



STUDY OF THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF UNIVERSAL MONOCRYSTALLINE PHOTOELECTRIC CONVERTERS UNDER VARIOUS LIGHTING CONDITIONS

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК УНІВЕРСАЛЬНИХ МОНОКРИСТАЛІЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ПРИ РІЗНИХ УМОВАХ ОСВІТЛЕННЯ

Habrinets Volodymyr / Габрінець В.О.,

Doctor of Technical Sciences, Prof./ д.т.н., проф.,

Nakashydzhe Liliia / Накашидзе Л.В.,

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher / д.т.н., ст.н.с.,

Dnipro National University

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Анотація. В роботі експериментально досліджуються три типи сучасних монокристалічних кремнієвих фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії, які можуть застосовуватися як в Космосі так і на Землі при різних умовах освітлення. Отримані дані, які визначають вплив орієнтації та інтенсивності сонячного випромінювання на енергетичні характеристики цих перетворювачів, Ці дані надані у вигляді графіків та таблиць. Надані рекомендації по вибору та застосуванню досліджених перетворювачів.

Ключові слова: фотоелектричний перетворювач, енергетичні характеристики ФЕПа, орієнтація панелі, концентрація випромінювання.

Постійне посилення техніко-економічних вимог до систем генерування енергії на Землі на космічних апаратах зумовлює необхідність безперервного вдосконалення фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) та конструктивних елементів з метою покращення енергетичних, масогабаритних, ресурсних та інших основних характеристик. ФЕП, які розташовані як на поверхні Землі так і в умовах Космосу вимагають наявності системи орієнтації та стабілізації (СОС), для найбільш ефективної роботи. Без неї КА буде випадковим чином обертатися під час руху орбітою. Йому необхідні датчики, які б визначали його кутове положення щодо системи звіту (наприклад, пов'язаної із землею) та виконавчі пристрої, які б коригували кутове положення. На Землі СОС також є необхідною для отримання більшої кількості енергії від ФЕП. Важливими вимогами для широкомасштабного застосування ФЕУ на Землі і Космосі є зниження вартості електроенергії, що отримується та отримання високо рівня енергогенерування. Ці ефекти досягаються за рахунок успішного впровадження наукових досягнень, які проводяться за кількома напрямками. Серед них



можливо назвати такі:

- створення нових схем та матеріалів для устрою комірок фотоелектричних перетворювачів (ФЕП);
- створення нових технологій, які підвищують ефективність роботи ФЕП;
- удосконалення окремих складових вузлів та конструкційного виконання ФЕП;
- удосконалення технології виробництва основних конструктивних складових за рахунок використання сучасних та дешевих матеріалів.

Основним матеріалом зараз є кремній, з котрого виконано більше 90% ФЕП. При цьому поширене використання трьох типів сонячних панелей: кремнієві монокристалічні, кремнієві полікристалічні та тонкоплівкові сонячні панелі [1]. Монокристалічні панелі характеризуються високим ККД. Монокристалічні ФЕП добре працюють в умовах високої температури та в умовах слабкого освітлення. Суттєвим недоліком монокристалічних панелей є їх більш висока вартість порівняно з іншими типами перетворювачів. Полікристалічні сонячні панелі на відміну від монокристалічних виготовлені з кількох кристалів кремнію, що робить їх економічно більш вигідним варіантом. Але полікристалічні панелі мають нижчий ККД. Найнижчий ККД порівнянні з монокристалічними і полікристалічними панелями мають тонкоплівкові панелі.

Актуальність роботи пов'язана із зростанням темпів використання перспективних сонячних фотоелектричних енергоустановок різного типу на Землі та в космосі. Зниження вартості одержуваної електричної енергії, що генерується ФЕП, дозволить таким установкам стати конкурентно здібними з джерелами електричної енергії, що одержуються за рахунок використання інших методів перетворення. Це дозволить використовувати їх широкомасштабно.

В [1-3] проводилось порівняння економічних показників фотоелектричної та термодинамічної параболоциліндричної сонячної станції однакової потужності в 100 МВт, які побудовані в Саудівській Аравії. Автори довели, що ефективність фотоелектричної станції в середньому на 33.3% нижче, ніж ефективності термодинамічних систем, але капітальні витрати на будівництво та



