

конф., 16-20 вересня 2013 р.: тези доп. – АР Крим, смт. Миколаївка, 2013. – С. 273–278.

8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров / пер. с англ. под общей ред. И.Г. Арамановича. – М: Наука, 1973. – 832 с.

9. Шевчук В.І. Еволюція комбінованого фотоелектричного модуля. / Відновлювана енергетика XXI століття: XV-а ювілейна міжнар. конф., 16-17 вересня 2014р. : тези доп. – м. Київ, 2014. – С. 186–191.

10. Кокошин С.С., Коломієць Д.П., Кучинський В.П., Суржик А.Н. Определение геометрических и параметров солнечного коллектора и фотоэлектрического модуля с теплоотводами из композита // Відновлювана енергетика – 2012. – №3. – С. 32–38.

11. Кокошин С.С., Коломієць Д.П., Кучинський В.П., Суржик О.М. Методика визначення коефіцієнта ефективної теплопровідності композитного матеріалу тепловідвідної панелі / Відновлювана енергетика – 2012. – №4. – С. 51–54.

УДК 536.248.2

С.М.Хайрнасов (НТУУ "КПІ", Київ)

Використання теплових труб у сонячних енергетичних системах: системи з концентрацією сонячної енергії, сонячні стіни, сонячні плити

Сьогодні істотний внесок у вирішення завдання економії ресурсів роблять енергетичні системи на основі сонячних теплових колекторів та фотоелектричних батарей. Впровадження високоефективних теплопередавальних пристроїв (теплових труб) у конструкціях сонячних теплових колекторів дало змогу підвищити їх робочі характеристики. Однак використання теплових труб у якості теплопередавальних і теплообмінних конструктивних елементів дозволяє створити на їх основі нове обладнання для сонячної енергетики та підвищити ефективність наявного. Окрім сонячних теплових колекторів сьогодні можна виділити наступне обладнання для сонячної енергетики, де можуть широко використовуватись теплові труби: фотоелектричні і теплоелектричні системи з концентрацією сонячної енергії, сонячні стіни, сонячні плити для приготування їжі. В статті наводиться аналіз сучасного стану та перспектив використання теплових труб у таких сонячних енергетичних системах.

Ключові слова: термосифон, тепла труба, сонячна енергетика, концентрація сонячної енергії, сонячні плити, сонячні стіни.

Сегодня существенный вклад в решение задачи экономии ресурсов вносят энергетические системы на основе солнечных тепловых коллекторов и фотоэлектрических батарей. Внедрение высокоэффективных теплопередающих устройств (тепловых труб) в конструкциях солнечных тепловых коллекторов позволило повысить их рабочие характеристики. Однако использование тепловых труб в качестве теплопередающих и теплообменных конструктивных элементов позволяет создать на их основе новое оборудование для солнечной энергетики, а также повысить эффективность уже существующего. Кроме солнечных тепловых коллекторов сегодня можно выделить следующие системы и оборудование солнечной энергетики, где могут широко использоваться тепловые трубы: фотоэлектрические и теплоэлектрические системы с концентрацией солнечной энергии, солнечные стены, солнечные плиты. В статье приводится анализ современного состояния и перспектив использования тепловых труб в таких солнечных энергетических системах.

Ключевые слова: термосифон, тепловая труба, солнечная энергетика, концентрация солнечной энергии, солнечные плиты, солнечные стены.

Вступ. У зв'язку з підвищенням цін на енергоносії та погіршенням екології одним із найважливіших завдань є пошук альтернативних джерел енергії, здатних замінити дорогий природний газ і нафтопродукти, які використовуються в комунальному секторі. У цьому аспекті є перспективними роботи, спрямовані на пошук і дослідження нових матеріалів, елементів та систем, що дозволяють знизити енергоспоживання. Глобальна потреба в економії енергії та необхідність використання відновлюваних джерел сьогодні відкривають нові підходи та методи одержання і перетво-

рення енергії. Одним із таких перспективних напрямків є використання сонячної енергії.

На сьогоднішній день відомі різні технології для перетворення сонячної енергії в теплову та електричну. Найбільш поширені та опрацьовані сьогодні – теплові сонячні колектори [1] та фотоелектричні батареї [2]. Однак нові вимоги до використання енергоресурсів відкривають шлях до розвитку та впровадження у виробництво таких систем, як сонячні енергетичні системи з концентрацією сонячної енергії [3], сонячні стіни [4], сонячні плити [5]. Так, наприклад, фотоелектри-

чні системи з концентрацією сонячної енергії можуть забезпечувати високу ефективність перетворення сонячної енергії в електричну при низькій вартості одиниці електричної енергії (\$/Вт) в порівнянні з плоскими фотоелектричними батареями. В таких системах у якості концентраторів сонячної енергії використовуються параболічні чи параболоциліндричні дзеркальні поверхні, а також лінзи Френеля. При цьому може бути забезпечена концентрація сонячного потоку від 10X до 1000X. За рахунок високої концентрації сонячного потоку щільність теплового потоку на фотоелектричних елементах може досягати від 20 до 75 Вт/см², що приводить до різкого підвищення їх температури. Тепловий контроль фотоелектричних елементів має дуже важливе значення, оскільки підвищення температури фотоелементів призводить до зниження їх ефективності, а також до деградації самого матеріалу. Таким чином, одним із найважливіших питань, що стоять перед фотоелектричними системами з концентрацією сонячної енергії, є забезпечення теплових режимів охолодження фотоелектричних елементів.

