

УДК 536.423.1

Письменний Є.М.¹, Рассмакін Б.М.¹, Фрідріхсон Ю.В.¹, Хайрнасов С.М.¹,
Хмельов Ю.О.¹, Заріпов В.К.¹, Литвиненко М.М.², Ніколаєнко Ю.Є.²

¹ Національний технічний університет України «КПІ»

² Мінпромполітики України

РОЗРОБКА ТА ВИПРОБУВАННЯ ВОДОНАГРІВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З СОНЯЧНИМ КОЛЕКТОРОМ НА ТЕПЛОВИХ ТРУБАХ

Наведено опис конструкції автономної водонагрівальної установки з плоским сонячним колектором на теплових трубах. Приведені результати досліджень її теплотехнічних характеристик та їх аналіз.

Дано описание конструкции автономной водонагревательной установки с плоским солнечным коллектором на тепловых трубах. Приведены результаты исследования её теплотехнических характеристик и их анализ.

Description of autonomous water heating plant, which contains solar thermal collector with built-in heat pipes as a core is given. Study results on its thermal engineering performances and their analysis are adduced.

СК – сонячний колектор;
ТТ – теплова труба.

Вступ

В Україні питанням використання відновлюваних та вторинних джерел енергії останнім часом приділяється значна увага, тому що ці джерела почали розглядатись як суттєве доповнення до існуючих традиційних джерел енергоресурсів [1]. Серед відновлюваних джерел енергії сонячна радіація по своїм потенційним масштабам, екологічній чистоті та поширеності є найбільш перспективною [1, 2].

Перетворення сонячної енергії в теплову, з економічної точки зору, найбільш доцільно здійснювати шляхом нагріву теплоносіїв, наприклад, за допомогою водонагрівальних установок: для гарячого водозабезпечення житлових будинків та промислових об'єктів, нагріву води відкритих та закритих басейнів, підігріву ґрунту в теплицях і т. ін.

Головним елементом водонагрівальної установки, який в значній мірі визначає її техніко-економічні показники, є сонячний колектор (СК). Він сприймає сонячну радіацію та перетворює її енергію в теплоту, що в подальшому використовується для нагріву води. Від конструкції сонячного колектора, в основному, залежить ефективність водонагрівальної установки.

Мета та задачі досліджень

На світовому ринку найбільш розпов-

сюджені сонячні двоконтурні колектори з плоскою прозорою ізоляцією та плоскою теплопоглинаючою поверхнею [2]. Це обумовлено наступними перевагами таких СК: простота конструкції, низька вартість та досить високі коефіцієнти теплової ефективності (на рівні 0,5...0,7). Однак, такі конструкції мають ряд недоліків: 1) високий гідравлічний опір змієвикових теплообмінників; 2) нерівномірна течія теплоносія при колекторній роздачі; 3) наявність термосифонних та колекторних ефектів.

Цих недоліків можна позбавитись шляхом використання в конструкціях СК теплових труб (ТТ) – високоефективних теплопередаючих пристроїв із замкнутим випарювально-конденсаційним циклом теплоносія [3, 4]. Але наявність термічного опору в зоні контакту ТТ з теплосприймаючою металевією поверхнею сонячного колектора знижує ефективність передачі теплоти, ускладнює технологію його виготовлення та підвищує вартість.

Для виготовлення дешевих ефективних СК з малим гідравлічним опором необхідно запропонувати таку конструкцію теплових труб, яка б забезпечила виготовлення теплопоглинаючої панелі як єдиного цілого з циліндричною оболонкою (тобто ТТ плавникового профілю), розробити на основі теплових труб більш ефективну водонагрівальну установку та провести випробування її теплотехнічних характеристик.

Теплові труби, сонячний колектор

З огляду на вищезазначені вимоги, найбільш перспективною конструкцією корпусу теплових труб для створення ефективного плоского СК є плавниковий профіль. В конструкції сонячного колектора, розробленій співробітниками теплоенергетичного факультету НТУУ «КПІ», ізотермічна поглинаюча панель виконана саме на основі таких ТТ, на які отримано патент України [5].