експлуатацію останніх майже в 4.5 рази вище. Тому термін окупності фотоелектричних станцій буде значно меншим, а при відповідному технічному удосконаленні їх ефективність може наближатися до ефективності термодинамічних систем. Вартість електричної енергії, яка видобувається фотоелектричними станціями, також постійно зменшується. В [4-7] наведені дані U.S. Energy Information Administration щодо вартості фотоелектричної енергії, яка складає 33.12 \$/МВт·год і є найменшою в порівнянні із вартістю електричної енергії, що генерується іншими типами систем на основі відновлювальних джерел енергії. Ефективність різних типів ФЕП, що відображає поточний стан техніки та підтверджена незалежними визнаними випробувальними лабораторіями, такими як NREL, AIST, JRC-ESTI представлена у стандартизованому вигляді в [8-12]. Вимірювання нових ФЕП повинні відповідати стандартним умовам випробувань або звітності, визначеним глобальним еталонним спектром для плоских пристроїв і прямим еталонним спектром для концентраторів, як зазначено в стандартах IEC 60904-3, видання 2, або ASTM G173. Еталонна температура становить 25 °С, а площа - це загальна площа комірки або площа, що визначається апертурою. Для підвищення ефективності ФЕП в межах існуючих конструкцій застосовуються новітні технології, застосування яких підвищує ефективність ФЕП та знижує їх собівартість. Серед них можна назвати технологія PERC (пасивований випромінювач та тильний елемент), технологія гетеропереходів HJT (створення декількох р-п переходів), технологія TOPCon (тунельний оксидний пасивований контакт), технологія Hetero-PERC (гетеропереход с тильним контактом Р-типа). Усі вони дозволяють підняти ККД ФЕП до значень 21-24%, що є близьким до теоретичного значення ККД ФЕП на основі кристалічного кремнію, який дорівнює 28%.

Метою дослідження є визначення впливу умов освітлення монокристалічних кремнієвих ФЕП різної структури на їх енергогенерувальну спроможність

Для цього були вирішені наступні завдання:



- визначення ефективності монокристалічних кремнієвих ФЕП різної структури при звичайному сонячному випромінюванні;
- визначення ефективності монокристалічних кремнієвих ФЕП різної структури за наявності концентратора сонячного випромінювання;
- визначення ефективності монокристалічних кремнієвих ФЕП різної структури за наявності системи орієнтації;
- визначення ефективності монокристалічних кремнієвих ФЕП різної структури за наявності одночасної системи орієнтації та концентрації.

Для визначення умов та критеріїв раціональності використання ФЕП у сонячних фотоелектричних установках було виготовлено фізичні моделі ФЕУ (планарний режим функціонування та режим концентрування та орієнтації сонячного випромінювання), що дозволяють визначити ефективність їх енергогенерування в умовах природної наземної інсоляції.

Для цих моделей використовувалися такі варіанти конструктивного виконання кремнієвих монокристалічних ФЕП:

- метал-діелектрик-напівпровідник (МДН),
- напівпровідник-діелектрик-напівпровідник (НДН) з товстою базовою областю,
- напівпровідник-діелектрик-напівпровідник (НДН) з тонкою базовою областю.

Для виготовлення ФЕП МДН-структури як вихідний матеріал застосовували кремній n-типу марки 100 KEФ-4,5/0,1 (100). Попередньо кремнієві пластини оброблені в перекисно-аміачних розчинах для очищення поверхні від різноманітних забруднень. Для створення захисного шару оксиду кремнію, при подальших процесах дифузії бору та фосфору, пластини поміщають у робочу зону дифузійної печі, нагріту до температури 1000⁰С. Окислення проводять серед вологого кисню. При подальшій технологічній операції робочу поверхню пластини наносять шар фоторезиста. Оксид кремнію з тильної поверхні стравлюють і пластини поміщають в робочу зону дифузійної печі, при температурі 1100⁰С проводять загін фосфору в середовищі сухого кисню, а потім



розгін фосфору при $T=1150^{\circ}\text{C}$. Глибина p-n+-переходу $d=6,5\pm 0,3$ мкм, поверхневий опір $R_s=2\pm 0,2$ Ом/квадрат. Потім проводять дифузію бору (з BN) в робочу сторону пластини, попередньо видаляючи товстий шар оксиду кремнію. Після видалення боросилікатного скла контролюють глибину залягання p-n-переходу $d=0,45\pm 0,05$ мкм та поверхневий опір $R_s=40\pm 5$ Ом/квадрат. Потім вакуумним методом напилюють контактну сітку, що складається з металів Cr, Cu, Ni. Поверхневий опір усієї контактної системи становить не більше 0,02 Ом/квадрат. Як просвітлювальне покриття використовувався нітрид кремнію, обложений в плазмі ВЧ-розряду на вакуумній установці.