Такі проблеми як охолодження та ефективна передача теплоти існують і в конструкціях сонячних стін та сонячних плит. Високу надійність та ефективність може бути забезпечено за рахунок використання теплових труб (ТТ). Використання термосифонів (ТС) [6] (різновидність ТТ) і теплових труб [7] відкриває широкі можливості для вирішення проблем теплопередачі в нових енергоефективних рішеннях.

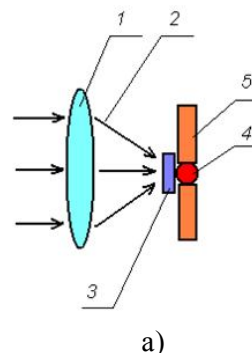
Технологія ТС і ТТ відома достатньо давно [8]. Класифікація відомих типів теплових труб та їх переваги і недоліки наведені в [9]. Вони мають відмінні можливості для теплопередачі, високу ефективність і часто конструктивну простоту. Крім того, це абсолютно автономні системи і не мають механічних рухомих частин. Відомі різні конструктивні рішення з використанням теплових труб у системах енергозбереження, а також у якості елементів систем, що працюють із використанням відновлюваних джерел енергії [10]. Але, перш за все, ТС і ТТ мають хороші перспективи в застосуванні у сонячних теплових колекторах. Аналіз таких конструкцій сонячних теплових

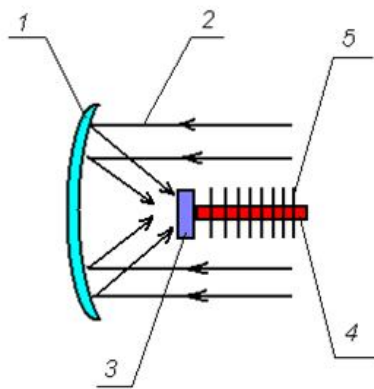
колекторів наведено в роботі [11]. У даній статті наведено приклади конструкцій та аналіз сучасного стану і перспектив використання сонячних енергетичних систем з концентрацією сонячної енергії, сонячних стін та сонячних плит на основі ТС і ТТ.

1. Фотоелектричні системи з концентрацією сонячної енергії. На рис. 1 схематично наведені можливості використання ТТ у системах охолодження фотоелементів з різними системами концентрації сонячного потоку: з лінзами Френеля (рис. 1а), параболічними концентраторами (рис. 1б), параболоциліндричними концентраторами (рис. 1в) та плоскими концентраторами (рис. 1г).

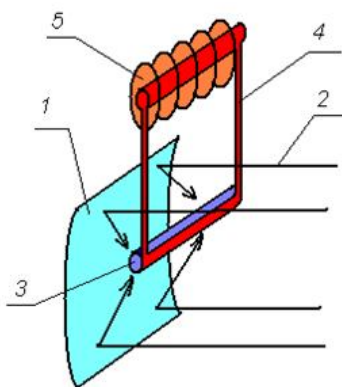
До сьогоднішнього часу було проведено ряд робіт із дослідження різних систем з концентрацією сонячного потоку за використання теплових труб. Так у роботі [12] наведені результати використання мідної теплової труби з мідним оребрением для концентрації 700X. Як теплоносії використовувались вода та ацетон. Теплова труба працювала у режимі термосифону. Перепад температур між фотоелементами та навколишнім середовищем було забезпечено на рівні 30°C. У роботі [13] авторами наведена інформація про те, що дослідження з використання ТТ в системі охолодження фотоелементів показали, що вона була більш ефективною, ніж система з водяним охолодженням.

В роботі [10] наведено порівняння системи охолодження на основі мідної ТТ (рис. 1в, рис. 2а), що працює в режимі термосифону, з теплоносієм (фреон R-11), з аналогічною системою, але без ТТ. Результати показали, що температура на фотоелементах у системі на основі ТТ була не більше 46°C, а для системи без ТТ вона становила 84°C. При використанні ТТ було забезпечено підвищення ефективності фотоелементів майже на 50%.

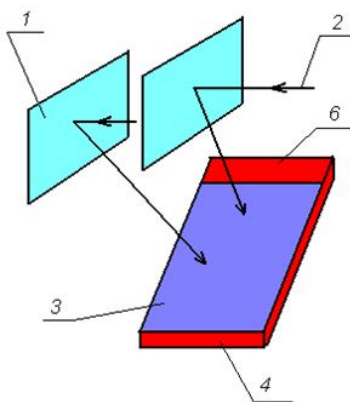




б)



в)



г)

Рис. 1. Схемні рішення застосування теплових труб у фотоелектричних системах з концентрацією сонячного потоку: а) з лінзами Френеля; б) з параболічними концентраторами; в) з параболоциліндричними концентраторами; г) з плоскими концентраторами.

