

СОЛЯЧНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ТЕРМІЧНИХ І ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОЛЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

А. В. Дорошенко,¹ М. А. Глауберман,² Я. І. Лепіх,² А. П. Балабан²

¹Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій і екоенергетики ім. В.С. Мартинівського Одеської національної академії харчових технологій, вул. Дворянська, 1/3, Одеса, 65082.

²Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, 65082, Одеса

СОЛЯЧНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ТЕРМІЧНИХ І ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОЛЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

А. В. Дорошенко, М. А. Глауберман, Я. І. Лепіх, А. П. Балабан

Анотація. В оглядовій статті проаналізовано технічні і експлуатаційні характеристики розроблених на даний час сонячних систем на основі термічних і фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії і основні напрями удосконалення PV/T модулів у складі систем.

Ключові слова: фотоелектричні перетворювачі, фотоелементи, PV/T модулі, теплові колектори.

SOLAR SYSTEMS BASED ON THERMAL AND PHOTOELECTRIC SOLAR ENERGY CONVERTERS

A. V. Doroshenko, M. A. Glauberman, Ya. I. Lepikh, A. P. Balaban

Abstract. The review article analyzes the technical and operational characteristics of currently developed solar systems based on thermal and photoelectric solar energy converters and the main areas of PV/T modules improvement as part of the system.

Keywords: photoelectric converters, photocells, PV/T modules, thermal collectors.

СОЛНЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ТЕРМИЧЕСКИХ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

А. В. Дорошенко, М. А. Глауберман, Я. И. Лепих, А. П. Балабан

Аннотация. В обзорной статье проанализированы технические и эксплуатационные характеристики разработанных на текущий момент солнечных систем на основе термических и фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии и основные направления усовершенствования PV/T модулей в составе систем.

© А. В. Дорошенко, М. А. Глауберман, Я. І. Лепіх, А. П. Балабан, 2020

Ключевые слова: фотоелектрические преобразователи, фотоэлементы, PV/T модули, тепловые коллекторы.

Вступ

Традиційний кремнієвий фотоелектричний перетворювач лиш 4-17 % сонячної радіації перетворює в електроенергію. З іншої частини сонячного випромінювання біля 50 % перетворюється в тепло. Що з одного боку призводить до зростання температури фотоелементів і зниження ефективності їх роботи, а з іншого значна частина променевої енергії втрачається.

Тому актуальною є задача підвищення ефективності використання сонячного випромінювання, зокрема, шляхом інтеграції перетворюваної енергії в електричну і теплову.

1. Основні напрямки розробок і вдосконалення фотоелектричних PV/T модулів

Основна проблема практичного використання сучасних фотоелектричних модулів полягає в зниженні коефіцієнта перетворення з зростанням робочої температури фотоелемента T_c (рис. 1). Традиційний кремнієвий фотоелектричний (PV) модуль перетворює 4-17% сонячної радіації, що надходить в електроенергію (переважно короткохвильова частина спектра випромінювання) [1, 2]. З решти сонячної енергії, більше 50% перетворюється в тепло (за вирахуванням оптичних втрат). Це призводить до зростання робочої температури фотоелементів до критичних значень, при яких спостерігається падіння ККД, у порівнянні зі значеннями заявленими виробником для нормальних умов (в середньому, - 0,4% на один градус перегріву в фотоелементах з монокристалічного кремнію). Крім того, робота в умовах екстремальних температур може призводити до руйнування конструкції PV модуля [3]. У підсумку виходить, що для будь-якого кремнієвого фотоелемента з підвищенням робочої температури лінійно падає його ефективність [4]. На рис. 1 показана залежність ефективності PV модуля від робочої температури фотоелемента. Головним чином вона обумов-

лена процесами, що протікають всередині напівпровідникового матеріалу - кремнію під час поглинання енергії фотонів, тобто необхідно враховувати, що поряд з перетворенням в електрику має місце розсіювання енергії у вигляді тепла, а це в свою чергу обумовлює наявність

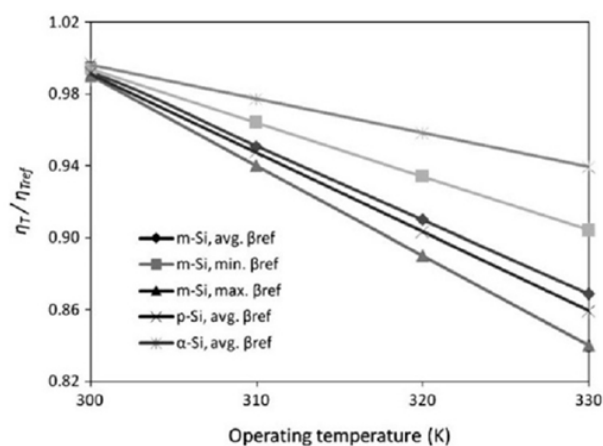


Рис.1. Залежність ефективності різних видів PV панелей (m-Si, p-Si, α-Si) від робочої температури фотоелемента

