

КОНЦЕПЦІЯ ГІБРИДНОГО ФОТОЕНЕРГЕТИЧНОГО МОДУЛЯ У СКЛАДІ ВИСОКОЕФЕКТИВНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

Експериментально досліджено вплив робочої температури на ефективність кремнієвих фотоелектричних перетворювачів промислового виробництва. Показано, що зі зростанням робочої температури зниження коефіцієнта корисної дії становить $0,07\%/^{\circ}\text{C}$, що істотно вище, ніж в приладових структурах європейського і вітчизняного виробництва і обумовлено нетрадиційним зниження густини струму короткого замикання. На основі експериментальних результатів запропоновано концепцію гібридного фотоенергетичного модуля, оснащеного дзеркальними концентратором сонячного випромінювання та системою охолодження фотоелектричних перетворювачів для комплектації високоєфективної фотоелектричної станції. Концентратор сонячного випромінювання, забезпечує 1.7 кратне підвищення електричної потужності модуля, а система водяного охолодження дозволяє знизити рівноважну температуру модуля на 10 градусів і зменшити вдвічі втрати ККД від перегріву. Реалізація запропонованої концепції дозволить зменшити кількість модулів необхідних для комплектації фотоелектричної станції заданої потужності. Бібл. 10, табл. 1, рис. 7.

Ключові слова: фотоелектричні перетворювачі на основі кристалічного кремнію, робоча температура, коефіцієнт корисної дії, вихідні параметри, світлові діодні характеристики.

Експериментально исследовано влияние рабочей температуры на эффективность кремниевых фотоэлектрических преобразователей промышленного производства. Показано, что с ростом рабочей температуры снижение коэффициента полезного действия составляет $0,07\%/^{\circ}\text{C}$, что существенно выше, чем в приборных структурах европейского и отечественного производства и обусловлено нетрадиционным снижением плотности тока короткого замыкания. На основе экспериментальных результатов предложена концепция гибридного фотоэлектрического модуля, оснащенного зеркальным концентратором солнечного излучения и системой охлаждения фотоэлектрических преобразователей для комплектации высокоэффективной фотоэлектрической станции. Концентратор солнечного излучения, обеспечивает 1.7 кратное повышение электрической мощности модуля, а система водяного охлаждения позволяет снизить равновесную температуру модуля на 10 градусов и уменьшить вдвое потери КПД от перегрева. Реализация предложенной концепции позволит уменьшить количество модулей необходимых для комплектации фотоэлектрической станции заданной мощности. Библ. 10, табл. 1, рис. 7.

Ключевые слова: фотоэлектрические преобразователи на основе кристаллического кремния, рабочая температура, коэффициент полезного действия, выходные параметры, световые диодные характеристики.

Вступ. В даний час в результаті підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) промислових зразків монокристалічних кремнієвих фотоелектричних перетворювачів (Si-ФЕП) до 17-18% при істотному зниженні їх вартості китайські виробники стали найбільшими імпортерами фотоелектричної продукції в світі [1]. Значна частина підприємств, що займаються промисловим випуском фотоелектричних модулів, в якості вихідних фотоелектричних перетворювачів використовує ФЕП китайського виробництва. Крім того, найбільший сегмент ринку імпортих фотоелектричних модулів також займають вироби китайських виробників. При продажу ФЕП китайські виробники крім ККД вказують і вихідні параметри серед яких напруга холостого ходу, густина струму короткого замикання, фактор заповнення світлової ВАХ які вимірюються при кімнатній температурі 25°C .

Однак в процесі експлуатації Si-ФЕП відповідно до величини ККД тільки незначна частина сонячної енергії використовується для вироблення електричної енергії. Велика частина сонячного випромінювання перетворюється в приладових структурах в тепло. Це призводить до підвищення робочої температури Si-ФЕП, що призводить до зниження їх ефективності. У значній кількості робіт проаналізовано вплив температури на ефективність монокристалічних Si-ФЕП, які виготовлялися в Європейських країнах і Росії (див., наприклад, в [2-4]). При цьому були встановлені фізичні механізми, що призводять до зниження ККД. У той же час аналогічні дослідження Si-ФЕП китайського виробництва за рідкісним винятком не проводяться [5].