Циліндричні оболонки ТТ всередині мають спеціальні аксіальні повздовжні канавки – капілярну структуру, необхідну для підвищення ефективності передачі теплоти. Плавник ТТ створює поверхню для поглинання сонячного випромінювання, він покривається спеціальною емаллю чорного кольору для зменшення теплових втрат за рахунок перевищення.

Для виготовлення теплопоглинаючої панелі СК використовувався профіль з алюмінієвого сплаву АД31 (ширина 124 мм, товщина 1,2 мм, діаметр циліндричної оболонки 13,5 мм), отриманий методом екструзії. Вказаний профіль розроблено з урахуванням простоти монтажу ТТ та зборки СК в цілому. Теплообмінник для прокачки незамерзаючого теплоносія, розміщений на зонах конденсації ТТ, також виготовлено з алюмінієвого сплаву АД-31 методом екструзії. Технічні характеристики зразка плоского СК з тепловими трубами наведено в табл. 1.

Водонагрівальна установка

Водонагрівальна установка (рис. 1) з новим типом плоского двоконтурного СК на профільних ТТ призначена для нагрівання води шляхом використання сонячної енергії та для зберігання нагрітої води. Теплота сонячних променів від плоскої поверхні з поглинаючим покриттям зони випаровування ТТ передається теплоносієм до теплообмінника, розташованого у зоні конденсації ТТ. Така ефективна схема теплопередачі забезпечує низький гідравлічний опір теплообмінника СК, відповідно, невеликі енерговитрати на роботу насосу і не потребує потужних насосів.

Табл. 1. Характеристики сонячного колектора

№ п/п	Найменування величини	Величина
1	Довжина, м	2,13
2	Ширина, м	1,00
3	Висота, м	0,085
4	Загальна площа сонячного колектора, м ²	2,13
4	Площа теплопоглинаючої поверхні, м ²	1,9
5	Маса, кг	49
6	Ступінь чорноти поглинаючої поверхні	0,91 ... 0,93
7	Коефіцієнт поглинання	0,92 ... 0,95
8	Кількість теплових труб, шт.	8

Дослідний зразок водонагрівальної установки з сонячним колектором складається з таких складових частин:

- плоского двоконтурного СК з поглинаючою панеллю, виготовленою з профільних алюмінієвих ТТ, теплообмінника та незамерзаючого теплоносія;
- бака-акумулятора (бойлера) для зберігання гарячої води;
- насосного блоку, який складається з наступних елементів: циркуляційного насосу, запобіжного та зворотнього клапанів, контактних термометрів, витратоміра, манометра;
- розширювального бачка для незамерзаючого теплоносія установки;
- контролера, цілодобово керуючого роботою насоса в автоматичному режимі;
- трубопроводів, теплоізоляції, запірної арматури.

Для проведення теплотехнічних випробувань дослідного зразка водонагрівальної установки було створено випробувальний стенд (рис. 2), який дозволяє проводити вимірювання щільності теплового потоку, температур в заданих зонах установки та обробляти дані у динамічному автоматичному режимі.