конвекції і випромінювання, як основних механізмів теплових втрат. Робоча температура також залежить від багатьох інших, зовнішніх чинників, серед яких погодні умови, такі як температура навколишнього середовища, швидкість вітру, величина потоку сонячного випромінювання, а також характеристики, які залежать від матеріалу і конструкції, наприклад, пропускну здатність прозорого покриття, ступінь чорноти фотоелементів тощо [5, 6]. В основному залежність ККД PV панелі від робочої температури фотоелементів можна виразити формулою:

$$\eta_T = \eta_{T_{ref}} \left(1 - \beta(T_c - T_{ref}) \right),$$

$$\beta = \frac{1}{T_0 - T_{ref}}, \quad (1)$$

де $\eta_T / \eta_{T_{ref}}$ - коефіцієнт ефективності PV панелі, де η_T - дійсний ККД PV модуля, $\eta_{T_{ref}}$ - за нормальних умов (при температурі навколишнього середовища 25 °C і величиною потоку

сонячного випромінювання що дорівнює 1000 Вт / м^2); β_{ref} - температурний коефіцієнт, що показує в скільки разів падає ефективність вироблення електроенергії при підвищенні температури на один градус; T_0 - температура модуля (в найвищій точці), при якій електрична ефективність падає до нуля. Величина β залежить від застосовуваного в фотоелементах матеріалу: $0,45\% / \text{К}$ для кристалічного кремнію, $0,25\% / \text{К}$ для CdTe і $0,2\% / \text{К}$ для аморфного кремнію [5, 7, 8].

Починаючи з середини 70-х років минулого століття було проведено велику кількість досліджень в області прямого перетворення сонячної енергії в електричну. Всі вони, беручи початок з декількох розробок різних авторів, вилилися в ідею об'єднати PV панель і сонячний тепловий колектор в один модуль (попутно зменшивши площу необхідну під установку системи). Оскільки, в деяких випадках на об'єктах сонячної енергетики має місце необхідність отримувати сонячну теплову та електричну енергії (шляхом установки одночасно і сонячних колекторів (СК) і PV панелей), цілком виправданим стає питання про розробку такого пристрою, який поєднав би в собі обидва рішення.

PV/T колектор (Photovoltaic Thermal collector) - це модуль, в якому PV виконує не тільки свою безпосередню функцію виробництва електрики, але і розглядається в ролі поглиначка тепла. Таким чином, одночасно виробляється електрика і виділяється теплота. Головними напрямками розробок PV/T стали:

1. Пристрої, підключені до мережі:

а) Спочатку особливу увагу було зосереджено на підвищенні енергоефективності. Об'єктами досліджень стали PV/T модулі зі скляним покриттям (glazed PV/T), як повітряного, так і рідинного типу, але незабаром звернули увагу і на PV/T без покриття (unglazed PV/T), інтегровані з тепловим насосом.

б) Спочатку 1990-х широкого поширення набули великі PV фасади (тенденція встановлювати фотоелектричні панелі безпосередньо на фасад будинку), яким була потрібна система вентиляції, щоб відвести зайве тепло від PV панелей. При цьому виникла ідея використо-

вувати це тепло, наприклад, для обігріву приміщень.

2. Автономні системи:

Для вентиляції котеджів були розроблені автономні системи з невеликими повітряними PV/T модулями, в яких вентилятор приводиться в дію енергією від PV.

3. PV з рефлекторами-концентраторами сонячного проміння (concentrated PV/T):

Дослідження concentrated PV ґрунтувалися на ідеї замінити дорогі фотоелементи дешевими відбивачами. У центрі уваги була висока температура фотоелементів, що досягається. Використовуване примусове охолодження створювало можливість відводити і перенаправляти це тепло.

Основний спосіб зібрати PV/T модуль це приклеїти фотоелементи або ж цілий фабричний PV-ламінат до теплопоглинальної пластини традиційного плоского СК. У першому випадку електро контакти фотоелементів недостатньо захищені від впливу навколишнього середовища (вологи), у другому - має місце високий термічний опір між PV-ламінатом і пластиною, погіршуючи теплову продуктивність колектора.

Щодо glazed PV/T модулів зі скляним покриттям (скляне покриття роблять, щоб наблизити показники теплової ефективності до аналогічних як у традиційного СК, придушивши радіаційні і конвективні втрати тепла) варто відзначити характерне зниження теплової та електричної ефективності в порівнянні з окремо взятими СК і PV. Причинами низької теплової віддачі служать:

- специфічно низька поглинальна здатність фото панелі, що характеризується відбиттям променів в різних шарах PV-ламінату;

- поверхня PV не має спектрально селективного покриття (це призводить до радіаційних втрат);

- тепловий опір між поверхнею, що поглинає і теплоносієм великий через наявність додаткових шарів матеріалу, що в свою чергу веде до додаткових теплових втрат і незначного зниження електричної ефективності;

- і нарешті, енергія, що перетворюється на електрику - це неперетворена в тепло енергія.