Популярним в даний час варіантом підвищення потужності фотоелектричної станції є обладнання фотоенергетичних модулів (ФЕМ) системою слабкої концентрації сонячного випромінювання. Використання слабоконцентрованого випромінювання представляється економічно виправданим оскільки оснащення ФЕМ концентраторами типу одно- або двосторонній плоский фоклін, як це показано на рисунку 1, зі ступенем концентрації 2, що є оптимальним для ФЕП звичайної конструкції на основі монокристалічного кремнію дозволяє в два рази зменшити кількість використовуваних ФЕП, скоротивши таким чином витрати напівпровідникового матеріалу.



Рисунок 1 – Приклад ФЕМ модуля, обладнаного одно-сторонньою системою слабкої концентрації сонячного випромінювання

Разом з тим попередні розрахунки теплових па-

© М.В. Кіріченко, Р.В. Зайцев, Є.І. Сокол,
Г.С. Хрипунов, Д.С. Прокопенко

раметрів ФЕМ, оснащеного концентратором, показують, що без системи охолодження використання подібного слабоконцентрованого випромінювання призводить до підвищення рівноважної температури ФЕП у складі ФЕМ до 55°C, близької до граничної робочої температури ФЕП.

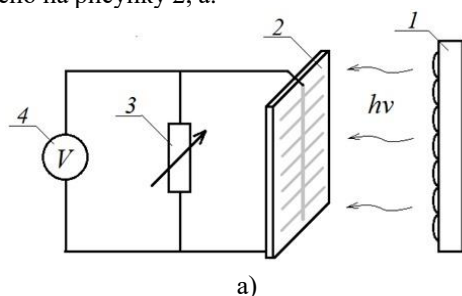
Постановка задачі. Таким чином, дослідження впливу температури на ефективність фотоелектричних процесів в промислових зразках Si-ФЕП китайського виробництва слід вважати актуальним науково-дослідницьким завданням, що має велике практичне значення.

На першому етапі проводилися, експериментальні дослідження впливу температури на вихідні параметри і світлові діодні характеристики промислових зразків кремнієвих фотоелектричних перетворювачів китайського виробництва

На другому етапі проводився аналіз фізичних механізмів впливу температури на вихідні параметри і світлові діодні характеристики промислових зразків кремнієвих фотоелектричних перетворювачів китайського виробництва.

На основі отриманих даних на третьому етапі здійснювалася розробка концепції гібридного фотоелектричного модуля.

Методика проведення експерименту. Вимірювання струму короткого замикання (I_{SC}), напруги холостого ходу (U_{OC}), робочої (I_w) та максимальної (P_{MAX}) електричної потужності, коефіцієнту корисної дії (ККД) та світлових діодних параметрів густина діодного струму насичення (J_0), коефіцієнт ідеальності діода (A), послідовний опір (R_S) і шунтувальний опір (R_{SH}) типових промислових зразків Si-ФЕП китайського виробництва проводилися при потужності сонячного випромінювання 1000 Вт/м². Вимірювання зазначених величин проводилося методом навантажувальної світлової вольт-амперної характеристики з застосуванням розробленого і виготовленого стенду, блок-схему якого наведено на рисунку 2, а.