При виготовленні ФЕП *структури напівпровідник-діелектрик-напівпровідник (НДН) з товстою базовою областю* як вихідний матеріал застосовувався кремній р-типу марки 100 КДБ-10 (111). Кремнієві пластини оброблені в лужних розчинах для очищення поверхні від різноманітних забруднень і надання поверхні пластини певної топології. Потім проводиться високотемпературне окиснення пластин кремнію. Після нанесення шару фоторезиста на задній бік пластини проводиться процес видалення окисної плівки з робочої сторони пластини. Після подальшої хімічної обробки пластини поміщаються в дифузійну піч для проведення заgonу бору. Глибина переходу $d=0,5$ мкм, поверхневий опір $R_s=30\pm 5$ Ом/квадрат. Потім пластини поміщаються в робочу зону дифузійної печі, де при температурі 850°C проводиться загін фосфору. Глибина p-n+-переходу $d=0,45\pm 0,1$ мкм, поверхневий опір $R_s=60\pm 0,2$ Ом/квадрат. Вакуумним методом наносяться алюмінієві контакти на передню поверхню пластини. Поверхневий опір усієї контактної системи становить не більше 0,02 Ом/квадрат. Як просвітлювальне покриття використовується оксид олова, який осаджують термохімічним методом.

Основою для ФЕП *структури напівпровідник-діелектрик-напівпровідник (НДН) із тонкою базовою областю* типу служить кремній монокристалічний марки КДБ-10. Поверхня ФЕП текстурована з метою зменшення втрат променистої енергії на відображення (не більше 12%). Для зменшення швидкості поверхневої рекомбінації проведена пасивація поверхні структур. Як матеріали



провідних електродів застосовувалися алюміній і срібло. Глибина „р”-шару $d=5-0,6$ мкм, $R_s=90$ Ом/квадрат, глибина „n”-шару $d=0,5$ мкм, при цьому $R_s=30$ Ом/квадрат.

Були вивчені такі варіанти комплектації структури ФЕУ, у яких ФЕП (вище зазначених типів) перебувають у різних умовах експлуатації. Вони звалися варіанти комплектації. Б, О, ОК.

-(Б) ,—модуль установки без орієнтації, без концентрації сонячного випромінювання та з постійним навантаженням.

-(О), модуль установки з орієнтацією, без концентрації сонячного випромінювання та з постійним навантаженням;

-(ОК), модуль установки з орієнтацією, з концентрацією сонячного випромінювання та з постійним навантаженням;

Для подальшого аналізу отриманих даних була розрахована питома потужність ($P_{\text{пит}}$), що є кількісною енергетичною оцінкою функціонування досліджених ФЕП. За отриманими значеннями побудовано графічну залежність $P_{\text{пит}}$ від часу доби. Результати подано на рис.1-3. та таблицях 1-3. Для порівняння характеристик двох варіантів комплектації ФЕП при однакових умовах були побудовані графіки окремо для двох варіантів установки: 1-без орієнтації та концентрації; 2- з орієнтацією та концентрацією.

Було проведено довгострокові експериментальні вимірювання енергетичних параметрів ФЕП в умовах сонячного природного освітлення. Експериментальне вивчення енергогенеруючої здатності ФЕП проводилося відповідно до обраної методики отримання світлової вольтамперної навантажувальної характеристики. Інструментальне забезпечення експериментальної роботи здійснювалося з допомогою розробленого автоматизованого експериментального вимірювального комплексу. Автоматизований вимірювальний комплекс забезпечив можливість вивчення ефективності функціонування ФЕП різної структури у складі ФЕУ за різного рівня енергетичного освітлення за наявності системи концентрації та орієнтації сонячного випромінювання і без неї. За допомогою автономного експериментального вимірювального комплексу



фіксувалися основні характеристики, що дозволяють об'єктивно оцінити ефективність перетворення сонячного випромінювання – сила струму та напруга, що отримуються за різних рівнів опору навантаження. Експерименти проводились в одні і тіж самі години з 9.00 до 16.00 сонячні дні в червні місяці. Спочатку на дослідницькому обладнанні закріплювався ФЕП з певним типом структури переходу і протягом дня вимірювалися його характеристики в незмінному стані. Наступного дня для нього вимірювалися характеристики цього ФЕП з його орієнтацією кожен час на Сонце. Для ФЕП з структурою НДН з товстою базовою областю було проведено експерименти без орієнтації на Сонце і з орієнтацією. Результати наведено на рисунку 1.

