

УДК 621.383

Л. В. Накашидзе;

Н. Л. Терентьева;

В. І. Бондаренко, к. т. н., доц.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В УМОВАХ ШТУЧНОГО ТА ПРИРОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ

На підставі отриманих експериментальних даних проаналізовано основні критерії, які дозволяють оцінити ефективність роботи сонячного елемента при штучному і природному освітленні. Залежність між енергетичними параметрами сонячних елементів при різних типах освітлення отримана експериментальним шляхом. Інформація, що міститься в статті, має практичне значення для проектно-конструкторських робіт, пов'язаних з розробкою сонячних фотоелектричних установок.

### Вступ

Зниження вартості сонячних фотоелектричних установок (СФЕУ) досягається зменшенням вартості виробництва сонячних елементів (СЕ) та модулів на їх основі; за рахунок використання концентраторів сонячного випромінювання; завдяки підвищенню точності попередніх техніко-конструкційних чинників СЕ тощо. Точне визначення енергетичних параметрів СЕ на технологічному етапі побудови СФЕУ забезпечує підвищення ефективності функціонування з найменшими економічними витратами.

### Основний текст

Складністю технологічного етапу побудови СФЕУ, яка функціонуватиме в умовах природного освітлення, є використання СЕ, енергетичні характеристики яких попередньо визначаються в умовах штучного освітлення. Тому необхідно виявити вплив особливостей штучного та природного освітлення на енергетичні характеристики СЕ, що використовуються в СФЕУ.

Найбільший вплив на енергетичні параметри сонячних елементів має інтенсивність та характер (розподіл по довжинах хвиль) сонячного випромінювання [1].

Залежно від висоти Сонця над горизонтом, наявності розсіяного випромінювання, стану атмосфери, інтенсивність радіації на рівні Землі та її спектральний склад різні.

Інтенсивність сонячної радіації залежить від таких чинників, як хмарність, прозорість атмосфери, її вологість.

Спектральний склад сонячного випромінювання визначається довжиною хвиль та специфікою їх поглинання й розсіяння [2]. Також на спектральний склад сонячного випромінювання істотно впливає наявність пари води в атмосфері.

Короткохвильове випромінювання Сонця охоплює спектральний інтервал від 0,1 мкм до 4 мкм. На ультрафіолетову частину спектру (від 0,1 мкм до 0,39 мкм) припадає 8 %, на видиму частину спектру (від 0,39 мкм до 0,76 мкм) — 56 %, на ближню інфрачервону частину (від 0,76 мкм до 4 мкм) — 36 % від загальної енергії сонячного випромінювання. У реальних умовах кількість сонячного випромінювання, що доводиться на інфрачервону частину спектру на рівні Землі, збільшується завдяки наявності водяної пари.

Сонячна радіація, що досягла поверхні Землі, обривається на довжині хвилі близько 0,3 мкм. (рис. 1). Причиною цього є те, що сонячна радіація з довжиною хвилі  $\lambda < 0,36$  мкм майже повністю поглинається озоном. Крім того, озон має області поглинання й у видимій частині спектру сонячного випромінюван-

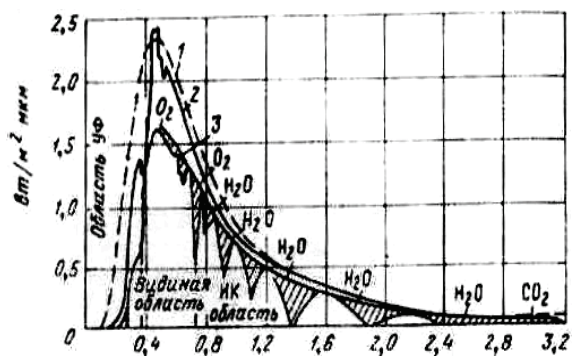


Рис. 1. Спектральна інтенсивність сонячного випромінювання: 1 — апроксимація випромінювання абсолютно чорного тіла з температурою 5800 К; 2 — заатмосферна спектральна інтенсивність сонячного випромінювання; 3 — спектральна інтенсивність на рівні Землі із смугами поглинання пари води, кисню і вуглекислого газу