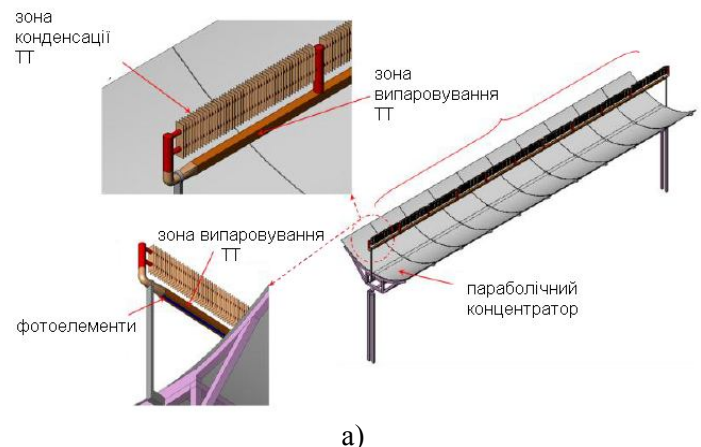
У роботі [3] наведені результати розробки системи охолодження на основі мідної ТТ з теплоносієм (вода) для системи з лінзою Френеля і концентрацією 500X (рис. 16). Така конструкція включала алюмінієвий радіатор з 24 квадратних пластин з кроком 7,94 мм. Прототип показав, що забезпечує роботу з щільністю теплопідводу

40 Вт/см² та перепадом температури між фотоелементами і навколишнім середовищем 43°C. Автори також вказують, що система без відводу тепла від фотоелементів забезпечує температурний перепад 110°C.

У роботі [14] наведено конструкцію системи охолодження звичайної фотоелектричної батареї на основі панелі з ПТТ та плоскими концентраторами (рис. 1г). ПТТ мала габарити 580×600 мм, була виготовлена з мідної трубки та заправлена ацетоном. Тепло відводилось від зони конденсації ПТТ вимушеною конвекцією. Результати показали, що система з концентрацією сонячного потоку 2X та охолодженням на основі ПТТ підвищувала ефективність фотоелектричної панелі в 4,7-5,2 рази в порівнянні зі звичайною фотоелектричною батареєю. При цьому температура панелі не перевищувала 31°C.

У роботі [15] наведено інформацію про конструкцію системи охолодження для схеми, наведеної на рис. 1б. Для концентрації 733X система з ТТ і радіатором забезпечувала температуру фотоелементів до 100°C при природній конвекції.

Автори [16] проводили дослідження плоских ТТ для системи охолодження CPV. Досліджувались мідні теплові труби з порошковою (100-200 Mesh) та сітчаною (270 Mesh) мідними капілярними структурами. Габарити ТТ – 80×65×4 мм. В якості теплоносія використовувалась вода. Розміри пор в обох КС були 0,35 мм. Габарити КС – 72×60×1,7 мм. Результати показали, що ТТ з порошковою КС мала термічний опір на 72% менше. А використання розроблених теплових труб у системах охолодження фотоелементів підвищило їх ефективність у системі CPV на 3,1%.



а)

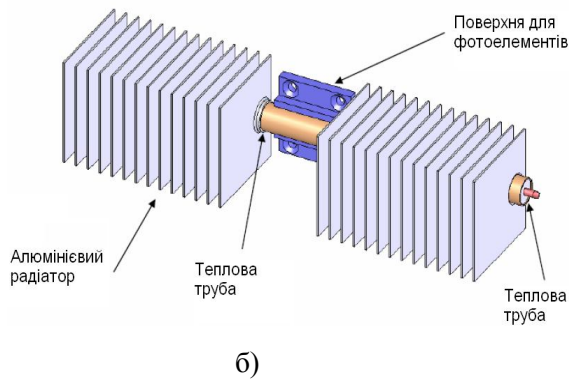


Рис. 2. Приклади конструкцій фотоелектричних систем з концентрацією сонячної енергії та системами забезпечення теплових режимів на основі ТТ: а) з параболічними концентраторами [10]; б) з лінзами Френеля [3].

У фокусі системи з концентрацією сонячної енергії замість фотоелементів може встановлюватись термоелектричний модуль. Але, враховуючи їх низький ККД та залежність від різниці між холодною і гарячою сторонами, є сенс розглядати комбіновані системи. Інформація про комбіновану систему, що включає систему з концентрацією сонячної енергії на основі лінзи Френеля, термоелектричний перетворювач, бак з матеріалом РСМ і теплові труби, що працюють у режимі ТС (рис. 3), наведена у роботі [10].

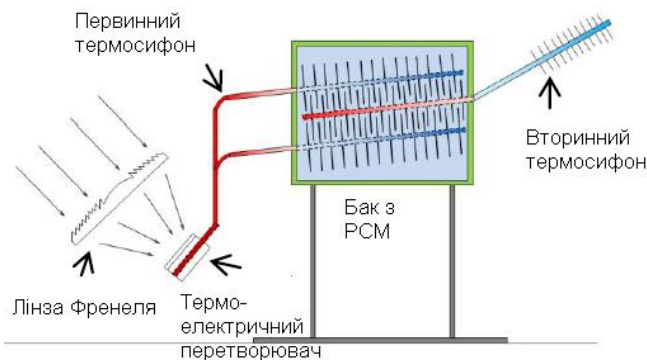


Рис. 3. Конструкція комбінованої системи з концентрацією сонячної енергії, термоелектричним перетворювачем, баком з РСМ і тепловими трубами [10].

У запропонованій конструкції сонячна енергія концентрувалася на гарячій стороні термоелектричного модуля. Використовувались три ТС. Два з них використовувались для охолодження холодної сторони термоелектричного модуля і переносили тепло до бака з РСМ. Третій ТС був вбудований у бак з РСМ, але використовувався для переносу тепла з бака РСМ до повітря в кімнаті у нічний час. Розроблена система могла забезпечити максимальну потужність 3,2 Вт від

термоелектричного модуля при різниці температур між холодною та гарячою сторонами 27°C. На основі розрахункової моделі було показано, що така система може підтримувати різницю температур між гарячою та холодною сторонами термоелектричного модуля 152°C, що дасть змогу отримувати з одного модуля 9,5 Вт при концентрації сонячного потоку 75X.

Для забезпечення теплових режимів фотоелементів у конструкціях в перспективі можуть також використовуватись контурні теплові труби (рис. 4). Вони можуть забезпечити передачу значних теплових потоків (більше 1 кВт) та гнучкий зв'язок між радіатором і фотоелементами, а також працювати проти сил тяжіння, що дає змогу винести радіатор за концентратор і таким чином ліквідувати значне затінення дзеркала концентратора.

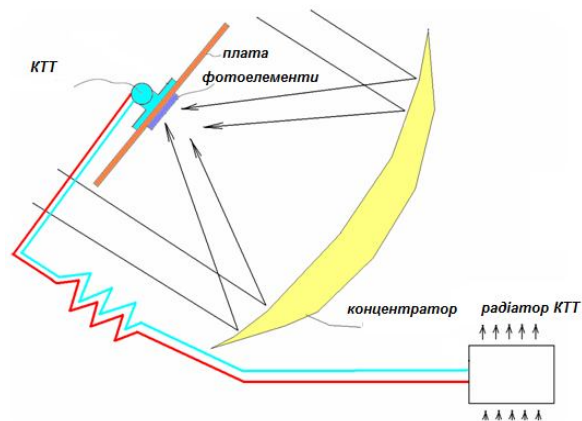


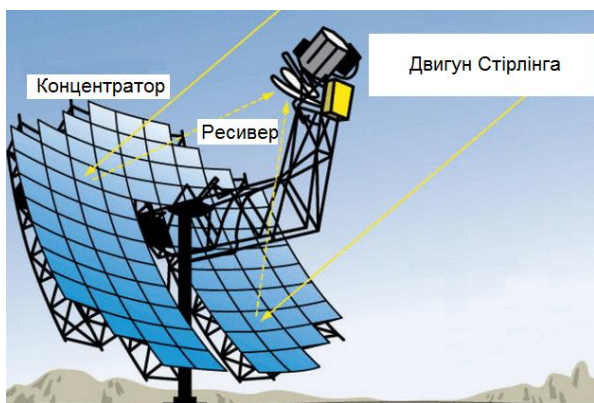
Рис. 4. Використання контурних теплових труб.

Використання ТС і ТТ в схемах охолодження фотоелектричних систем з концентрацією сонячного потоку має на сьогодні хорошу перспективу, що перш за все пов'язано з необхідністю вирішувати забезпечення теплових режимів фотоелементів та можливість створення на їх основі абсолютно пасивних систем охолодження.

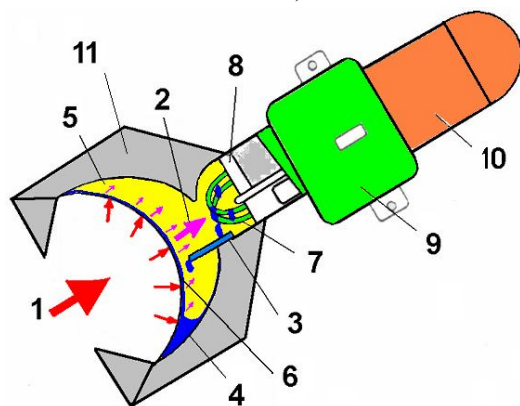
2. Теплоелектричні системи з концентрацією сонячної енергії. Теплоелектричні системи з концентрацією сонячної енергії на основі двигунів Стірлінга мають високу ефективність перетворення сонячного потоку в електричну енергію при високих потужностях (25 кВт і вище). Такі системи інтенсивно розвиваються сьогодні.

Перші ідеї були наведені в патенті [17]. За останні десятиліття було проведено ряд програм щодо розробки та дослідження таких систем та їх компонентів (рис. 5а). Така система включає

параболоциліндричний концентратор або систему параболоциліндричних концентраторів, ресивер, де перетворюється сонячне випромінювання в теплову енергію, та двигун Стірлінга з лінійним генератором, що перетворює теплову енергію в електричну.



а)



б)

Рис. 5. Теплоелектричні системи з концентрацією сонячної енергії на основі двигунів Стірлінга і ТТ: а) загальна схема; б) схема ресивера з високотемпературною ТТ [18]: 1 – підведення концентрованого випромінювання; 2 – потік пари натрію; 3 – злив конденсату; 4 – надлишок рідкого натрію; 5 – натрієвий випарник; 6 – капілярно-пориста структура; 7 – нагрівальні трубки з гелієвим теплоносієм; 8 – нагрівальна головка двигуна Стірлінга; 9 – двигун Стірлінга; 10 – електрогенератор; 11 – теплоізоляція.

Останні відомі розробки включають ресивер, який побудований на високотемпературній тепловій трубі [18]. Така конструкція дозволяє вирішити проблеми з рівномірним підводом теплоти до гелієвого теплообмінника двигуна Стірлінга та підвищити загальний ККД установки. Більшість із них використовують в якості теплоносія лужні метали (переважно рідкий натрій), що транспор-

тує теплоту від сприйнятої сонячної енергії до гелієвого теплообмінника двигуна Стірлінга.

Самих істотних та значних успіхів у розробках цього напрямку досягла група вчених американської Національної Лабораторії Сандія. Вчені цієї лабораторії домоглися не тільки самого високого сумарного ККД – 31,7%, але й змогли розробити потужну установку (25 кВт) масштабно-го застосування для вироблення електроенергії в промислових і споживчих цілях [18] (рис. 5б). Ресивер такої конструкції включає ТТ, що забезпечує стабільну роботу при температурі 750°C. В такій конструкції ресивера ТТ використовується фактично як елемент, що ефективно перетворює сонячний потік у теплову енергію та забезпечує рівномірне підведення теплоти до гелієвого теплообмінника практично без втрат.

Для підвищення ефективності таких систем проводяться роботи [19], основним напрямком яких є розробка нових металоволокнистих КС з високою об'ємною пористістю (до 98%) та проникністю до 500 мкм². Такі КС повинні забезпечити стабільну роботу ресивера і теплової труби при входному тепловому потоці від 75 до 100 кВт з густиною потоку 75 Вт/см².

3. Сонячні стелі. СК на основі ТТ перспективно використовувати для пасивних систем опалення будинків. На сьогодні існують приклади застосування ТТ в таких системах, їх теплове моделювання, а також лабораторні експериментальні дослідження їх елементів [4, 20]. Такі пасивні сонячні системи можуть бути побудовані на основі ТТ, що пов'язують теплопоглинаючу поверхню ПСК, встановленого на південній стіні будівлі, та приміщення (рис. 6). У цьому випадку можуть розглядатися наступні схеми: тепла підлога (рис. 6а), теплі стіни (рис. 6б), підігрівання води для ГВС (рис. 6в). Крім того, ТТ можуть використовуватись для передачі тепла від зовнішньої поверхні південної стіни до внутрішньої поверхні північної стіни.

В роботі [4] розглядається система, що включає в себе ТТ для передачі тепла через ізольовані стіни від теплопоглинаючої поверхні до внутрішньої масованої стіни будинку (рис. 6б).

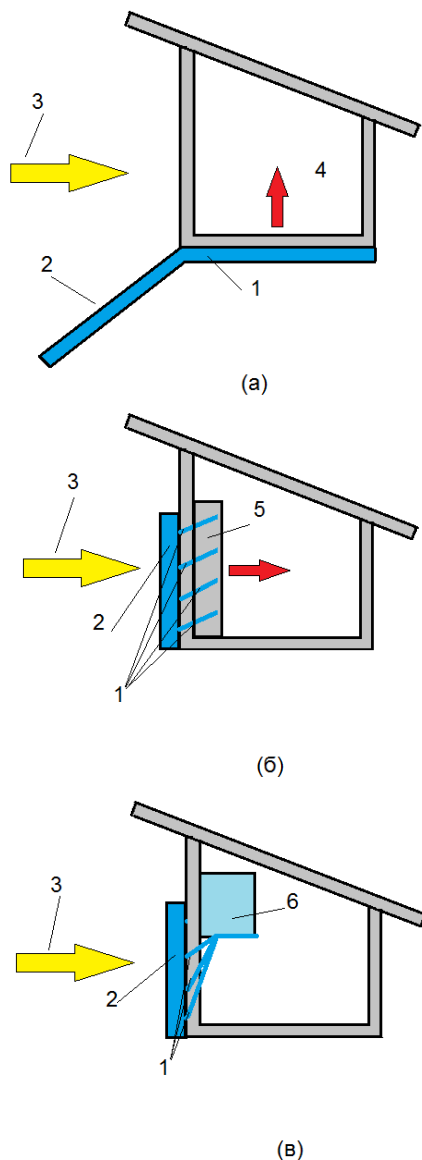


Рис. 6. Схеми сонячних пасивних систем опалення: а) для теплої підлоги; б) для теплих стін; в) для підігрівання води; 1 – ТТ; 2 – ПСК; 3 – сонячний потік; 4 – тепла підлога; 5 – тепла стіна; 6 – бак з водою для ГВС.

Проведені розрахунки для міст США Альбукерке, Солт-Лейк-Сіті та Медісон показали, що в порівнянні зі звичайною бетонною стіною та водяною стіною наведена конструкція забезпечує:

- для міста Альбукерке на 52,2% вищу відносну сонячну частку для опалення, ніж бетонна стіна та на 16,6% вищу, ніж водяна стіна;
- для міста Солт-Лейк-Сіті на 73,4 вищу відносну сонячну частку для опалення, ніж бетонна стіна та на 30,3% вищу, ніж водяна стіна;
- для міста Медісон на 107% вищу відносну сонячну частку для опалення, ніж бетонна стіна та на 59,8% вищу, ніж водяна стіна.

Як і очікувалося, система опалення на основі ТТ найбільш приваблива в холодному та похмуromу кліматі.

В роботі [20] також розглядалася схема, що наведена на рис. 6б. Проводився розрахунок та порівняння ефективності пасивної системи на основі ТТ з бетонною стіною, цегляною стіною та водяною стіною для різних кліматичних зон США. Результати порівняння наведені на рис. 7.

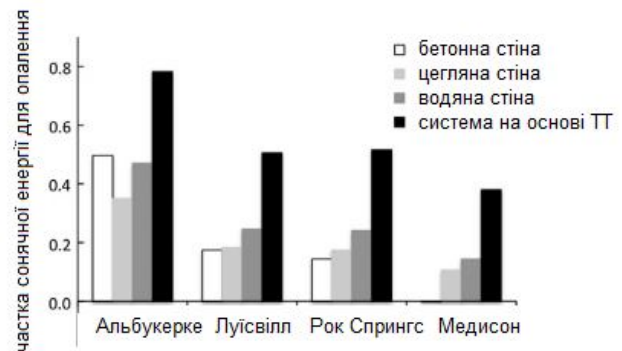


Рис. 7. Порівняння частки сонячної енергії для опалення для будівель з різними конструкціями південних стін.

Автори також констатують значний приріст частки сонячної енергії для опалення будівлі за рахунок використання ТТ. Крім того, були проведені експериментальні дослідження з сонячним імітатором у приміщенні зразка такої системи на основі мідної ТТ з теплоносійми R114 та R124 за схемою, наведеною на рис. 6в. Була показана ефективність такої системи, яка дорівнювала більше 85%. При використанні такої системи на відкритому повітрі ефективність зменшиться.

4. Сонячні плити для приготування їжі.

Сонячні системи для приготування їжі або сонячні плити (СП) сьогодні є дуже популярними в країнах Південної Європи, у США, Мексиці, Австралії та інших країнах. Основна привабливість СП – це енергетична незалежність та забезпечення автономності. На сьогодні широке застосування ТТ дають змогу забезпечити високу надійність, компактність та автономність систем.

Першою спробою використання ТТ як варіант ТС у СП була зроблена ще в 1978 році [5]. Така конструкція включала один ТС, що зв'язувала СП із сонячним колектором, який знаходився за межею будівлі. В роботі [21] були досліджені різні КС для ТС, що призначені були

виконувати роль теплопоглинаючих покриттів СК для СП. Але результати були отримані тільки для температур до 85°C. ТТ дають змогу виготовляти СП для внутрішнього і зовнішнього використання [22], для сонячних будинків [23], а також спліт-системи [24], в яких СП нагрівається безпосередньо за допомогою пари, що циркулює у теплових трубах, які кріпляться до теплопоглинаючого покриття ПСК.

Автори роботи [25] використали звичайні вакуумні колектори з ТС, зона конденсації яких безпосередньо була з'єднана з поверхнею плити. Було показано, що в такій конструкції можливо отримати температуру 5 літрів харчової олії до 252°C. Цей результат показав велику перспективу використання вакуумних сонячних колекторів з ТТ. У роботі [26] наведені порівняльні характеристики трьох СП на основі ПСК з апертурою 2,33 м², ВСК з апертурою 1,085 м² (рис. 8а) та з двома вакуумними сонячними колекторами (1,085 м²) з поетапним підігрівом. Результати показали, що підігрів у сонячний день 5 літрів води з 40,0 до 99,5°C відбувся за 36, 32 та 17 хвилин відповідно. При цьому середня потужність була відповідно 580, 653 та 1220 Вт. Ці результати також відображають перспективність використання ВСК на основі ТТ (рис. 8б) для СП.

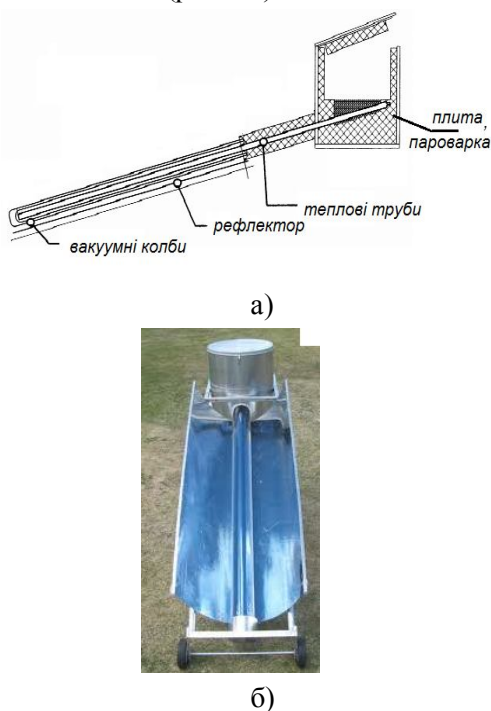


Рис. 8. Конструкція СП на основі ВСК з тепловими трубами: а) схемне рішення [25]; б) зовнішній вигляд пароварки з використанням одного модуля ВСК.

В роботі [27] наведені дослідження щодо використання фреонів (R134a, R407C, R22) в сонячній системі приготування їжі, яка складалася з вакуумного сонячного колектора на теплових трубах, що були з'єднані безпосередньо з плитою. Вакуумний сонячний колектор складався з шести вакуумних колб (довжина 1 м, зовнішній діаметр внутрішньої трубки 25,4 мм, зовнішній діаметр зовнішньої трубки 37,6 мм) з тепловими трубами, встановлених на параболічному концентраторі. Апертура колектора дорівнювала 0,96 м². Теплові труби були виготовлені з мідної труби із зовнішнім діаметром 6,32 мм і довжиною 1 м. Зона транспорту ТТ складала близько 0,5 м. Результати показали, що час приготування 250 г рису в 400 г води дорівнював (при використанні в якості теплоносіїв наступних фреонів: R134a, R407C та R22) відповідно 63, 50 та 55 хв, а 500 г картоплі у 400 г води відповідно 70, 57 та 63 хв. Таким чином, фреон R407C рекомендовано як кращий холодоагент для заправки ТТ. Такі результати пояснюються перш за все властивостями холодоагентів. Результати також показали, що максимально досяжна температура олії в СП становила 175°C.