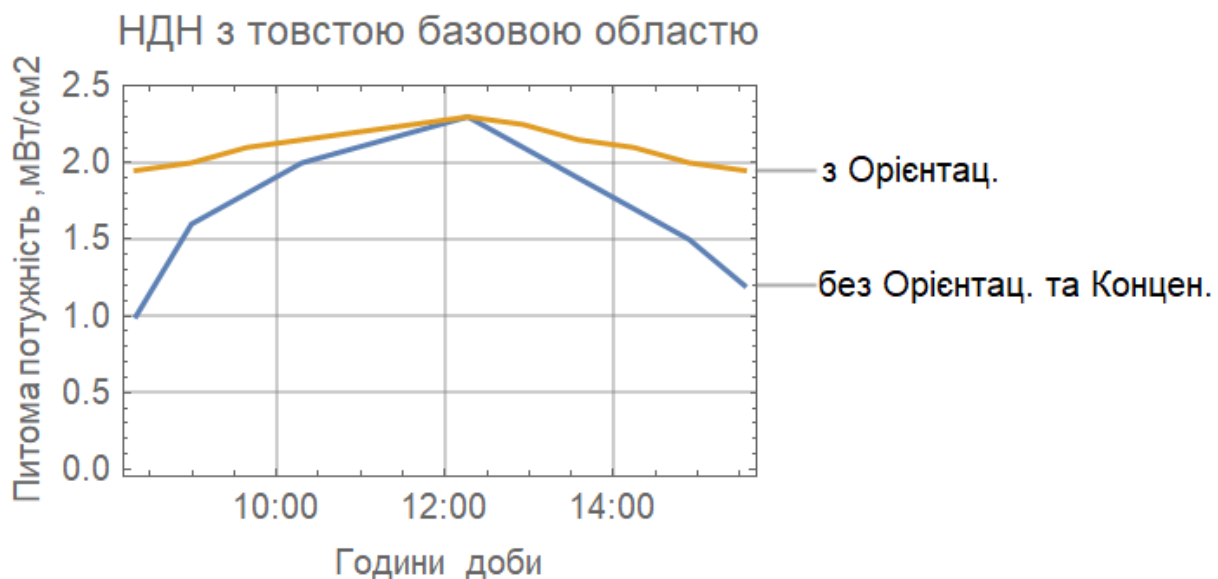


Рисунок 1 - Енергетичні характеристики ФЕП структури НДН з товстою базовою областю без орієнтації на Сонце і з орієнтацією.

Суттєвого збільшення отримання енергії ФЕП структури НДН з товстою базовою областю не спостерігалось, тому було прийнято рішення не проводити експерименти з орієнтацією. Тому в подальшому застосовувалися два типи комплектації: без орієнтації та концентрації та з орієнтацією та концентрацією.

Для цього до ФЕП додавався концентратор з коефіцієнтом концентрації 3.4 та кожен годину здійснювалася орієнтація системи на Сонце. Відібрані для подальших досліджень ФЕП різного типу були поміщені на дві вимірювальні



панелі ЕАІК, певні зразки були оснащені фоконовим концентратором сонячного випромінювання. Кожен вимірюваний зразок був оснащений захисним покриттям. В наступні три дні проводилися експерименти з ФЕПом, у котрого інший тип р-n переходу.

Результаті дослідження трьох типів надані на наступних рисунках 2-4.

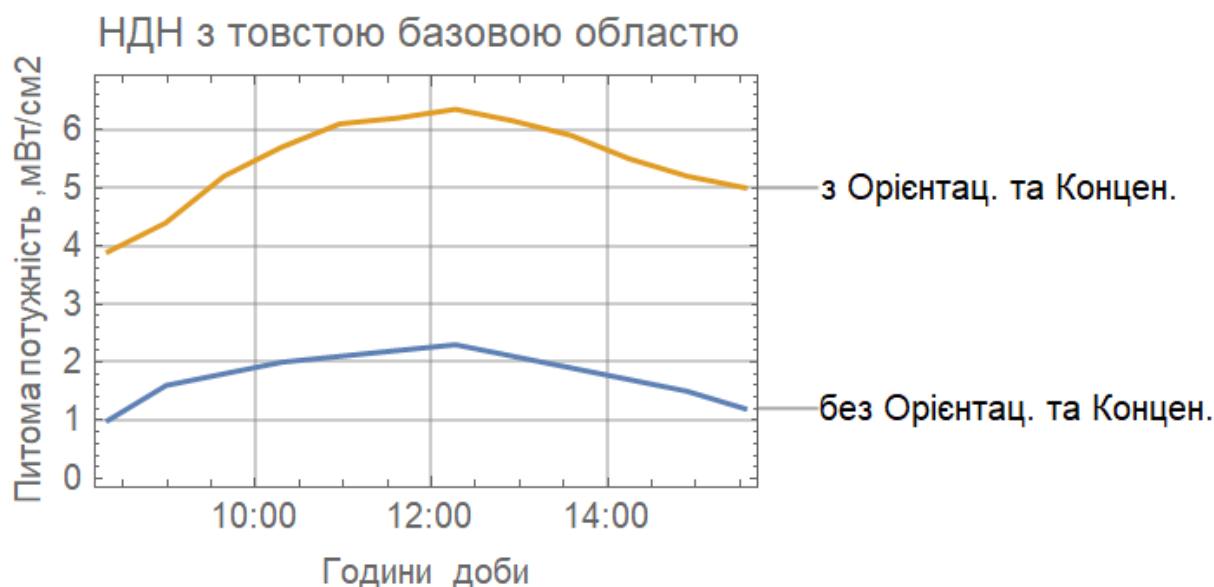


Рисунок 2 - Зміна енергетичної потужності ФЕП структури НДН з товстою базовою областю при різних годинах надходження сонячної енергії

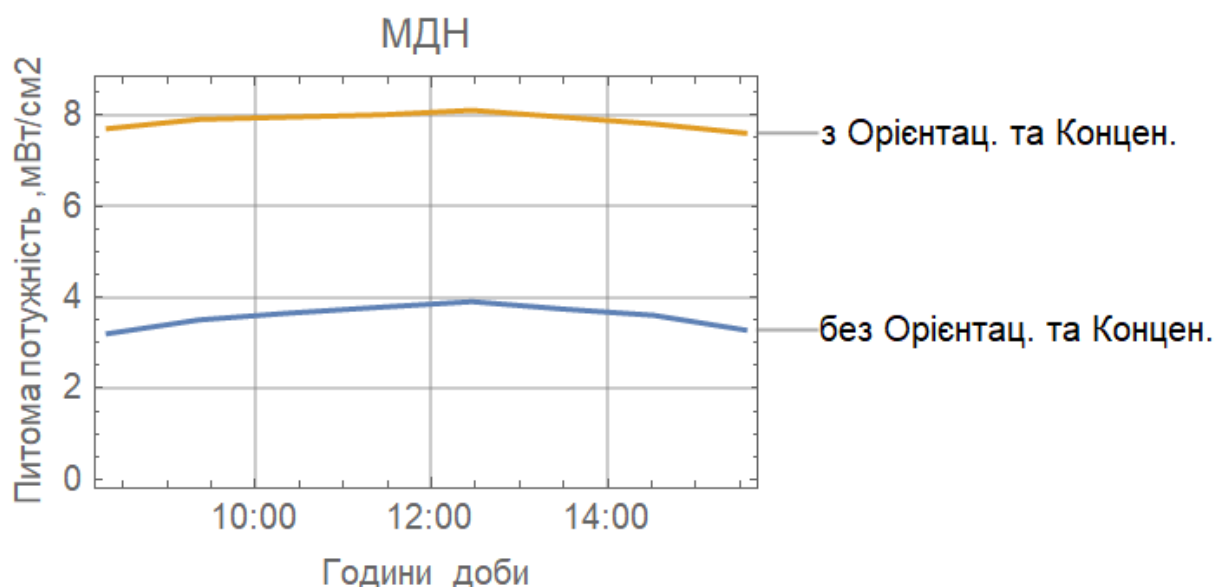


Рисунок 3 - Зміна енергетичної потужності ФЕП структури МДН при різних годинах надходження сонячної енергії

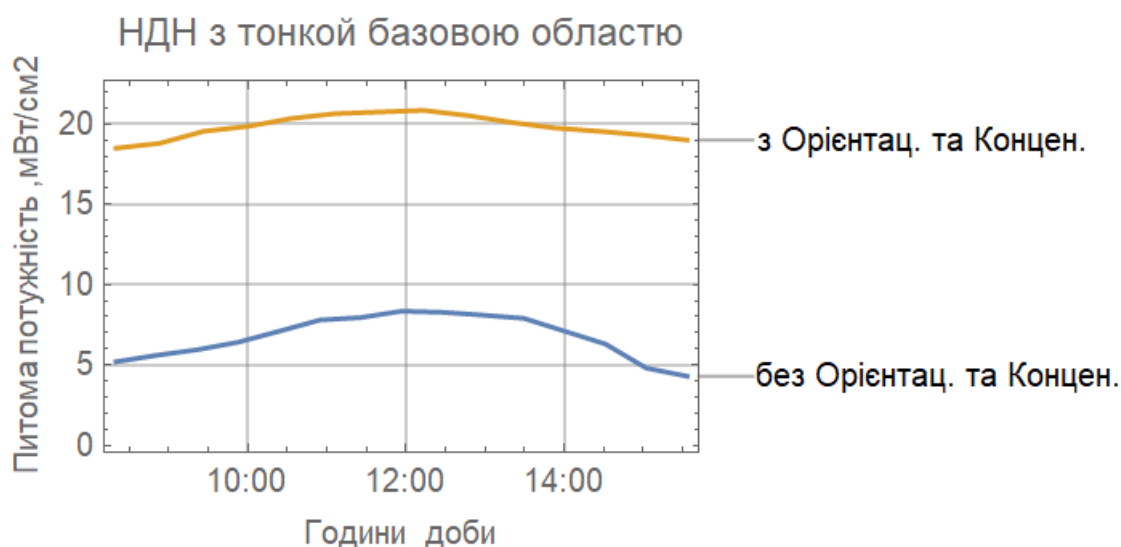


Рисунок 4 - Зміна енергетичної потужності ФЕП зі структурою НДН з тонкой базовою областю при різних годинах надходження сонячної енергії