ня, що відповідає довжині від 0,44 мкм до 1,18 мкм (полоси Шаппоі). Особливо значним є поглинання в діапазоні довжин хвиль від 0,22 мкм до 0,29 мкм (смуги Хартлі) і в діапазоні від 0,31 мкм до 0,36 мкм (смуги Хеггинса). Ультрафіолетове випромінювання поглинається також киснем в смугі від 0,13 мкм до 0,24 мкм [3, 4].

Водяна пара та вуглекислий газ мають смуги поглинання, що припадають в основному на ближню інфрачервону область. Частина сонячної радіації в ближній інфрачервоній області поглинає атмосферний аерозоль.

Відомо декілька конструкцій та схем побудови імітаторів сонячного випромінювання, що відрізняються спектральними характеристиками.

Для проведення порівняння енергетичних характеристик СЕ при штучному та натурному освітленні використовувався імітатор з технічними характеристиками, показаними в табл. 1.

Таблиця 1

**Технічні характеристики імітатора, які використані при проведенні експериментальних досліджень**

Потужність потоку випромінювання, що надходить на вимірювальний столик	1000 Вт/м <sup>2</sup> ± 10 %
Діаметр опромінюваної площини	0,12 м
Рівномірність освітлення у площині вимірювального столика	± 4%
Електричне живлення:	
напряга	220 В ± 10 %
частота	50 Гц ± 4 %
Габаритні розміри імітатора:	
висота	716 мм
діаметр	315 мм

Конструкція імітатора дозволяє максимально наблизити спектр випромінювання джерела освітлення до спектра сонячного випромінювання. при цьому отримувати значення енергетичних характеристик СЕ, наближені до відповідних величин, отриманих в природних умовах. Але технічно неможливо створити імітатор сонячного випромінювання, який відобразить ідеально точно весь спектр Сонця. Та коли потрібно мати дані про енергогенерувальну спроможність СЕ в натурних умовах, що важливо при побудові всієї установки. Тому проводились вимірювання характеристик СЕ і з імітатором і в натурних умовах з метою подальшого їх порівняння.

Експериментальні дослідження з визначення енергетичних характеристик СЕ при природному освітленні проводилася в Дніпропетровському регіоні.

У експериментах для визначення особливостей енергогенерування при штучному та природному освітленні, використовувалися кремнієві монокристалічні сонячні елементи.

В ході проведення роботи за допомогою автономного вимірювального комплексу, який був створений для цих досліджень, фіксувалися основні характеристики, що дозволяють оцінити ефективність перетворення різного рівня сонячного випромінювання. Це сила струму і напруга, що отримані при різних навантаженнях. На підставі отриманих експериментальних даних розраховувалися та аналізувалися основні критерії, що дозволяють оцінити ефективність і рівень енергогенерування: струм короткого замикання, напруга холостого ходу, вольтамперні характеристики, ККД перетворення сонячного випромінювання, коефіцієнт заповнення вольтамперної характеристики, потужність, що генерується.

Вплив рівня штучної та природної освітленості на енергетичні параметри СЕ напівпровідник-діелектрик-напівпровідник-структури (НДН-структури) показаний на рис. 2.

При вимірюванні СЕ при штучному освітленні в діапазоні від 200 Вт/м<sup>2</sup> до 900 Вт/м<sup>2</sup> було отримано збільшення в 2...2,5 рази струму короткого замикання, у порівнянні з подібним режимом, але при природному освітленні. При цьому аналіз проведених вимірювань показав, що у даному випадку струм короткого замикання, зв'язаний з інтенсивністю випромінювання лінійною залежністю. Однак, при цьому, швидкість збільшення параметра трохи більше, ніж у випадку природного освітлення та складає 0,3 мА/Вт. Аналіз графічної залежності, що характе-

