
НЕТРАДИЦІЙНІ І ПОНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

УДК 620.9:33

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ І ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК

В.В. Кувшинов, к.т.н.

Севастопольський національний університет ядерної енергії та промисловості

Запропонована і досліджена комбінована теплофотоелектрична установка, яка була створена на основі повнорозмірного промислового геліопрофіля, для будівництва кривлі з повітряним і рідинним теплоносіями, покритого серійними сонячними елементами. Для збільшення її потужних характеристик використувався плоский сонячний концентратор на основі бічних відбиваючих поверхонь.

Вступ

Існуючі типи сонячних установок, що виробляються промисловістю, зводяться, в основному, до виробництва різних конструкцій плоских теплових колекторів і плоских монокремнієвих модулів [1-2]. Застосування установок обмежене невисокою щільністю потоку сонячного випромінювання, тому підвищення ефективності використання сонячних установок за можливо за рахунок комбінування абсорбера плоского сонячного колектора і фотоелектричної батареї. Монокремнієві сонячні елементи мають плоску конструкцію, їх ККД складає 14...15 % при коефіцієнті поглинання до 95 %. При перетворенні сонячного випромінювання 80 % енергії йде, в основному, на тепловий нагрів елементів, що тільки погіршує їх якісну роботу. Розташувавши сонячні елементи поверх теплового абсорбера геліоколектора, при ефективному теплообміні створюється можливість для збільшення коефіцієнту перетворювання (КП) всієї установки [3]. Відведення тепла теплоносієм, циркулюючим по контуру геліосистеми, перешкоджає перегріву фотоперетворювачів і, відповідно, підвищує сумарне вироблення електричної енергії [4]. Високий коефіцієнт поглинання сонячних елементів дає можливість до 80 % сонячного випромінювання використовувати на нагрів приймальної поверхні теплового абсорбера.

Визначення мети та завдань наукового дослідження

Головною проблемою застосування сонячних установок є невисока щільність потоку сонячної радіації, перетворюваної в теплову і електричну енергію, їх низький коефіцієнт перетворювання (КП), і як наслідок висока собівартість за одиницю потужності. Ця проблема може бути вирішена оснащенням сонячних установок концентраторами, для підвищення потоку сонячної радіації, збільшенням сумарного КП при одночасному виробленні теплової і електричної енергії з однієї і тієї ж робочої поверхні сонячної установки за рахунок перетворення різних довжин хвиль сонячного спектру тепловим абсорбером і сонячними елементами. Для економії робочого часу і матеріалів при будівництві кривлі будинків і монтажі на ній теплових або електричних установок доцільно використовувати комбіновані геліопрофілі суміщені з дахом будови для вироблення теплової і електричної енергії. Виробництво теплофотоелектричних

геліопрофілей на основі серійних установок дозволить скоротити частину витрат на випуск абсорберів з дорогими селективними покриттями, на виробництво конструкцій фотоелектричних модулів і на матеріали для покриття дахів, об'єднавши їх в одну установку, вбудовану в кривлю будівлі.

Методи розрахунку теплових і електричних параметрів теплофотоелектричної установки

Комбінована теплофотоелектрична установка (КТФУ) (рис. 1) є серійний повнорозмірний промисловий геліопрофіль ТЕПС, що випускається промисловим підприємством «Інсолар ЮСВ» м. Дніпропетровськ, та встановлюється на будівлях і спорудах [5]. Геліопрофіль складається з окремих секцій завдовжки до 7 м і шириною 0,15 м, призначений безпосередньо для монтажу покрівельного покриття житлових будинків, усередині геліопрофіля знаходяться трубки для рідкого теплоносія і порожнини (канали) для повітря або теплоакumuлюючого матеріалу. На приймальній поверхні геліопрофіля знаходяться сонячні елементи, спаяні послідовно в ланцюжок по 36 шт. Фотоелементи кріпляться до приймальної поверхні за допомогою спеціальної теплопровідної пасти, яка має великий омичний опір. Елементи покривають від 1/3 до 1/2 нижньої частини геліопрофіля. За рахунок низької температури і циркуляції теплоносія відбувається охолодження елементів, що покращує якість роботи. Оскільки кремнієві сонячні елементи перетворюють відмінну від теплового абсорбера частину спектру, відбувається загальне збільшення КП.