Після цього було проведено дослідження з метою виявлення впливу орієнтації та концентрації сонячної енергії на характеристики ФЕП. В якості первинного зразка було вибрано ФЕП із структурою НДН з товстою базовою областю. Його характеристики питомої енергії мВт/см² були найменшими в відповідні години доби приймалися за одиницю. Потім в такі ж самі години бралися характеристики двох інших ФЕПі із структурами МДН та НДН з тонкою базовою областю, котрі ділилися на значення характеристик ФЕП НДН з товстою базовою областю. Значення потужностей ФЕП, котрі бралися з графіків рисунків 2, 3,4 для розрахунків наведені в таблицях 1, 2, 3.

Таблиця 1 - Значення питомої енергії мВт/см² для ФЕП без орієнтації та концентрації

| Тип ФЕП | Потужність ФЕП, мВт/см ² | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Час виміру | | | | | | | |
| | 9.00 | 10.00 | 11.00 | 12.00 | 13.00 | 14.00 | 15.00 | 16.00 |
| НДН з тонкою базовою областю | 5.2 | 7 | 7.5 | 8 | 7.7 | 7.5 | 5 | 4.9 |
| МДН | 3.2 | 3.7 | 3.8 | 3.9 | 3.95 | 3.8 | 3.4 | 3.1 |
| НДН з товстою базовою областю | 1.6 | 1.9 | 2.05 | 2.2 | 2.05 | 1.8 | 1.6 | 1.1 |



Таблиця 2 - Значення питомої енергії мВт/см² для ФЕП з орієнтацією та концентрацією

| Тип ФЕП | Умовна потужність мВт/см ² | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Час виміру | | | | | | | |
| | 9.00 | 10.00 | 11.00 | 12.00 | 13.00 | 14.00 | 15.00 | 16.00 |
| НДН з тонкою базовою обл. | 19 | 20 | 20.7 | 20.9 | 21 | 19.6 | 19.4 | 18.5 |
| МДН | 7.85 | 7.95 | 8 | 8.05 | 8.1 | 7.9 | 7.8 | 7.3 |
| НДН з товстою базовою обл | 4.1 | 5.5 | 6.4 | 6/2 | 6 | 5.8 | 5.5 | 4.5 |

Було проаналізовано вплив орієнтації та концентрації на різні типи ФЕПів з SiO₂/nSi-n⁺-Si-p та та n⁺-p-p⁺- перехідами відносно ФЕПа з p-n-p⁺ перехідом шляхом порівнянь питомих щільностей отриманих енергій при різних видах комплектації, но в однаковий час.

Таблиця 3 - Без орієнтації та концентрації

| Тип ФЕПу | Відношення умовних потужностей | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Час виміру | | | | | | | |
| | 9.00 | 10.00 | 11.00 | 12.00 | 13.00 | 14.00 | 15.00 | 16.00 |
| НДН з тонкою базовою областю | 3.9 | 1.93 | 1.85 | 1.77 | 1.94 | 2.11 | 2.32 | 2.8 |
| МДН | 2 | 3.63 | 3.48 | 2.53 | 2.34 | 3.42 | 2.46 | 2.58 |
| НДН з товстою базовою обл | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Таблиця 4 - З орієнтацією та концентрацією

| Тип ФЕП | Відношення умовних потужностей | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Час виміру | | | | | | | |
| | 9.00 | 10.00 | 11.00 | 12.00 | 13.00 | 14.00 | 15.00 | 16.00 |
| НДН з тонкою базовою обл. | 3.68 | 3.63 | 3.47 | 3.42 | 3.39 | 3.43 | 3.49 | 3.77 |
| МДН | 1.6 | 1.45 | 1.34 | 1.31 | 1.34 | 1.37 | 1.41 | 1.61 |
| НДН з товстою базовою обл | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |



Для порівняння характеристик трьох різних ФЕП при однакових умовах дані таблиць 3 та 4 були зроблені у вигляді графіків окремо для двох варіантів установки: 1-без орієнтації та концентрації; 2- з орієнтацією та концентрацією. Результати порівняння надані на рисунках 4 та 5.

Без орієнтації та концентрації

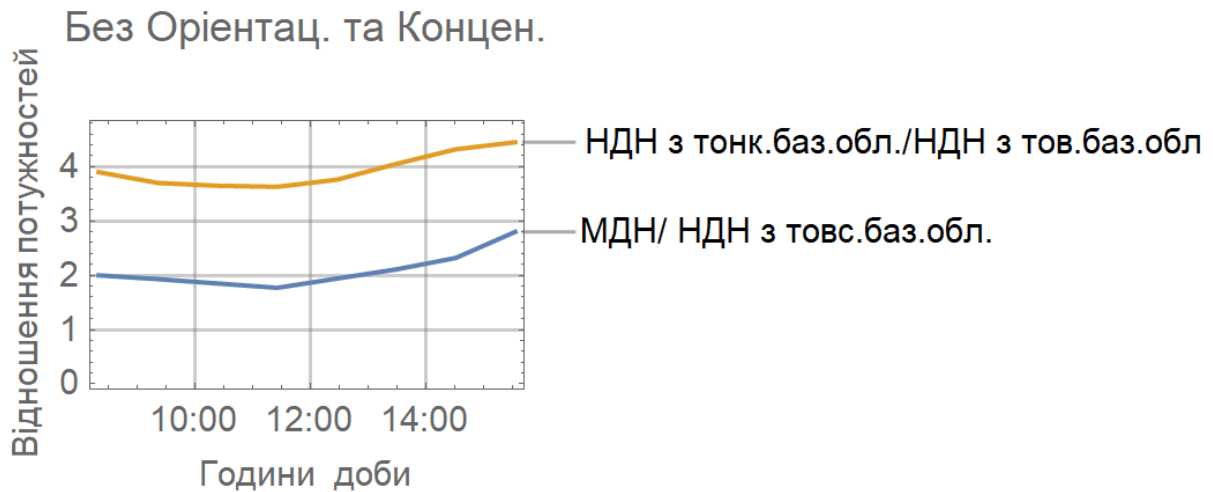


Рисунок 4 - Відношення енергетичних потужності ФЕП з різною структурою при різних годинах надходження сонячної енергії без орієнтації та концентрації

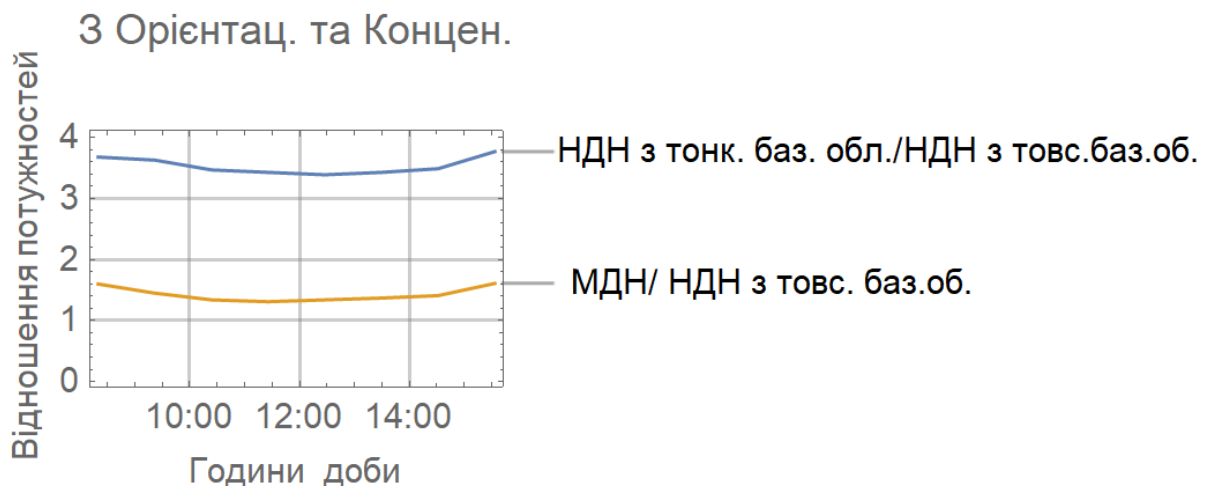


Рисунок 5 - Відношення енергетичних потужності ФЕП з різною структурою при різних годинах надходження сонячної енергії при наявності орієнтації та концентрації



Аналіз представлених даних дозволяє зробити наступні висновки;

1- Орієнтація та концентрація суттєво підвищує енергетичні характеристики. усіх ФЕП, як наземного так і космічного застосування. В відсотковому відношенні найбільше підвищення мав ФЕП з НДН з товстою базовою областю на 300% при орієнтації та концентрації. Для ФЕП з МДН підвищення були 243% . Для ФЕП з НДН з тонкою базовою областю мало місце підвищення на 285% відповідно

2- Зниження темпу зростання характеристик ФЕП з 11.00 до 13.00 можна пояснити впливом високої температури при наявності концентратора.

3- При наявності орієнтації та концентрації продуктивність ФЕП з МДН та НДН з тонкою базовою областю зростає швидше ніж НДН з товстою базовою областю.

4- При зменшенні інтенсивності радіації в вечірні та утрішні години енергетичні характеристики ФЕП з МДН та ФЕП з НДН з тонкою базовою областю не так різко зменшуються як для ФЕП з НДН з товстою базовою областю

5. ФЕП з ПДП-структури з тонкою базовою областю можна застосовувати в наземних та космічних умовах, як з системою концентрації сонячного випромінювання, так і без. Тому що при природному сонячному освітленні у ФЕП ПДП-структури з тонкою базовою областю із системою концентрації сонячного випромінювання струм короткого замикання мже зростає до 5 разів

Літературні джерела

1. Awan, A.B., Zubair M., Praveen R.P., Bhatti, A.R., Design and comparative analysis of photovoltaic and parabolic trough based CSP plants. Solar Energy, 2019, Vol. 183, P. 551–565.

2. Ahmadi M.H., Ghazvini M., Sadeghzadeh M., Nazari M.A., Kumar R., Naeimi A., Ming T., Solar power technology for electricity generation: A critical review, Energy Science and Engineering, 2018, Vol.6, no.5, P. 340 – 361.

3.. Режим доступу: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>

4. Akbar Maleki, Arman Haghghi, Mamdouh El Haj Assad, Ibrahim Mahariq,



Mohammad Alhuyi Nazari, A review on the approaches employed for cooling PV cells, *Solar energy*, 2020, Vol.209, P.170–185.

5. Neelam Rathore, Narayan Lal Panwar, Fatiha Yettou, Amor Gama, A comprehensive review of different types of solar photovoltaic cells and their applications, *International Journal of Ambient Energy*, 2021, Vol.42, Is.10, P.1200–1217.

6. Egamberdiev B.E., Utamurodova Sh.B., Tachilin S.A. and other, Influence of doping with rare earth elements on the parameters of silicon photocells, *Applied Solar Energy*, 2022, Vol.58, no.4, P.490 – 496.

7.. Bazarbayev R., Kurbanov D., Karazhanov S., Yakubov K. The possibility of the exploration of influence of external factors on the solar panels in laboratory conditions, *Applied Solar Energy*, 2023, Vol.59, no.2, P.164 – 168.

8. Chunlei Sun, Yuan Zou, Caiyan Qin, Bin Zhang, Xiaohu Wu, Temperature effect of photovoltaic cells: a review, *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 2022, no.5, P. 2675–2699.

9. Fazal M.A., Saeed Rubaiee, Progress of PV cell technology: Feasibility of building materials, cost, performance, and stability, *Solar Energy*, 2023, Vol.258, P.203 – 219.

10. Green M.A., Dunlop E.D., Levi D.H., Hohl-Ebinger J., Masahiro Yoshita, Anita W.Y. Ho-Baillie, Solar cell efficiency tables (version 54), *Progresses in Photovoltaics*, 2019, Vol.27, Is.7, P.562 –572.

11. Knysh L.I., Gabrinets V.A. Refinement of microstructure parameters of solar cells, based on gallium arsenide for a combined solar power plant, *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology*, 2013, V.121, no.3, P.66 – 71.

12. Knysh L.I., Gabrinets V.A. The assessment of efficiency PV/T – technology in combined solar power plants, *Scientific Bulletin of National Mining University*, 2013, №2, P.74 – 78.13. Kabulov R.R., Gerasimenko S.Yu., Akbarov F.A. Effect of solar radiation of different power on the internal amplification of the primary photocurrent in heterostructures based on cadmium telluride, *Applied Solar Energy*, 2023, Vol.59, no.2, P.118–124.



14. Avezova N.R., Rakhimov E.Yu., Dalmuradova N.N. and other, Selection and justification of rational technical solutions for power supply systems based on solar energy, Applied Solar Energy, 2022, Vol.58, no.6, P.860 – 868.

15. Frid S.E., Lisitskaya N.V., Muminov Sh.A. The optimal angle of inclination of photovoltaic modules to the horizon”, Applied Solar Energy, 2023, Vol.59, no.1, P.26 – 29. 121

Abstract. *The paper experimentally investigates three types of modern monocrystalline silicon photovoltaic solar energy converters, which can be used both in Space and on Earth under different lighting conditions. The data obtained determine the influence of the orientation and intensity of solar radiation on the energy characteristics of these converters. These data are presented in the form of graphs and tables. Recommendations are given for the selection and application of the studied converters.*

Key words: *photovoltaic converter, energy characteristics of the FEP, panel orientation, radiation concentration*