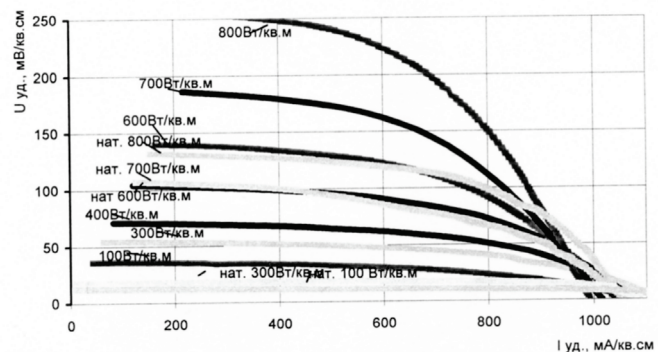


Рис. 2. Експериментальні вольтамперні характеристики СЕ з НДН структурою при різному рівні штучного та природного освітлення

ризує динаміку зміни напруги холостого ходу при зміні рівня штучного освітлення показав, що цей параметр знижується в середньому в 1,1 рази, в порівнянні з аналогічним параметром, що вимірювались для даного СЕ при природному освітленні. При рівні штучної енергетичної освітленості вище  $700 \text{ Вт/м}^2$  спостерігається його насичення.

З отриманих вольтамперних характеристик випливає, що для заданих умов від одного сонячного елемента можна одержати різну кількість енергії. При цьому існує оптимальне навантаження (так називана робоча точка), при якому від СЕ можна отримати максимальну потужність. Збільшення кількості сонячної енергії, що надходить, призводить до зміни навантаження — основної характеристики робочої точки.

Експериментально було отримано залежності, які характеризують динаміку зміни робочої точки для СЕ при збільшенні рівня енергетичної освітленості. Графічно ці залежності показані на рис. 3.

Аналіз графічних залежностей, які відображають зміну питомого опору, що характеризують робочу точку СЕ показав, що підвищення рівня освітленості призводить до необхідності зниження опору навантаження для досягнення максимальної потужності та ККД. Крива має кілька характерних ділянок. На ділянці, що відповідає рівню освітленості від  $200 \text{ Вт/м}^2$  до  $500 \text{ Вт/м}^2$  відбувається значне зниження потенційного навантаження (з  $10 \text{ Ом/м}^2$  до  $2 \text{ Ом/м}^2$ ) для досягнення максимальної енергогенерації; швидкість зниження складає  $0,03 \text{ Ом/Вт}$ . На ділянці, що відповідає рівню освітленості вище  $500 \text{ Вт/м}^2$ , навантаження, необхідне для досягнення максимальної енергогенерації, практично не змінюється; швидкість зміни параметра не більше  $0,002 \text{ Ом/Вт}$ .

Відомо, що сонячний елемент перетворює в електричну енергію тільки частину енергії випромінювання, що надходить. Інша частина втрачається в результаті низки явищ, що відбуваються під час перетворення енергії. Відомо, що усі види втрат енергії в СЕ поділяються на дві групи. До першої групи відносяться втрати енергії в тих процесах, коли перетворена енергія — промениста. Ці втрати можна назвати світловими втратами. До другої групи відносяться втрати енергії електронів і дірок, генерованих у результаті поглинання випромінювання, що відбуваються під час їхнього руху усередині напівпровідника.

Через наявність вищерозглянутих втрат, ККД реальних СЕ досягає лише трохи більше половини значення теоретичної межі. Величина основних компонентів внутрішнього опору — шарового, контактної та опору контактної сітки фронтальної області СЕ пов'язана з рекомбінаційними й оптичними втратами, що прямо відображається на величині ККД СЕ при різних рівнях освітленості.