СП з використанням вакуумного сонячного колектора на основі ТТ (рис. 8) є перспективними та мають ряд наступних переваг:

- забезпечення високої теплової потужності і температури без використання систем стеження за Сонцем;
- можливість приготування їжі при розсіяному світлі;
- можливість відведення теплопоглинаючої поверхні на відстань від самої поверхні плити, що дає змогу розташовувати плиту всередині будівлі.

5. Матеріали корпусу та теплоносії ТС і ТТ. На сьогодні в обладнанні сонячної енергетики найчастіше використовуються ТС і ТТ, що виготовлені з міді та алюмінію. За всіма параметрами кращим теплоносієм є вода. Але при виборі води як теплоносія необхідно враховувати два зауваження:

1. Температура замерзання води 0°C. Тобто, якщо сонячна енергетична система експлуатується у кліматичній зоні, де температура може бути нижче 0°C, воду використовувати в якості теплоно-

сія не рекомендується. У цьому випадку це може призвести до розгерметизації корпусу ТС чи ТТ.

2. Висока температура кипіння – 100°C, що визначає температуру запуску ТС і ТТ. Як показують численні експерименти, ТС і ТТ, що заправлені водою, запускаються при температурі вище 40°C. Таким чином, ТС і ТТ, що заправлені водою, не рекомендується використовувати в сонячних енергетичних системах з функціонуванням на низьких температурах (температура води в баках-акумуляторах нижче 30-35°C).

Не враховуючи воду, можна рекомендувати використовувати ацетон як теплоносій, що підтверджують і автори статті [28]. Але ацетон – токсична рідина і температура його використання обмежена 130°C. Деякі конструкції мідних ТС і ТТ мають в якості теплоносія метанол, але метанол є отруйною рідиною. Етанол як рідина допустимий для використання за медичними нормами, але менш ефективний та має достатньо високу температуру кипіння (78,4°C), що не дає змоги використовувати такі ТС і ТТ при низьких температурах, як і у випадку з водою. Як альтернатива може використовуватись пентан. Але він ще менш ефективний, ніж етанол.

Таким чином, для мідних ТС і ТТ в якості теплоносія можна використовувати воду, етанол, метанол та ацетон. Для алюмінієвих ТС і ТТ – ацетон і пентан. Також у якості теплоносіїв для мідних та алюмінієвих ТС і ТТ можуть використовуватися фреони.

Висновки. У статті розглянуто різні варіанти застосування термосифонів і теплових труб у перспективних сонячних енергетичних системах: фотоелектричних і теплоелектричних системах з концентрацією сонячної енергії, сонячних стінах, сонячних плитах для приготування їжі. Сьогодні використання ТС і ТТ є не тільки перспективним, але й необхідним. Вони дозволяють підвищити ефективність обладнання сонячної енергетики, покращити їх компоновку та знизити масу. Однак конструювання вимагає забезпечення такого схемного рішення, яке компенсує додатковий термічний опір ТС і ТТ за рахунок підвищення розвиненої поверхні та ефективності системи тепловідведення чи інших факторів (складання, монтаж тощо). Тільки в цьому випадку ТС і ТТ можуть

забезпечити ефективність обладнання. Цього можна досягти завдяки комплексному підходу при конструюванні як самої сонячної енергетичної системи, так і її елементів на основі ТС і ТТ.

1. *Riffat S.B., Doherty P.S., Abdel Aziz E.I.* Performance testing of different types of solar collectors // International Journal of Energy Research. – 2000. – Vol. 24. – Issues 13. – P. 1203–1215.
2. Technology Roadmap-Solar photovoltaic energy, International Energy Agency, <http://www.iea-pvps.org>; 2010.
3. *Anderson W.G., Dussinger P.M.; Sarraf D.B.; Tamanna S.* Heat pipe cooling of concentrating photovoltaic cells. – Photovoltaic Specialists Conference. – 2008. – PVSC '08. – 33rd IEEE. – P. 1–6.
4. *Narasimhan Susheela, M. Keith Sharp.* Heat pipe augmented passive solar system for heating of buildings. // Energy Eng. – 2001. – 127. – P. 18–36.
5. *Bhattacharya S.C., Kapur V.K.* Investigation on the feasibility of using a two-phase thermosiphon. – Sun: Mankind's Future Source of Energy, 1978. – 579 p.
6. *Bezrodny M.K., Pioro I.L., Kostyuk T.O.* Transfer Processes in Two-phase Thermosiphon Systems. Theory and Practice. – Augmented and Revised Edition. – Kiev: Fact, 2005. – 704 p.
7. *George P. Peterson.* An Introduction to Heat Pipes: modelling, testing and application – Wiley, 1994. – 356 p.
8. *Reay D.A., Kew P.A.* Heat Pipes. Fifth edition 2006. – 374 p.
9. *Хайрнатов С.М.* Применение тепловых труб в системах обеспечения тепловых режимов РЭА: современное состояние и перспективы // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2015. – № 2–3. – С. 19–33.
10. *Randeep Singh, Masataka Mochizuki, Thang Nguyen, Aliakbar Akbarzadeh.* Applications of heat pipes in energy conservation and renewable energy based systems. Frontiers in Heat Pipes (FHP). – 2. 033003 (2011). – P. 1–13.
11. *Хайрнатов С.М.* Сучасний стан використання теплових труб у сонячних теплових та комбінованих колекторах. // Відновлювана енергетика. – 2015. – № 2. – С. 42–50.
12. *Beach R.T. and White R.M.* Heat Pipe for Passive Cooling of Concentrator Solar Cells. – Proceedings of the 15th IEEE Photovoltaic Specialists Conference. – Kissimmee, FL, May 12-15, 1981. – P. 75–80.
13. *Farahat M.A.* Improvement in the Thermal Electric Performance of a Photovoltaic Cells by Cooling and Concentration Techniques, proceeding of the 39th International Universities Power Engineering Conference (UPEC 2004), IEEE, New York, ISBN: September 6-8, 2004. – 1-86043-365-0. – P. 623–628.
14. *A. Benuel Sathish Raj, S. Praveen Kumar, G. Manikandan, P. Jerry Titus.* An Experimental Study on the Performance of Concentrated Photovoltaic System with Cooling System for Domestic Applications // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). – 2014. – Vol. 3. – Issue-6. – P. 97–101.