Показники ефективності рідинного PV/T модуля, PV панелі і СК наведені для порівняння на рис. 2 [5]. Теплова ефективність представлена як функція від наведеної температури, а електрична - від температури фотоелемента і беруться з виразів вигляду:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}C_p(T_{out} - T_{in})}{A_{pvt}G},$$

$$\eta_{el} = \frac{I_m V_m}{A_{pvt}G}, \quad (2)$$

де η_{th} - теплова ефективність, \dot{m} - масова витрата, C_p - питома теплоємність, T_{out} , T_{in} - температура теплоносія на виході-вході; η_{el} - електрична ефективність, I_m , V_m - сила струму і напруга PV працюючого при максимальній потужності; A_{pvt} - площа модуля, G - потік сонячного випромінювання на поверхні модуля.

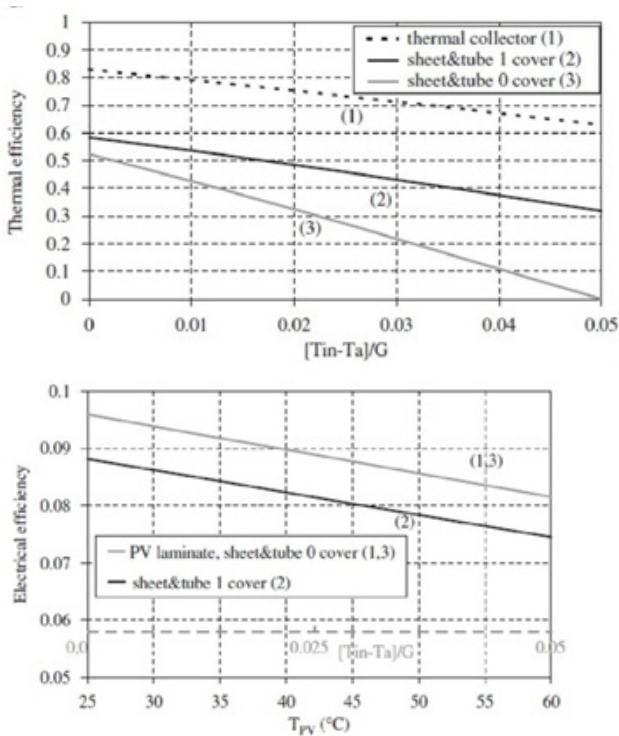


Рис. 2. Залежність термічної ефективності PV/T модуля від приведеної температури

Як видно з графіків оскління модуля (крива 2 на графіку) підвищує теплові характеристики в порівнянні з модулем без такого (крива 3), особливо при більш високих температурах. Крім того, в літературі зазначається, що для

повітряних PV/T колекторів, має місце значне збільшення теплової продуктивності при використанні верхнього скляного покриття з повітряним зазором. З іншого боку, скло дещо знижує електричні характеристики через додаткове відбиття на поверхні покриття. Для порівняння наведені ефективності СК і PV панелі (крива 1).

Лише для PV/T без покриття електрична ефективність дійсно може бути вище, ніж у традиційного PV, тому що вона в процесі відведення тепла охолоджується. Так, на рис. 3 показано результати порівняльних випробувань традиційного PV і рідинного unglazed PV/T, що проводяться в Туреччині. Температура PV панелі варіювалася в межах 50°C і 66°C, в той час як у PV/T спостерігалось змищення в область більш низьких температур на рівні 30°C і 45°C при показнику сонячного випромінювання близько 1000 W / м². Максимальна електрична ефективність PV і PV/T систем склала 11,5% і 13,6%, відповідно.

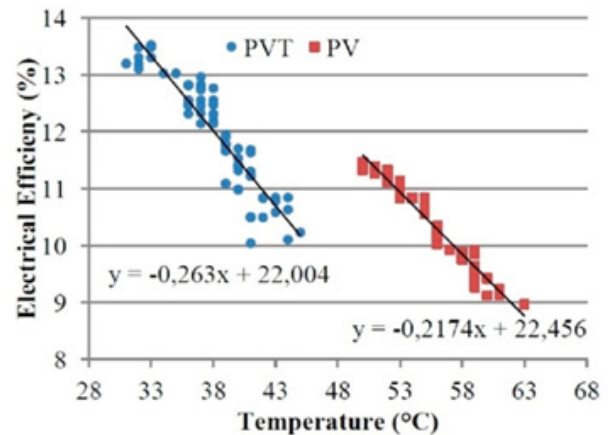


Рис. 3. Результати порівняльних випробувань традиційного PV і рідинного unglazed PV/T

PV/T був PV-ламінат з монокристалічного кремнію площею 1,6 м², у якого з тильного боку розташовувався повітряний канал товщиною 60 мм. Каналом прокачувалося повітря, охолоджуючи задню поверхню ламінату. Дані по ефективності установки наведені на рис. 4. Протягом дня температура тильної сторони PV-ламінату змінювалася від 12°C до 32°C і відповідно температура теплоносія на виході з каналу від 3,5°C до 14°C, при температурі навколишнього середовища від -1,6°C до 9,5°C,

і максимальний потік сонячного випромінювання $910 \text{ W} / \text{m}^2$.

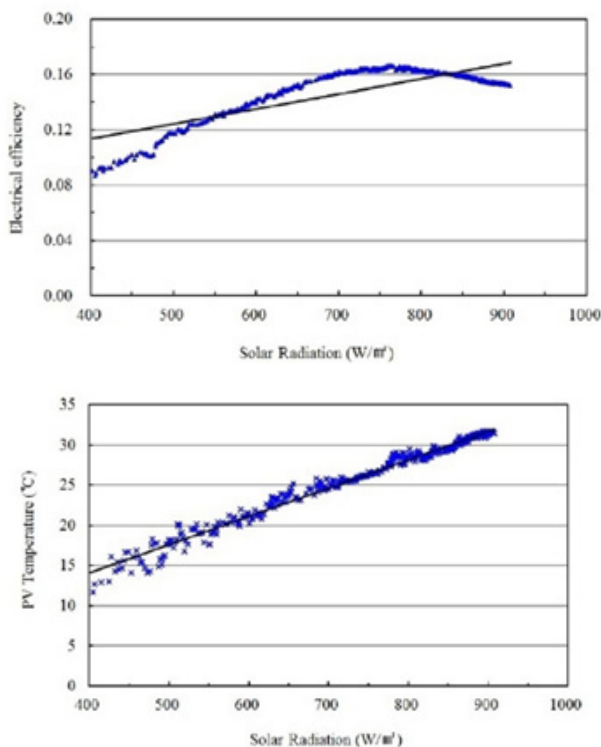


Рис. 4. Залежність електричної ефективності PV/T модуля від величини потоку сонячного випромінювання

В результаті теплова ефективність склала 22%, електрична - 15%. Таким чином, вдалося забезпечити роботу фотоелементів на рівні максимальної потужності, такої ж, як і заявлена виробником для стандартних умов, без падіння ефективності внаслідок нагріву PV.

В даний час дані про роботи в сфері вивчення PV / T розрізнені, і лише дуже обмежена їх кількість знайшла застосування на реальних об'єктах нетрадиційної енергетики. Єдиними розробками, які займають досить скромну частку ринку в даний час, є повітряні PV / T колектори для автономних систем. Вентиляційні системи PV в основному були представлені у вигляді конкретних рішень для окремих проєктів, в той час як concentrated PV / T, а також рідинні glazed PV/T і unglazed PV/T комерційно доступні, але ще не виробляються в обсягах достатніх, щоб можна було говорити про попит на них.

Серед можливих варіантів застосування по-

вітряних PV/T варто виділити напрямки:

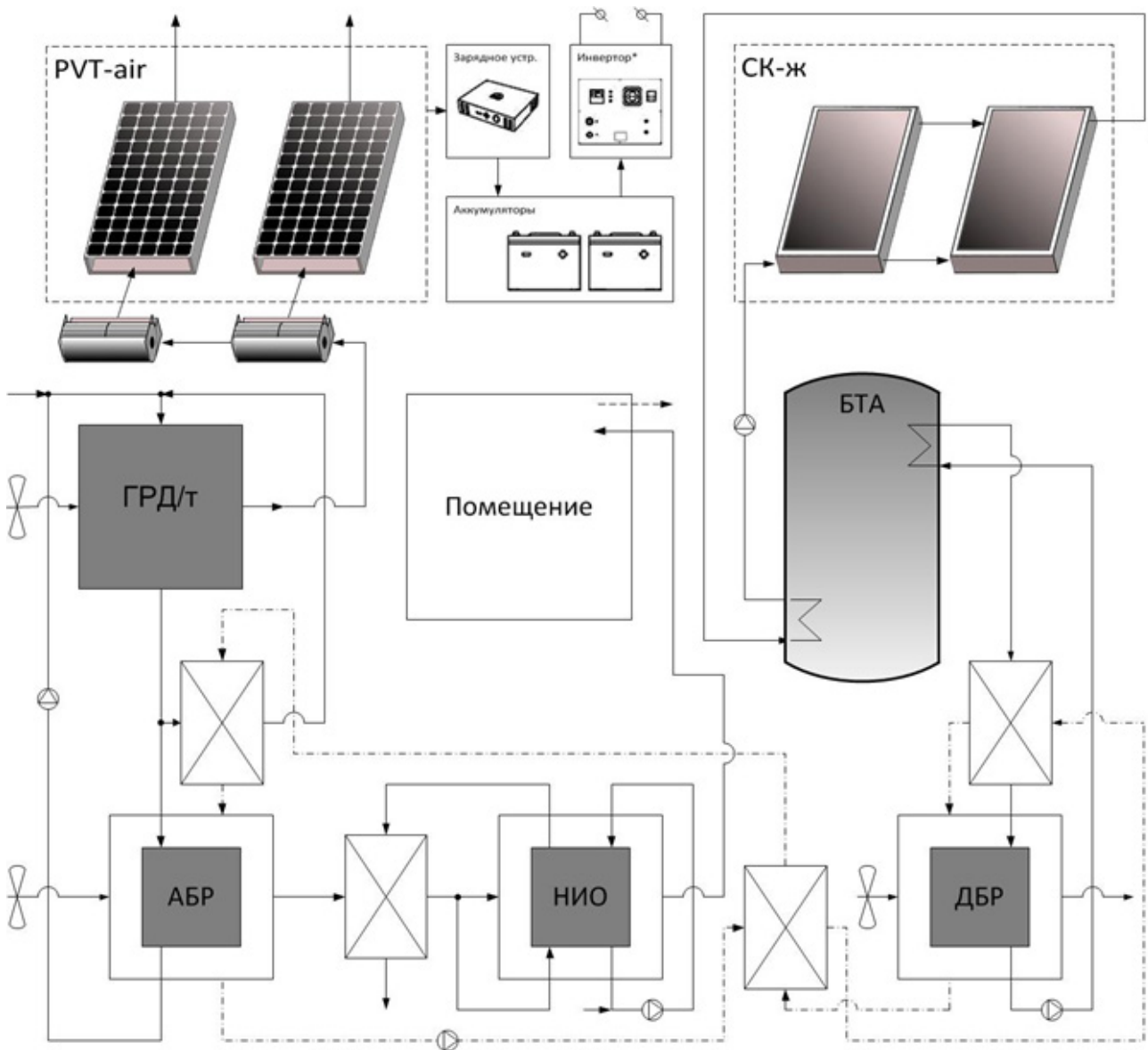
- забезпечення попереднього нагрівання зовнішнього повітря, що надходить в систему вентиляції;
- забезпечення циркуляція повітря в приміщенні за допомогою сонячного колектора;
- циркуляція нагрітого повітря через порожнину в конструкціях будівлі або в підлозі (звідки тепло може бути подано до споживача за допомогою пасивної або активної циркуляції);
- попереднє нагрівання води через теплообмінник повітря-рідина, після чого нагріта вода може, використовуватися як водопровідна або для опалення приміщень;
- підтримка вентиляції будівлі за допомогою природної конвекції, за допомогою використання PV фасаду як природної витяжки.

2. Перспективи інтеграції PV/T модуля в складі сонячних багатофункціональних абсорбційних систем

Як показано нами, PV/T модулі можуть бути застосовні в багатофункціональних системах, що працюють на основі тепловикористовуючого абсорбційного циклу. Подібні системи, маючи основним джерелом, що призводить її в дію, променисту енергію Сонця, використовуються для вирішення широкого спектра завдань життєзабезпечення, зокрема кондиціонування повітря, як енергоефективна заміна штучному холоду. Як правило, до складу входить блок попереднього осушення повітря і блок випарного охолодження газів і рідин. У осушувальному блоці, що складається з абсорбера і десорбера, використовуються розчини абсорбентів на основі композитів $\text{LiBr} \cdot \text{H}_2\text{O}$ (з добавками, що забезпечують зниження корозійного впливу абсорбенту на конструктивні матеріали). Приклад схемного рішення з включенням в роботу системи повітряного PV/T наведено на рис. 5. Осушення повітря здійснюється в абсорбері, який для підвищення ефективності додатково охолоджується водою від технологічної градирні (в процесі поглинання водяної пари з повітря виділяється тепло і процес осушення протікає з нагріванням, а технологічна градирня забезпечує наближення процесу абсорбції до

ізотермічності). Відновлення концентрації абсорбенту після абсорбера відбувається в десорбері, де потрібно підведення тепла від незалежного джерела на температурному рівні 50 - 80 °С, в залежності від розв'язуваної задачі. Цій меті служить сонячна система з рідинними колекторами на основі багатоканальних і багат шарових полімерних структур, раніше розроблених авторами. В схемі передбачено ряд теплообмінників, що служать для забезпечення внутрішньої регенерації тепла.

Автономність розроблюваних систем забезпечується PV/T модулями, які виконують роль джерела електроенергії для роботи низьконапірних вентиляторів і рідинних насосів, що перекачують воду і розчин абсорбенту. Таким чином, вперше пропонується когенераційна сонячна система енерго-, тепло- і холодопостачання, що забезпечує вироблення як тепла (СКЖ в складі системи гарячого водопостачання об'єктів), так і холоду (випарні охолоджувачі води і повітря у вигляді градирень ГРДт і



*Запитка електричеством вентиляторів и насосов

Рис. 5. Принципова схема сонячної системи кондиціонування повітря ілюструє спосіб охолодження PV / T колекторів потоком всього повітря від градирні технологічного призначення, яка обслуговує абсорбер

випарні охолоджувачі повітря непрямого типу (НВО) в охолоджувальному блоці, а також генерацію електроенергії в PV/T колекторах, що забезпечує повну автономність розроблених сонячних систем.

Інтеграція охолоджуваного фотоелектричного модуля в складі когенераційних систем уявляється особливо перспективною тому що в охолоджувальному блоці системи є холодні викідні потоки води і повітря, які можуть бути використані для забезпечення оптимального температурного режиму роботи PV/T без додаткових витрат на систему охолодження модуля і без шкоди для холодопродуктивності системи. Це стосується використання, наприклад, викидного вологого потоку в градирні технологічного призначення (ГРД / т). обслуговуючої абсорбер (рис. 5). Після ГРД / т температурний рівень повітря істотно нижчий за температуру навколишнього середовища. Також в якості джерела холодних викидних потоків може виступити випарний охолоджувач непрямого типу (НВО), в якому існує холодний але зволожений «допоміжний» повітряний потік, що викидається в середовище.

Описана система охолодження PV / T модулів, як правило, вимагає додаткових енерговитрат, наприклад, на привід вентилятора, що забезпечує рух повітряного потоку в робочому каналі, тобто фактично в такій автономній системі ми додатково вироблену енергію використовуємо для вирішення завдань охолодження фотомодуля. Інтегрування PV / T модулів в складі розроблених сонячних систем забезпечує, поряд з підвищенням їх автономності, зростання ефективності цих систем, оскільки в холодних повітряних потоках, що викидаються в навколишнє середовище вкладена частина енерговитрат, витрачених на організацію роботи системи. У звичайних схемних рішеннях ці холодні потоки від НВО та ГРДт не можуть бути спрямовані в приміщення, яке кондиціонується, оскільки вони мають високу відносну вологість.

PV/T₂ - фототермоелектричні колектори (охолоджувані фотомодулі) рідинного типу; СКЖ - плоскі сонячні колектори рідинного типу; АБР - абсорбер-осушувач; ДБР - десорбер-регенератор; НВО - випарний охолоджувач

непрямого типу; БТА - бак-теплоаккумулятор; Т / О, Т / Оі, Т / ОІІ, Т / ОІІІ – теплообмінники, що забезпечують внутрішню регенерацію тепла; НВ - зовнішнє повітря; О - осушений повітряний потік; ОС, ВС - основний і допоміжний повітряні потоки; В - викидний потік; *p / кр*, *p / сл* - міцний і слабкий розчини абсорбенту; ж - підживлення рециркуляційного підводу води; П - до споживача; А - блок акумуляторних батарей; К - контролер заряду / розряду акумулятора; І - інвертор.

3. Експериментальні дослідження характеристик unglazed PV/T з повітряним охолодженням

Для дослідження ефективності охолоджуваного ФЕП (модуль PV/T), що працює автономно або в складі сонячних систем життєзабезпечення нами розроблений експериментальний стенд (рис. 6).

При такому підході (паралельні і одночасні випробування фотоперетворювачів) для порівнюваних модулів будуть утримуватися однакові зовнішні умови, як за рівнем сонячної активності, так і по вітровому навантаженні на місці розташування експериментального стенду (вітронавантаження робить істотний вплив на рівень сумарних теплових втрат). Розміри порівнюваних модулів однакові по ширині 810 мм, довжині 1620 мм (площа приймальної поверхні 1,3 м²) і відрізняються наявністю повітряного каналу у охолоджуваного модуля PV / T; висота каналу 60 мм. Модуль PV/T забезпечений стабілізаційними ділянками на вході (довжина 300 мм) і виході з робочого каналу (довжина 100 мм, далі ця ділянка переходить в конфузори).

Блок охолодження на вході в повітряний канал являє собою випарний охолоджувач прямого типу (ПІО - direct evaporative cooler, DEC). В ІО блоці реалізується адіабатичний процес випарного охолодження повітря, при якому рідина (вода) рециркулює через насадковий шар, зберігаючи незмінну температуру рівну температурі мокрого термометра зовнішнього повітря. В якості насадки цього тепло-масообмінного апарату ТМА використовується багатоканальна насадочна структура

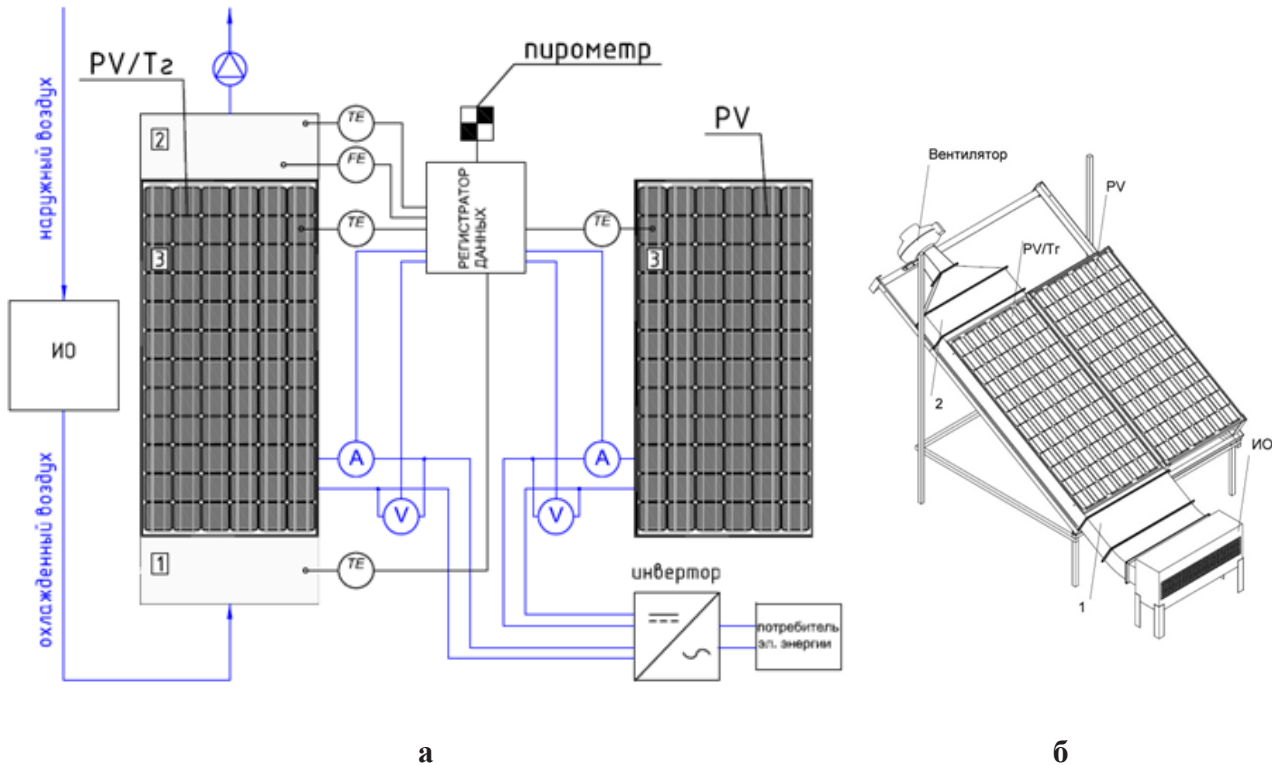


Рис. 6. 1 - Схема экспериментального стенду для порівняльних випробувань енергетичних характеристик і даних по ефективності PV і PV/T модулів. 2 -ізометричний вигляд головної частини.

PV/T₂ - охолоджуваний фотомодуль з повітряним охолодженням; ИО - блок випарного охолодження; TE, FE - датчики температури, витрати (1, 2 - на входному і вихідному вимірювальних ділянках, 3 - на фотоеlementі); A, V - вимірювачі вольтамперних характеристик

з полімерного матеріалу з розміром каналу $d_c = 15-25$ мм, при поперечної схемі взаємодії газу і рідини. Розмір насадки становить 500x150 мм по фронту повітряного потоку, при глибині 150 мм. В якості розподільника рідини використовується шар мікропористого матеріалу. Аеродинамічний опір насадки в діапазоні швидкостей повітря в каналах охолоджувача $w_r = 1 - 4,0$ м / с не перевищує 50 Па.

У головній частині стенду розташовані два ідентичних монокристалічних модуля ФЕП - SHOTT PERFORMTM MONO 195, номінальною потужністю 195 Вт кожен (відмінність характеристик $\pm 5\%$). Ефективність такого модуля становить - 17,6%, при TNOCT = 46 °C (NOCT - номінальна робоча температура фотоеlementa (при 800 Вт / м², $w_{\text{ветра}} = 1$ м / с, 20 °C).

Проведені порівняльні випробування ФЕП традиційного типу та ФЕП, що охолоджується (на схемі позначені - PV і PV/T₂, відповідно). PV/T₂ охолоджується повітряним пото-

ком, який протікає по каналу прикріпленому з тильного боку панелі. Перш, ніж потрапити в канал, потік охолоджується в блоці випарного охолодження. На виході з повітряного каналу встановлено вентилятор Systemair K160XL потужністю 105 Вт. Комплекс для електричних і теплофізичних вимірювань включає первинну (датчики) і вторинну систему (система збору даних), і забезпечені датчиками: температури повітря (по сухому и мокрому термометрах); витрат повітря на стабілізаційних ділянках повітряного каналу; температури на різних ділянках PV панелей; потоку сонячного випромінювання (пірометр); вольт-амперних характеристик.

Таким чином визначалися базові робочі характеристики порівнюваних модулів при варіюванні основних геометричних і режимних параметрах. При цьому варіюються:

1. Геометричні параметри:
 - висота робочого каналу у PV/T;

- наявність і тип вставок, що перемішують повітряний потік в канал, турбулізуючих повітряний потік в робочому каналі і інтенсифікують відведення тепла від тильної сторони PV/T; вставки можуть розташовуватися на вході в робочий канал і по його довжині, при цьому число вставок може також варіюватися.

В результаті отримуються основні характеристики охолоджуемого фотомодуля з виробленням рекомендацій для підтримки оптимальних параметрів системи повітряного охолодження (автономне використання PV/T). У разі інтеграції фотомодуля в абсорбційну систему (рис. 5) забезпечення необхідних параметрів системи охолодження стосується розрахунку всієї частини сонячної системи.

PV/T₂ - охолоджуваний фотомодуль з повітряним охолодженням; ІВ - блок випарного охолодження; ТЕ, ФЕ - датчики температури, витрати (1, 2 - на входному і вихідному вимірювальних ділянках, 3 - на фотоелементі); А, V - вимірювачі вольтамперних характеристик.

Висновки

Удосконалення сонячних енергетичних систем шляхом інтеграції PV модулів і теплогенеруючих забезпечує суттєве підвищення енергоефективності систем в цілому і є одним з найперспективніших напрямів удосконалення цих систем.

Список використаної літератури

[1]. Lepikh Ya. I., Lenkov S. V., Mokrytskyi V. A., Seliukov O. V., Smyntyna V. A. Napivprovidnykovi ta akustoelektronni optychni sensory i systemy // Monohrafiia. Odesa: Astroprynt, -2009.-275 s. (in Ukrainian).

[2]. Lepikh Ya. I., Lenkov S. V., Mokrytskyi V. A., Lukomskyi D. V., Okhramovych M. M. Uzahalnenyi kompleksnyi pokaznyk yakosti kremniievkykh fotoelektrychnykh peretvoriuvachiv dlia aparatury spetsialnoho pryznachennia // Sensorna elektronika i mikro-systemni tekhnolohii.-2009.- No 4.-S. 44-50. (in Ukrainian).

[3]. Chow T. T. A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. Applied Energy 87, 2010, pp. 365–379.

[4]. Skoplaki E., Palyvos J. A. Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations. Renewable Energy 34, 2009, pp. 23–29.

[5]. Lepikh Ya. I., Lukomskyi D. V., Lenkov S. V., Mokrytskyi V. A., Monakov S. V. Doslidzhennia vplyvu konstruktyvnykh defektiv na vlastyvoli kremniievkykh fotoelektrychnykh peretvoriuvachiv // Sensorna elektronika i mikro-systemni tekhnolohii.-2005.-No 4.-S. 47-54. (in Ukrainian).

[6]. Tonui J. K., Tripanagnostopoulos Y. Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements. Solar Energy 81, 2007, pp. 498–511.

[7]. Prabhakant, Mishra R. K., Tiwari G. N. Performance of hybrid photovoltaic thermal (HPVT) biogas plant. World Renewable Energy Congress, Linköping, Sweden, 8-13 May 2011, source: <http://www.ep.liu.se/ecp_article/index.en.aspx?issue=057;vol=14;article=018>.

[8]. Fang G., Hu H., Liu H. Experimental investigation on the photovoltaic–thermal solar heat pump air-conditioning system on water-heating mode. Experimental Thermal and Fluid Science 34, 2010, pp. 736–743

Стаття надійшла до редакції 22.08.2020 р.

UDC 536.248.2: 532.529.5

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212953>

SOLAR SYSTEMS BASED ON THERMAL AND PHOTOELECTRIC SOLAR ENERGY CONVERTERS

A. V. Doroshenko¹, M. A. Glauberman², Ya. I. Lepikh², A. P. Balaban²

¹V.S. Martynivskii Educational and Scientific Institute of Cold, Cryotechnology and Ecoenergy of Odessa National Academy of Food Technologies, str. Dvoryanska, 1/3, Odessa, 65082.

²Odessa I.I. Mechnikov National University. str. Dvoryanska, 2, Odessa, 65082,

Summary

At the present time, solar heat and power generation systems have become quite widely used as alternative sources of clean energy. However, a systematic analysis of technical solutions to the development of this system, as well as possible areas for improvement, both in terms of improving efficiency and experimental characteristics in the literature, in our opinion, is not enough.

The review article analyzes the technical and operational characteristics of currently developed solar systems based on thermal and photoelectric converters of solar energy and the main areas of improvement of PV/T modules as part of the system.

It is noted that combining a PV panel and a solar collector (PV/T) into one module makes it possible to significantly increase the efficiency of solar / thermal and electrical energy.

The results of developments and researches of these systems received by authors are resulted.

Keywords: photoelectric converters, photocells, PV/T modules, thermal collectors.

УДК 536.248.2: 532.529.5

DOI <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2020.3.212953>

СОЛЯЧНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ТЕРМІЧНИХ І ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОЛЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

А. В. Дорошенко,¹ М. А. Глауберман,² Я. І. Лепіх,² А. П. Балабан²

¹Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій і екоенергетики ім. В.С. Мартинівського Одеської національної академії харчових технологій, вул. Дворянська, 1/3, Одеса, 65082.

²Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, 65082, Одеса

Реферат

На даний час сонячні тепло- і електрогенеруючі системи набули досить широкого застосування, як альтернативні джерела екологічно чистої енергії. Однак системного аналізу технічних рішень досягнутого розвитку цих систем, а також можливих напрямів їх удосконалення, як з точки зору підвищення ефективності роботи, так і експериментальних характеристик, чого в літературі, на наш погляд, недостатньо.

В оглядовій статті проаналізовано технічні і експлуатаційні характеристики розроблених на даний час сонячних систем на основі термічних і фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії і основні напрями удосконалення PV/T модулів у складі систем.

Відзначається, що об'єднання PV панелі і сонячного колектора (PV/T) в один модуль дає можливість суттєво підвищити ефективність отримання сонячної/теплової і електричної енергії.

Наведені результати розробок і досліджень цих систем, отриманих авторами.

Ключові слова: фотоелектричні перетворювачі, фотоелементи, PV/T модулі, теплові колектори.