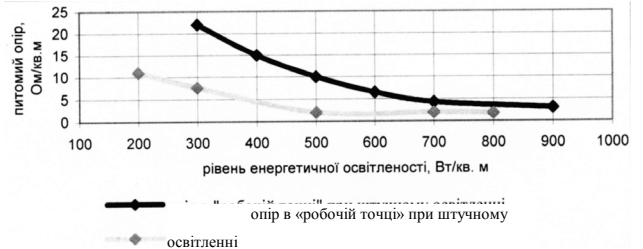
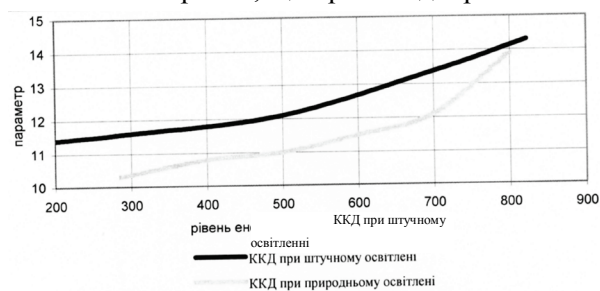


Рис. 3. Залежність питомого опору в робочій точці при різному рівні природного та штучного освітлення

Через наявність вищерозглянутих втрат, ККД реальних СЕ досягає лише трохи більше половини значення теоретичної межі. Величина основних компонентів внутрішнього опору — шарового, контактної та опору контактної сітки фронтальної області СЕ пов'язана з рекомбінаційними й оптичними втратами, що прямо відображається на величині ККД СЕ при різних рівнях освітленості.

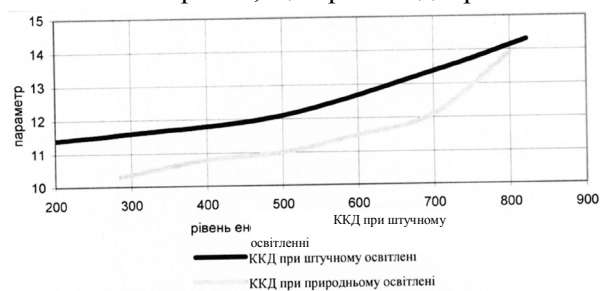


Рис. 4. Вплив рівня природного та штучного освітлення на ККД і коефіцієнт заповнення вольтамперної характеристики СЕ

Ця зміна складає 2,15 рази при освітленні до  $300 \text{ Вт/м}^2$ , а при  $800 \text{ Вт/м}^2$  вона складає 1,5 рази. Отже, важливим фактом, який необхідно враховувати на технологічному етапі побудови СФЕУ визначеної потужності, є те, що при природному освітленні енергетичні параметри СЕ нижчі, ніж при штучному освітленні приблизно у 1,5 рази.

## Висновки

Завдяки експериментальному визначенню особливостей енергогенерування при штучному та

природному освітленні виникла можливість ще на конструкторсько-технологічному етапі створення СФЕУ визначеної потужності найбільш раціонально вирішити проблеми компоновки СЕ. Завдяки цьому експлуатаційні характеристики СФЕУ покращуються, що в свою чергу, призводить до покращення економічних показників.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Васильев А. М., Ландсман А. П. Полупроводниковые фотопреобразователи — М.: Сов. Радио, 1971
2. Кондратьев К. Я. Актинометрия, Л.: Гидрометеиздат, 1965 г. — 256 с.
3. Климатология под ред. Дроздова О. А., Кобышева Н. В. — М.: Гидрометеиздат, 1989 г. — 478 с
4. Лазарев Л. П. Оптикоэлектрические приборы наведения — М.: Машиностроение, 1989 г. — 516 с.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом Всеукраїнської науково-технічної конференції «Альтернативні екологічно чисті та відновлювальні джерела енергії» (30.05—1.06.2007 р.)

Надійшла до редакції 30.06.07  
Рекомендована до друку 02.07.07

**Накашидзе Лілія Валентинівна** — молодший науковий співробітник Інституту енергетики

Дніпропетровський національний університет;

**Терентьєва Наталія Григорівна** — старший викладач, **Бондаренко Віталій Іванович** — доцент.

Кафедра теплотехніки, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту