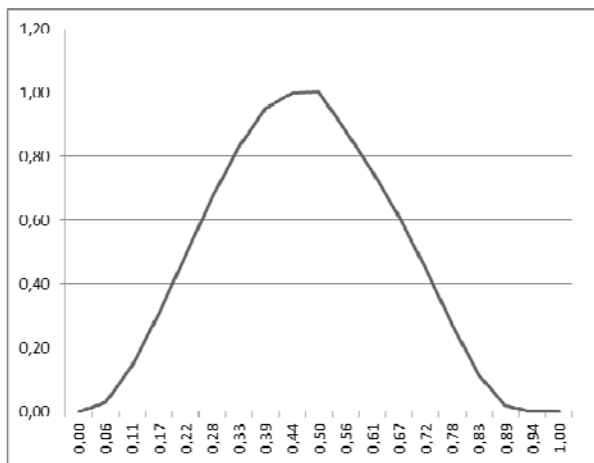


Рисунок 6 – Відносна інсоляція для червня

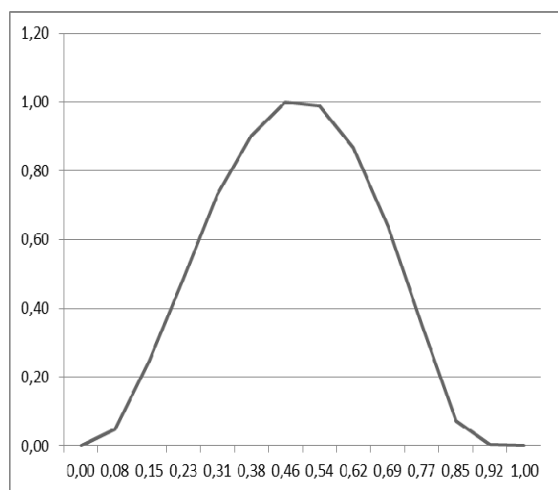


Рисунок 7 – Відносна інсоляція для жовтня

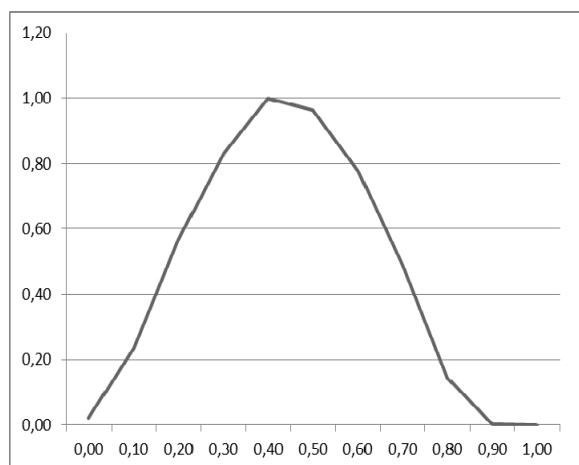


Рисунок 8 – Відносна інсоляція для грудня

## Висновки

1. З наведених графіків погодинної відносної інсоляції можливим є висновок про те, що у відносних координатах форма цих графіків є ідентичною.

2. За цих обставин виникає необхідність подальшої статистичної обробки цих графіків з метою отримання в подальшому аналітичного виразу виявленої

закономірності залежності величини відносної інсоляції від відносного моменту часу інсоляції.

3. На основі цієї залежності буде можливим розрахунок абсолютних значень інсоляції за вимірними значеннями амплітудних значень у час максимуму інсоляції та відомою тривалістю періоду інсоляції для відповідного місяця. Це забезпечить прогнозування можливих об'ємів енергії інсоляції при проектуванні сонячних електростанцій.

## Список використаних джерел.

1. M. Forst. Germany's module industry poised for growth / Michael Forst. – SUN & Wind Energy. – Vol.5. – 2011. – pp. 256-263.

2. V. Shendryk. The topicality and the peculiarities of the renewable energy sources integration into the ukrainian power grids and the heating system / V. Shendryk, O. Shulyma, Y. Parfenenko. – In: González-Prida, V., Raman, A. (eds.) Promoting Sustainable Practices through Energy Engineering and Asset Management, pp. 162–192. Engineering Science Reference, Hershey (2015). doi:10.4018/978-1-4666-8222-1.ch007

3. Руководство по проектированию систем солнечного теплоснабжения: Viessmann. – К.: "Злато-Граф", 2010. – 194 с.

4. Кравченко В. П. Инструментальне визначення інсоляції в районі м. Одеси / В. П. Кравченко, Є. В. Кравченко, І. В. Бондар // Енергетика: економіка, технології, екологія. – № 1. – 2016. – С. 20-27.

5. Лежнюк П. Д. Оцінювання стабільності генерування сонячних електростанцій у задачі забезпечення балансової надійності / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук // Наукові праці ВНТУ. – № 2. – 2016. – С. 1-8.

## Аннотация

### РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ИНСОЛЯЦИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПАНЕЛЯМИ

Доценко С. И., Тимчук С. А., Шендрюк С. А., Шулима О. В.

*Выполнено анализ и предложены нормы потребления солнечной энергии для производства электрической энергии фотоэлектрическими панелями.*

## Abstract

### CALCULATION OF CAPACITY INSOLATION FOR FORECASTING THE PRODUCTION OF ELECTRICAL ENERGY BY PHOTOVOLTAIC PANELS

S. Dotsenko, S. Tymchuk, S. Shendryk, O. Shulyma

*It was performed analysis and suggested standards of consumption solar energy for the production of electrical energy by photovoltaic panels.*