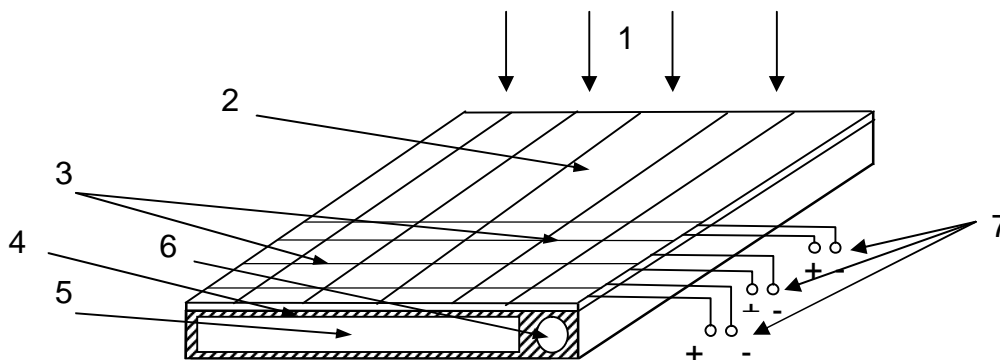


Рис. 1. Комбінована теплофотоелектрична установка: 1 – падаюча сонячна радіація; 2 – теплопоглинальна поверхня; 3 – сонячні елементи; 4 – стінки поглинаючої поверхні геліопрофіля; 5 – повітряний канал; 6 – канал для води; 7 – вихідні електричні контакти сонячних елементів

Потужність P_{\max} сонячною батареєю з урахуванням температурного коефіцієнта виражається як

$$P_{\max} = f_{ff} I_{\text{кз}} U_{\text{хх}} = I_{\max} U_{\max} = S_{\text{ел.}} E_{\sigma} h_{\text{сб}} = S_{\text{ел.}} E_{\sigma} h_{\sigma} (1 - k(T_{\text{ел.}} - T_{\sigma})), \quad (1)$$

де f_{ff} – коефіцієнт заповнення вольт-амперної характеристики (ВАХ) модуля; $I_{\text{кз}}$ – струм короткого замикання; $U_{\text{хх}}$ – напруга холостого ходу; I_{\max} – струм в робочій крапці; U_{\max} – напруга в робочій крапці; $S_{\text{ел.}}$ – корисна площа сонячних елементів, м^2 ; E_{σ} – освітленість робочої поверхні, $\text{Вт}/\text{м}^2$; $h_{\text{сб}}$ – ККД фотоелектричної батареї; h_{σ} – ККД фотоелементів за стандартних умов; k – температурний градієнт, залежний від типу сонячних елементів (складає 0,3...0,5 %/C); $T_{\text{ел.}}$ – температура фотоелемента; $T_{\sigma} = 25^{\circ}\text{C}$.

Корисна енергія, що відводиться з колектора в одиницю часу (фактично теплова потужність колектора, $P_{\text{СК}}$), описується рівнянням теплового балансу [6]

$$P_{СК} = S_{СК} G C_p (T_{вих.} - T_{вх.}) = h_{СК} S_{СК} E_o, \quad (2)$$

де $P_{СК}$ – потужність геліоколектора, Вт; $S_{СК}$ – площа колектора, м²; G – питома масова витрата теплоносія кг/(м²·с); C_p – теплоємність теплоносія Дж/(кг·К); $T_{вих.}$ – температура теплоносія на виході та вході в колектор; $h_{СК}$ – ККД геліоколектора. Для комбінованої установки освітленість E_o однакова для теплової і електричної частини, а величини площ $S_{СК}$ та $S_{ел.}$ еквівалентні. При роботі в стаціонарному режимі температура фотоелемента $T_{ел.}$ (формула (1)) приблизно дорівнює температурі теплоносія на вході $T_{вх.}$.