б)

Рис. 2. Блок-схема (а) та зовнішній вигляд (б) стенду для дослідження Si-ФЕП

Стенд для проведення досліджень ФЕМ включає в себе: світлодіодний освітлювач (рисунок 2, б) з мікроконтролерним управлінням (1), досліджуваний Si-ФЕП (2), магазин активних опорів, що має шість декад з опорами відповідної величини, що дозволяє прецизійно варіювати величину R_H при вимірюванні навантажувальних ВАХ Si-ФЕП в діапазоні $0.01 \leq R_H \leq 1000$ Ом (3) і цифровий мультиметр Mastech MS8226 DMM, призначений для реєстрації експериментальних даних (5). Досягнення необхідної робочої температури досліджуваних Si-ФЕП досягалося шляхом обдування їх повітрям відповідної температури. Визначення вихідних параметрів і світлових діодних характеристик Si-ФЕП здійснювалось з використанням розробленої програми аналітичної обробки, заснованої на апроксимації експериментальних світлових вольт-амперних характеристик (ВАХ) теоретичним виразом з [6].

Результати та їх обговорення.

1. Експериментальні дослідження впливу температури на вихідні параметри і світлові діодні характеристики промислових зразків кремнієвих фотоелектричних перетворювачів китайського виробництва

Для дослідження були обрані монокристалічні Si-ФЕП китайського виробництва з характерними значеннями ККД, які відповідають мінімальним (позначені цифрою 1 на рисунках 3-5), максимальним (цифра 3) і середнім (цифра 2) значенням для приладових структур, представлених на ринку. Для зразків при температурах від 0°C до 50°C були виміряні світлові ВАХ. В результаті подальшого аналітичного опрацювання виміряних світлових ВАХ були визначені вихідні параметри і світлові характеристики Si-ФЕП.

Аналіз показує, що із зростанням температури спостерігається практично лінійне зниження ККД всіх досліджених зразків (рисунок 3).

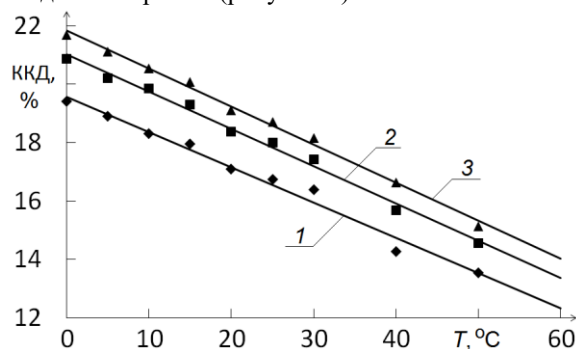


Рисунок 3. Вплив робочої температури на коефіцієнт корисної дії Si-ФЕП

При цьому коефіцієнт зниження, який описує відносну зміну ККД при зміні температури на один градус, становить 0,7%/°C. Для напруги холостого ходу і густини струму короткого замикання також спостерігається зниження їх величин при збільшенні робочої температури (рисунок 4 а, б) фактор заповнення світлової ВАХ практично не змінюється з ростом температури.

Аналіз світових діодних характеристик показав, що зафіксоване зниження ККД обумовлено збільшенням густини діодного струму насичення (рисунок 5, а) і зниженням шунтувального опору (рисунок 5, б).

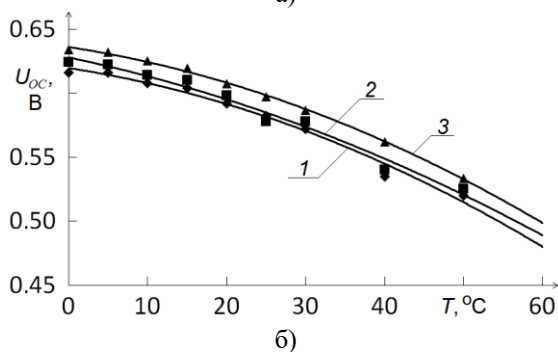
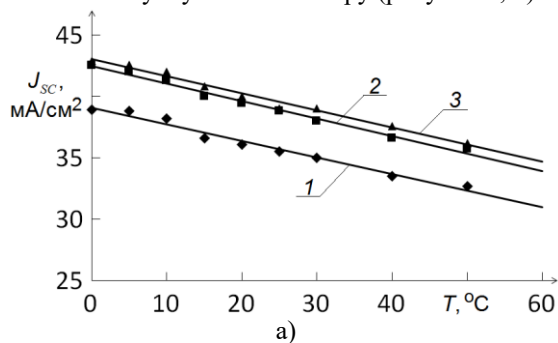