Акумуляування теплоти у водонагрівальній

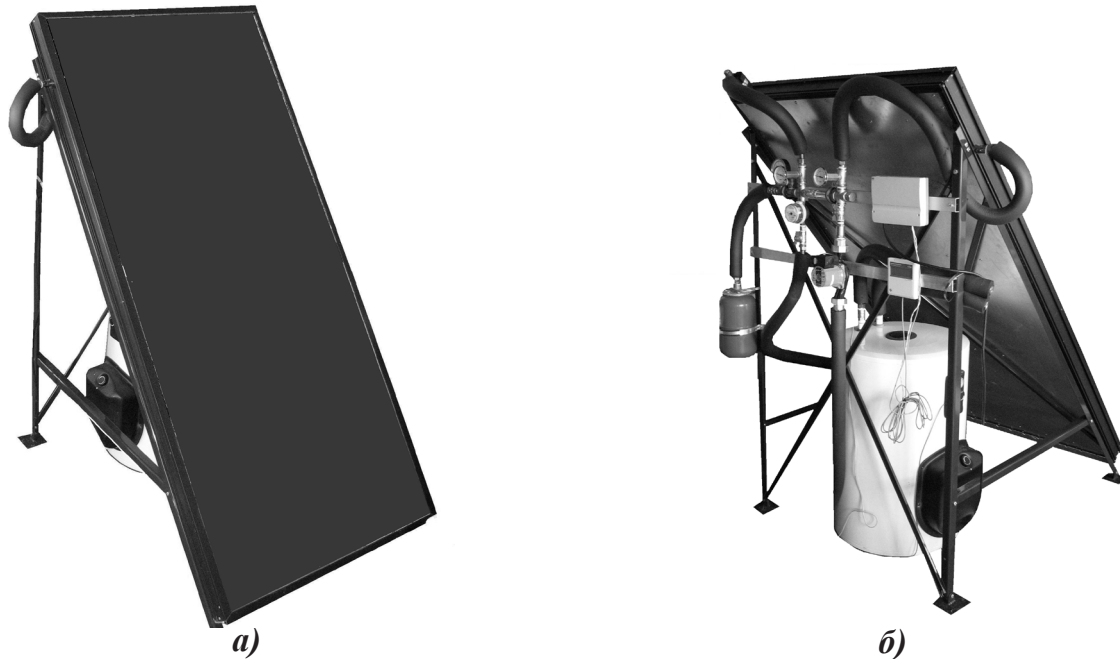


Рис. 1. Водонагрівальна установка з сонячним колектором на основі теплових труб:
а – вид спереду; б – вид ззаду.

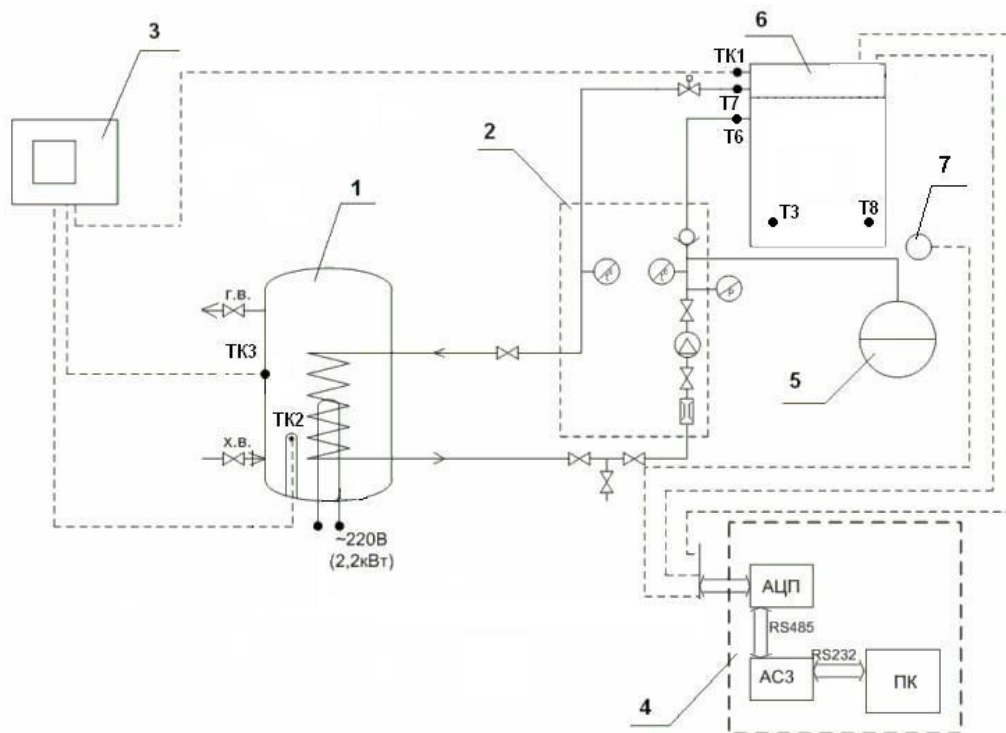


Рис. 2. Схема випробувального стенду: 1 – бак-акумулятор (бойлер); 2 – насосний блок;
 3 – контролер; 4 – автоматизована система вимірювання температури;
 5 – розширювальний бачок; 6 – плоский сонячний колектор на теплових трубах;
 7 – датчик щільності сонячного потоку; ТК1...ТК3, Т5...Т8 – датчики температури.

установці відбувалось у бойлері (1) (рис. 2), ємністю 95 л. Циркуляцію теплоносія було забезпечено насосним модулем (2). В якості циркуляційного насоса використовувався насос Wilo ST-Star з мокрим ротором. Насосний модуль забезпечує циркуляцію незамерзаючого теплоносія з витратою від 1 до 7 л/хв. Автоматичне керування водонагрівальною установкою забезпечувалось контролером (3), конструкція якого допускає використання до чотирьох датчиків температури для керування насосом та іншими елементами установки.

Автоматизована система вимірювання температури (4) має до 24 вимірювальних каналів. Основними складовими елементами автоматизованої системи вимірювання температури є: персональний комп'ютер (ПК), модулі аналогового вводу МВА8, терморегулятори ТРМ200 і ТРМ202, адаптер сигналів АС4. Робота системи здійснювалась під керуванням спеціального програмного забезпечення, розробленого в НТУУ «КПІ» і орієнтованого на таблично-графічне представлення експериментальних даних, їх обробку та архівацію.

Для вимірювання температури на елементах водонагрівальної установки використовувались мідь-константанові термопари та термометри опору Pt1000, NTC 10K. Величини максимальних абсолютних похибок вимірювання температури не перевищували $\pm 0,5$ °С. Для вимірювання величини щільності сонячного потоку використовувався вимірювач СМР-3 фірми Kipp&Zonen. Величина загальної похибки вимірювання щільності сонячного потоку не перевищує 10 %.

Встановлення сонячного колектора та забезпечення необхідного кута його нахилу (35°) здійснювались за допомогою спеціальної мобільної платформи, яка дозволяла проводити його випробування в натурних умовах.

Результати випробувань

Випробування проводились в номінальних режимах роботи. В ході випробувань були зафіксовані: стаціонарне та динамічне температурні поля сонячного колектора, в тому числі, поглинаючої панелі і води у бойлері,

температурні перепади по довжині теплових труб та між входом і виходом теплоносія з теплообмінника СК, щільність падаючого сонячного випромінювання і температура повітря на протязі дня, витрати теплоносія, теплові режими роботи водонагрівальної установки.

Результати випробувань показали, що термічний опір теплових труб сонячного колектора знаходиться у діапазоні $0,04 \pm 0,02$ °С/Вт. При щільності сонячного теплового потоку 920...980 Вт/м² розігрів води з температури 20 °С до 40 °С, тобто на 20 °С, відбувався не більше 3 годин (рис. 3).

За один сонячний день вода у бойлері прогрівалась до температури, більшої за 50 °С (з різних початкових температур). Так за 5,5 годин водонагрівальна установка забезпечує підігрів води у бойлері від 21 °С до 53 °С (рис. 3). При відсутності відбору води на протязі трьох діб водонагрівальна установка забезпечила підігрів води з 20 °С до 74 °С.

Основною характеристикою сонячного колектора, яка характеризує його ефективність, є крива СК (тобто тепла ефективність). Коефіцієнт теплової ефективності розраховувався як відношення корисного теплового потоку, який йде на нагрів теплоносія у теплообміннику СК, до повного теплового по-

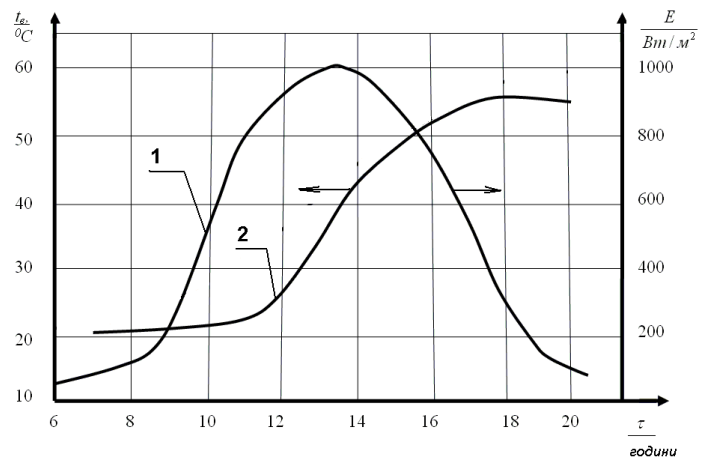


Рис. 3. Темп розігріву води у бойлері:
крива 1 – щільність загального падаючого сонячного теплового потоку E;
крива 2 – температура води t_w у бойлері;
 τ – час доби.