15. *Plesniak A., Jones R., Schwartz J., Martins G., Narayanan A., Whelan D., Benítez P., Miñano C.J., Cvetković A., Hernandez M., Dross O., Alvarez R.* Demonstration of high performance concentrating photovoltaic module design for utility scale power generation. – High and Low Concentrator Systems for Solar Electric Applications IV, Proceedings SPIE. – Vol. 7043. – 3. 1–5.
16. *Hsin-Jung Huang, Sheng-Chih Shen and Heiu-Jou Shaw.* Design and Fabrication of a Novel Hybrid-Structure Heat Pipe for a Concentrator Photovoltaic // *Energies*. – 2012. – No.5. – P. 4340–4349.
17. *Osborn, D.B., et al.,* "Solar Power Converter with Pool Boiling Receiver and Integral Heat Exchanger," U.S. Pat. No. 4,335,578. Jun. 22, 1982.
18. *Mark S. Mehos, James B. Moreno, Charles E. Andraka, et al.,* "DISH/STIRLINC HYBRID-RECEIVER" U.S. Pat. No. 6,487,859, Dec. 3, 2002.
19. *Baturkin V., Savchenko A., Zaripov V., Andraka C.* Some aspects of metal fibre structures development for large size high temperature heat pipes – solar receivers. International Conference "Heat Pipes for Space application", Moscow, Russia, 15-18 September, 2009. – P. 7.
20. *Michael V. Albanese, Brian S. Robinson, Ellen G. Brehob, M. Keith Sharp.* Simulated and experimental performance of a heat pipe assisted solar wall // *Solar Energy*. – 2012. – No. 86. – P. 1552–1562.
21. *Collares-Pereira M., Mendes F., Brost O., Gross M., Roesler S.,* 1991. Optimized heat pipe for application in integrated CPCs. In: Proceedings of ISES World Congress, New York, USA. – P. 1855–1859.
22. *Khalifa A.M.A., Taha M.M.A., Akyurt M.* Solar cookers for outdoors and indoors // *Energy*. – 1985. – No.10 (7). – P. 819–829.
23. *Khalifa A.M.A., Akyurt M., Taha M.M.A.* Cookers for solar homes // *Applied Energy*. – 1986. – No. 24. – P. 77–89.
24. *Khalifa A.M.A., Taha M.M.A., Mannaa A., Akyurt M.* A split-system solar cooker with heat pipes // *Energy Conversion and Management*. – 1986. – No. 26 (2). – P. 259–264.
25. *Balzar A., Stumpf P., Eckhoff S., Ackermann H., Grupp M.* A solar cooker using vacuum-tube collectors with integrated heat pipes. *Solar Energy*. – 1996. – No.58 (1–3). – P. 63–68.
26. *Stumpf P., Balzar A., Eisenmann W., Wendt S., Ackermann H., Vajen K.* Comparative measurements and theoretical modelling of single- and double-stage heat pipe coupled solar cooking systems for high temperatures // *Solar Energy*. – 2001. – No. 71(1). – P. 1–10.
27. *Mehmet Esen.* Thermal performance of a solar cooker integrated vacuum-tube collector with heat pipes containing different refrigerants // *Solar Energy*. – 2004. – No. 76. – P. 751–757.
28. *Steffen Jack und Gunter Rockendorf.* Abschlussbericht zum Vorhaben "Wärmerohre in Sonnenkollektoren – Wärmetechnische Grundlagen und Bewertung sowie neue Ansätze für die Integration", Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln / Emmerthal. – 2013. – November. – P. 190.

МІЖНАРОДНИЙ ІНВЕСТИЦІЙНИЙ БІЗНЕС-ФОРУМ З ПИТАНЬ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

ІХ МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ. ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА - 2016

АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ

8–10
листопада

ІЕС

МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
Україна, Київ, Броварський пр-т, 15
М "Лівобережна"
☎ +38 044 201-11-66, 206-87-86
e-mail: energo@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua, www.tech-expo.com.ua

ОРГАНІЗАТОР:
Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України

СПІВОРГАНІЗАТОР:
Міжнародний виставковий центр

ГАЛУЗЕВИЙ ПАРТНЕР:
Українська Вітроенергетична Асоціація

Технічний партнер: *Rent Media*