Рисунок 4. Вплив робочої температури на густину струму короткого замикання (а) і напругу холостого ходу (б) Si-ФЕП

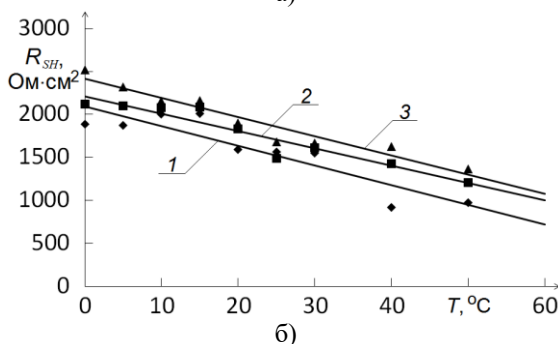
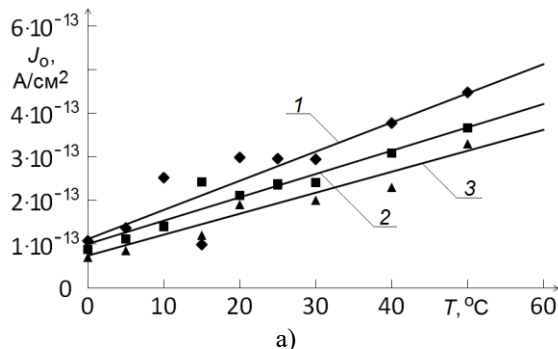


Рисунок 5 – Вплив робочої температури на густину діодного струму насичення (а) та шунтувальний опір (б)

2. Аналіз фізичних механізмів впливу температури на вихідні параметри і світлові діодні характеристики промислових зразків кремнієвих фотоелектричних перетворювачів китайського виробництва

Отримані експериментальні результати лише частково можуть бути прокоментовані в рамках тради-

ційних уявлень про вплив температури на ефективність фотоелектричних процесів в Si-ФЕП, які в узагальнюючому вигляді викладені в [7]. Згідно з традиційними уявленнями, які відповідають експериментальним дослідженням Si-ФЕП при збільшенні температури дифузійна довжина нерівноважних носіїв в Si зростає. Це обумовлено тим, що коефіцієнт дифузії не змінюється або збільшується, а час життя неосновних носіїв зростає при підвищенні температури. Збільшення дифузійної довжини неосновних носіїв призводить до зростання густини струму короткого замикання при збільшенні температури. Однак цей ефект невеликий і становить близько 0,07%/°C. Зниження напруги холостого ходу значно перевищує збільшення густини струму короткого замикання і становить 0,4%/°C. Більш плавна форма світлової ВАХ при підвищених температурах призводить до зменшення фактора заповнення світлової ВАХ. Тому в цілому підвищення температури призводить до відносного зниження ККД 0,5%/°C.

Згідно з отриманими експериментальними даними фактично для ФЕП китайського виробництва відносне зниження ККД вище і становить 0,7%/°C. При цьому густина струму короткого замикання знижується, а фактор заповнення світлових ВАХ практично не змінюється.

Згідно з існуючим фізичним уявленням густина діодного струму насичення є найважливішою світловою діодною характеристикою, яка контролює зміну вихідних параметрів ФЕП при зміні робочої температури. Експоненціальне збільшення густини діодного струму насичення свідчить про те, що основним фізичним механізмом збільшення J_0 є термічно активоване зростання концентрації носіїв заряду. Оскільки експериментальні залежності $J_0(T)$ не лінеаризуються в координатах $\ln J_0 - 1000/T$, то зазначений вище механізм не є єдиним. Не його існування вказує зафіксоване експериментально нетрадиційне зниження щільності струму короткого замикання з ростом робочої температури.