току сонячного опроміювання, який падає на теплопоглинаючу поверхню колектора.

Залежність коефіцієнта теплової ефективності СК від відношення перепаду температур між його теплопоглинаючою поверхнею і повітрям до щільності теплового потоку сонячного опроміювання E наведено на рис. 4 (при цьому величина E залишалась незмінною на протязі не менше 15 хвилин).

Висновки

На основі виконаної роботи можна зробити наступні висновки, рекомендації та пропозиції.

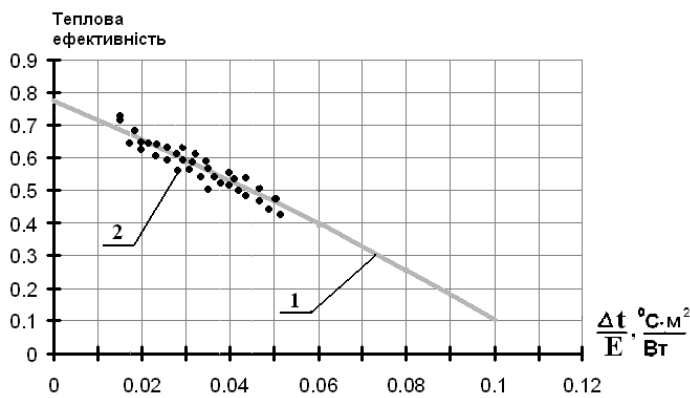


Рис. 4. Теплова ефективність сонячного колектора на теплових трубах:
1 – розрахункова крива сонячного колектора;
2 – експериментальні дані.

1. Аналіз результатів випробувань розробленого СК з ТТ та їх порівняння з існуючими показниками вказують на те, що створена сонячна водонагрівальна установка знаходиться на рівні світових зразків щодо ефективності використання сонячної енергії для нагріву води для побутових потреб, а за таким параметром як гідравлічний опір сонячного колектора, значно переважає найбільш відомі зарубіжні аналоги. Зважаючи на останнє, використання СК з ТТ є особливо економічно доцільним

при побудові більш потужних водонагрівальних установок з великою кількістю сонячних колекторів (п'яти і більше).

2. Створена водонагрівальна установка з колектором на основі теплових труб дозволяє за рахунок сонячної енергії забезпечувати сезонну потребу в гарячій воді більш ніж на 70 %. Для подальшого підвищення ефективності розробленого СК на ТТ доцільно використовувати в його конструкції селективне покриття та спеціальне призматичне скло чи скло з низьким вмістом заліза.

3. Сонячну водонагрівальну установку доцільно використовувати самостійно для нагріву води в весінньо-літньо-осінній період на всій території України та цілорічно в АР Крим. Можливе та доцільне використання установки цілорічно для попереднього підігріву води в традиційних системах гарячого водозабезпечення та системах нагріву води в басейнах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Безручко К.В., Губин С.В. Автономные наземные энергетические установки на возобновляемых источниках энергии. – Харьков: ХАИ, 2007. – 310 с.
2. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
3. Васильев Л.Л., Гракович Л.П., Хрусталёв Д.К. Тепловые трубы в системах с возобновляемыми источниками энергии. – Минск: Наука и техника, 1988. – 159 с.
4. Патент України №72866. Бюл. №4, 2005 р. Акумулятор сонячної енергії / Рассамакін Б.М., Хайрнасов С.М., Рассамакін А.Б., 2005 р.
5. Патент України №19110. Бюл. №3, 2007 р. Тепловая труба / Рассамакін Б.М., Ждановський А.А., Рассамакін А.Б., Хайрнасов С.М.

Получено 22.03.2010 р.