Аналіз діодних характеристик показує, що аномально високе зниження ККД і нетрадиційне зменшення густини струму короткого замикання обумовлено експериментально зафіксованим зменшенням шунтувального опору. Струм по ділянках високої провідності знижує внесок фотоструму в струм короткого замикання і є додатковим фізичним механізмом, що знижує ККД.

3. Розробка концепції гібридного фотоелектричного модуля

Оскільки в ході досліджень було експериментально встановлено висока швидкість зниження ККД Si-ФЕП китайського виробництва, то це в процесі експлуатації нівелює їх досить високі вихідні параметри і обумовлює доцільність використання їх у складі фотоелектричного гібридного модуля (ФЕГМ), який представляє гібрид ФЕП і сонячного колектору і дозволяє за рахунок циркуляції теплоносія забезпечувати охолодження кремнієвої приладової структури. Залежно від необхідних технологічних вимог розроблено три основні режими роботи ФЕГМ [8]: забезпечення максимально ефективного вироблення електро-

енергії, забезпечення максимальної ефективності теплової енергії та забезпечення максимальної сумарної ефективності. В [9] розроблено конструкції, які для забезпечення максимальної електричної потужності забезпечують можливість відведення тепла від лицьової поверхні ФЕП в навколишнє середовище і від тильної сторони до контуру теплоносія. Основною особливістю конструкції модуля, який задовольняє даному режиму роботи, є відсутність повітряного прошарку між ФЕП і світлопрозорим покриттям. При цьому режимі роботи температура теплоносія в контурі повинна бути не більше 35°C. Але оскільки підігрівана модулем рідина має низьку температуру, то потрібно її подальший підігрів, що призводить до необхідності в додатковому устаткуванні. Так, наприклад, такий режим роботи ФЕГМ забезпечує комбінована система гарячого водопостачання, опалення та кондиціонування на основі теплового насоса і ФЕГМ [10].

У даній роботі для охолодження Si-ФЕП китайського виробництва пропонується більш проста і надійна конструкція гібридного фотоенергетичного модуля. Для реалізації системи охолодження за допомогою компаунда з теплопровідністю (1,04-1,44) Вт/(м·К) передбачається забезпечити тепловий контакт тильної поверхні фотоелектричного модуля з алюмінієвим абсорбером, до якого приварені алюмінієві трубки, по яких протікає теплоносій.

Пропонується приклеювання цим компаундом пластин алюмінієвого абсорбера з привареними трубками прямо до задньої поверхні фотоелектричного гібридного модуля, рисунок 6.

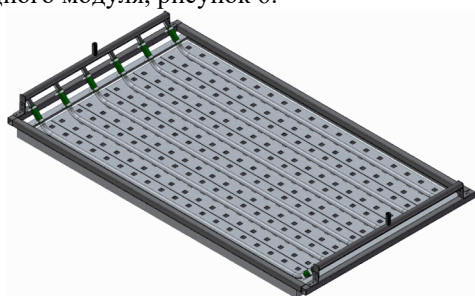


Рисунок 6 – Загальний вигляд ФЕГМ модуля, оснащеного системою охолодження з тильного боку

Були розраховані перепади температур в шарах, що входять в конструкцію стандартного фотоелектричного модуля (рисунок 7).

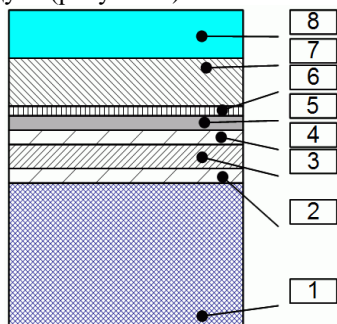


Рисунок 7 – Конструкція фотоелектричного гібридного модуля: 1 - скло; 2, 4 - плівка ЕВА для ламінування; 3 - кремнієвий ФЕП; 5 - захисний шар ПВХ; 6 - шар теплопровідного компаунда; 7 - абсорбер; 8 - теплоносій.

При розрахунку передбачалося природне повітряне охолодження з фронтальної сторони і охолодження теплоносієм з боку тильної поверхні. Площа Si-ФЕП розміром 158 мм на 158 мм становила 0,02496 м², поглинена ФЕП тепла енергія з урахуванням перетворення сонячної енергії в електричну енергію становить 24,96 Вт/м². Були розраховані теплові опори R_i (К/Вт) і перепади температур ΔT (К) на шарах, які складають конструкцію ФЕП. Результати розрахунків представлені в таблиці 1

Таблиця 1
Розрахункові значення теплового опору R_i (К/Вт) та перепад температур ΔT (К) на шарах, що входять в конструкцію фотоелектричного гібридного модуля

Шари	товщина Δ , мм	коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	R_i , К/Вт	ΔT , К
скло	4	1,15	0,139	-3,48
ЕВА	0,5	0,33	0,0161	-1,52
ФЕП	0,15	150	0	0
ПВХ	0,5	0,33	0,011	-1,52
ЕВА	0,5	0,19	0,105	-2,63
компаунд	0,25	1,28	0,008	-0,20
Al абсорбер	2	236	$3,4 \cdot 10^{-4}$	-0,01

Щоб не витратити електричну енергію, що виробляється модулем на примусову циркуляцію теплоносія, пропонується використовувати термосифонну систему з невеликим перегрівом (5-7)°С щодо навколишнього середовища. Тоді з урахуванням розрахованих перепадів температур в шарах фотоелектричного модуля його перегрів щодо навколишнього середовища зменшується до (10-12)°С, що дозволяє зменшити втрати ККД від перегріву більш ніж в два рази.

Як показує аналіз таблиці 1, найбільший тепловий опір після обов'язкового верхнього скла має захисна плівка ПВХ. Заміна її на більш тонку ПЕТФ (поліетилентерефталат або лавсан), яка випускається товщиною (20-150) мкм і має близьке до ПВХ значення коефіцієнта теплопровідності $\kappa=0,24$ Вт/(м·К) дозволить зменшити ΔT в захисному шарі до (0,2-0,4)°К. Також можливо зменшити товщину шару ЕВА с 0,5 мм до 0,3 мм, що дозволить зменшити ΔT в цьому шарі до 0,9°К. В результаті цих заходів по зменшенню теплового опору системи можна домогтися перевищення температури ФЕП над температурою теплоносія менше 1,5°С.

Крім теплообмінних блоків, що закріплюються безпосередньо на гібридному ФЕГМ, до складу системи охолодження входять також підвідний та відвідний колектори теплоносія, радіатор в якому охолоджується теплоносій, розширювальний бачок і сполучні шланги.

Колектори призначені для організації потоку теплоносія і здійснюють як розподіл єдиного потоку теплоносія, що надходить з радіатора, на шість потоків за числом теплообмінних блоків так і зворотне

об'єднання потоків теплоносія на виході теплообмінних блоків для подачі в радіатор. Колектори можуть виконуватись зі стандартних водопровідних труб. Стиковка колекторів (рисунок 6) з теплообмінними блоками для запобігання електрохімічної корозії і компенсації термічних напружень може виконуватись через перехідники у вигляді відрізків армованого ПВХ шлангу. Охолодження теплоносія, в якості якого може використовуватися вода або водний розчин етиленгліколю, здійснюється при його проходженні через радіатор трубчастої конструкції, що може виготовлятися зі сталевих труб. Трубчаста конструкція радіатора спрощує його виготовлення і забезпечує площу відводу тепла достатню для ефективного розсіювання тепла, відведеного від охолоджуваних ФЕГМ.

Оскільки контур системи охолодження - замкнений, при зміні температури змінюється обсяг рідини і, щоб компенсувати зміни в обсягах, необхідно використовувати розширювальні баки. У запропонованій системі охолодження можливе використання стандартних мембранних розширювальних баків, розроблених для систем теплопостачання із застосуванням сонячних колекторів, що витримують максимальний тиск теплоносія до 10 атм, максимальну температуру теплоносія 70 °С та мають ємність від 30 до 40 л.

Висновки.

1. Дослідження впливу робочої температури на ефективність кремнієвих фотоелектричних перетворювачів китайського виробництва показано, що з ростом робочої температури зниження коефіцієнта корисної дії становить 0,07%/°С, що в істотно вище, ніж в приладових структурах європейського і вітчизняного виробництва і обумовлено нетрадиційним зниження щільності струму короткого замикання.

2. Ідентифікована температурна залежність коефіцієнта корисної дії свідчить про доцільність використання фотоелектричних перетворювачів китайського виробництва в конструкції фотоелектричної теплової установки, яка разом з тепловим насосом входить до складу комбінованої системи гарячого водопостачання, опалення та кондиціонування.

3. На основі проведеного аналізу впливу робочої температури на ефективність роботи фотоелектричних перетворювачів, зроблено висновок про оптимальне конструктивно-технологічне рішення гібридного фотоелектричного модуля, основною особливістю якого є наявність теплообмінного блоку із алюмінієвим абсорбером, що приклеюється до тильної поверхні модуля, та термосифонний принцип циркуляції теплоносія, що дозволить вдвічі зменшити втрати ККД ФЕП від перегріву без зайвих витрат енергії.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bye G., Ceccaroli B. Solar grade silicon: Technology status and industrial trends // *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2014. V. 130. P. 634–646.
2. Singh P., Ravindra N.M. Temperature dependence of solar cell performance—an analysis // *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2012. V. 101. P. 36–45.
3. Singh P, Singh S N, Lal M. Temperature dependence of I-V characteristics and performance parameters of silicon solar cell. // *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2008. V. 92. P. 1611–1616.

4. Radziemska E. Effect of temperature on dark current characteristics of silicon solar cells and diodes // *International Journal Energy Res*. 2006. V. 30. № 2. P. 127–134.

5. Cai W., Chao F., JinLong T., DeXiong L., SiFu H., ZhiGang X. The influence of environment temperatures on single crystalline and polycrystalline silicon solar cell performance // *Physics, Mechanics & Astronomy*. 2012. V. 55. № 2. P. 235–241.

6. Möller H.J. *Semiconductors for solar cells*. Boston: Artech House, 1993.

7. Афанасьев В.П., Теруков Е.И., Шерченко А.А. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. Изд-во СПбГЭТУ: ЛЭТИ.2012.

8. Харченко В.В., Никитин Б.А., Тихонов П.В. Выбор параметров фотоэлектрического теплового модуля // *Возобновляемая и малая энергетика 2012: сб. труд. IX межд. ежегод. конф. М. 2012. С. 292-297.*

9. Тихонов П. В. Обоснование параметров фотоэлектрического теплового модуля // *Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.08 — энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии*. Москва. 2014. 142 с.

10. Тихонов П.В., Харченко В.В. Системы энергоснабжения на основе когенерационных фотоэлектрических и тепловых модулей и тепловых насосов // *Труды 7-й межд. научно-технич. конф. Часть 4: Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология*. М: ГНУ ВИЭСХ. 2010. С. 275-279.

REFERENCES

1. Bye G., Ceccaroli B. Solar grade silicon: Technology status and industrial trends // *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2014. V. 130. P. 634–646.
2. Singh P., Ravindra N.M. Temperature dependence of solar cell performance—an analysis // *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2012. V. 101. P. 36–45.
3. Singh P, Singh S N, Lal M. Temperature dependence of I-V characteristics and performance parameters of silicon solar cell. // *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2008. V. 92. P. 1611–1616.
4. Radziemska E. Effect of temperature on dark current characteristics of silicon solar cells and diodes // *International Journal Energy Res*. 2006. V. 30. № 2. P. 127–134.
5. Cai W., Chao F., JinLong T., DeXiong L., SiFu H., ZhiGang X. The influence of environment temperatures on single crystalline and polycrystalline silicon solar cell performance // *Physics, Mechanics & Astronomy*. 2012. V. 55. № 2. P. 235–241.
6. Möller H.J. *Semiconductors for solar cells*. Boston: Artech House, 1993.
7. Afanasyev V.P., Terukov E.I., Sherchenko A.A. Tonkoplennocnye solnechnie elementy na osnove kremniya. Publ. SPbSETU: LETI.2012.
8. Kharchenko V.V., Nikitin B.A., Tichonov P.V. Vybora parametrov photoelektricheskogo teplovogo modulya // *Vozobnovlyaemaya i malaya energetika 2012: Proc. of IX Intern. Annual Conf. M. 2012. P. 292-297.*
9. Tichonov P.V. Obosnovanie parametrov photoelektricheskogo teplovogo modulya // *Ph. D Thesis by speciality 05.14.08 – energoustanovki na osnove vozobnovlyaemykh istochnikov energii*. Moscow. 2014. 142 p.
10. Tichonov P.V., Kharchenko V.V. Systemy energosnabzheniya na osnove kogeneracionnykh photoelektrycheskikh b teplovykh modulei i teplovykh nasosov // *Proceedings of 7-th Intern. Science-tecnic. Conf. Part 4: Renewable energy sources. Local energy resources. Ecology*. M: SNU VIESH. 2010. P. 275-279.

Кіріченко Михайло Валерійович, к.т.н., с.н.с.,
Зайцев Роман Валентинович, к.т.н., доц.,
Сокол Євген Іванович, д.т.н., проф.,
Хрипунов Геннадій Семенович, д.т.н., проф.,
Прокопенко Дмитро Сергійович, магістрант,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 61002, Харків, вул. Кирпичова, 21,
тел/phone +38 068 6140783,
e-mail: kirichenko.mv@gmail.com

M.V. Kirichenko, R.V. Zaitsev, E.I. Sokol, G.S. Khrypunov,
D.S. Prokopenko,
National Technical University "Kharkiv Politechnical Institute",
21, Kirpichova str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

Conception of hybrid photoenergy module for the high-efficiency photovoltaic energy station.

Purpose. Study of temperature influence on the efficiency of photoelectric processes in industrial samples of Chinese production silicon solar cells production and development the concept of photoenergy hybrid module constructive solution. This article is inscribed to solving the problem of effectively cooling standard solar cells during its work at low concentrated solar radiation. **Methodology.** To solving the problem, we implemented three stages. On the first stage were carried out, experimental study the effect of temperature on the output and illuminated diode parameters of Chinese production silicon solar cells industrial samples. Based on this, the second stage is analysis of the physical mechanisms of temperature influence on the output and illuminated diode parameters of Chinese production silicon solar cells industrial samples. On the third stage, we carry out the development the of hybrid photoenergy module concept.

Results. In this article, we carried out the experimentally study of working temperature influence on silicon solar cells industrial production efficiency. It is shown that with increasing of working temperature the reduction of efficiency is $0.07\%/^{\circ}\text{C}$, that is significantly higher than the diode structures of European and Ukrainian production due to unconventional reduce of short-circuit current density. Based on the experimental results, for high-efficiency photovoltaic energy station it has been proposed the concept of hybrid photoenergy module equipped with mirror concentrator of solar radiation and cooling system. Achieved results allow to a 1.7 fold increase of electrical power, produced by module, with reduce the equilibrium temperature of the module up to 10 degrees and halve the loss of efficiency of overheating. **Originality.** Novelty of proposed water cooling system can reduce equilibrium module temperature by 10 degrees and doubled reduce the efficiency loss from overheating. **Practical value.** Practical implementation of proposed conception will reduce the number of modules needed to equipment photovoltaic power station.

References 10, tables 1, figures 7.

Keywords: crystalline silicon solar cells, working temperature, efficiency, output parameters, illuminated diode parameters