Оскільки загальна потужність комбінованої установки $P_{КСУ}$ дорівнює сумі потужностей теплової і фотоелектричної частин установки, то

$$P_{КСУ} = P_{СК} + P_{СБ} = S_{КСУ} E_o (h_{СК} + h_{СБ}) = S_{КСУ} E_o h_{КСУ}, \quad (3)$$

де $h_{КСУ}$ – загальний сумарний коефіцієнт перетворення КАФУ; $S_{КСУ}$ – корисна площа комбінованої сонячної установки, заповнена сонячними елементами. Звідси видно, що при збільшенні відбору потужності від сонячної установки за рахунок фотоелектричної складової зростає її сумарний КП, оскільки площа і освітленість робочої поверхні залишаються постійними однаковими для електричної і теплової частини. При неповному покритті приймальної поверхні КТФУ сонячними елементами, формула (3) набере вигляду

$$P_{КСК} = S_{КСК} E_o (h_{СК} + f_{КСУ} h_{СБ}), \quad (4)$$

де $f_{КСУ}$ – коефіцієнт заповнення сонячними елементами приймальної поверхні комбінованої (складає від 1/2 до 1/3 на 1 м² площі КТФУ). В результаті маємо

$$P_{КСК} = S_{КСК} E_o \left(\frac{G C_p (T_{вих.} - T_{вх.})}{E_o} + f_{КСУ} h_o (1 - k(T_{вх.} - T_o)) \right). \quad (5)$$

По цих формулах можна визначити всі параметри і характеристики КТФУ з урахуванням теплової і електричної частини. Для проведення експериментів використовувалися дві сонячні установки рівних розмірів, з однаковими тепловими абсорберами, розташованими під однаковими кутами до сонця, на абсорбері однієї установки (рис. 2) знаходилися сонячні елементи, довжина установок складала 3 м, а ширина 1 м.



Рис. 2. Теплова (справа) та теплофотоелектрична з концентратором (зліва) сонячні установки

Використання результатів експерименту

Оскільки площі установок були рівні, то обидві установки отримували однаковий прихід сонячної радіації і знаходилися в однакових умовах. При проведенні експериментів було отримані порівняльні теплові характеристики двох сонячних установок (рис. 3).

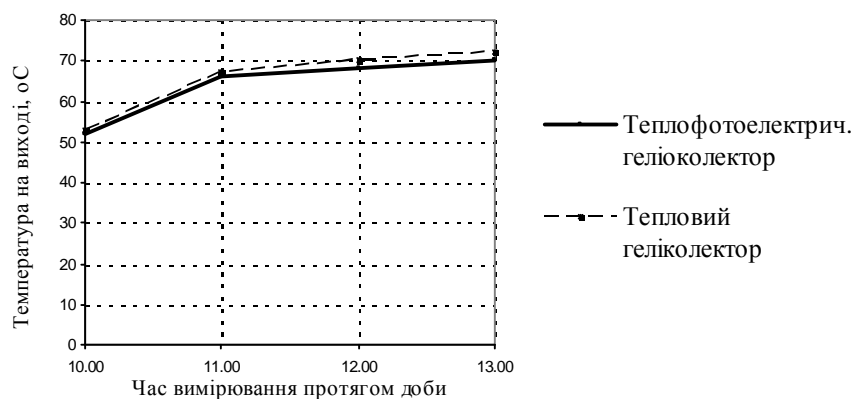


Рис. 3. Порівняльні теплові виробітки сонячних установок

Як видно з даних при одночасному виробленні теплової і електричної енергії, температури теплоносія на виході розрізнялися всього на 1...2 градуси, тобто по виробленню тепла установки майже не відрізняються.

Для підвищення загальної потужності сонячних установок в експериментах був використаний плоский концентратор з відбиваючої плівкою змінної конструкції, з геометричним коефіцієнтом концентрації 2 (см. рис. 2, установка зліва), розроблений автором для теплових геліоколекторів та фотоелектричних модулів [7]. Простота виконання і використання дешевих матеріалів з високим коефіцієнтом відбиття в концентраторі дозволяє зменшити собівартість всієї установки не одиницю потужності, що виробляється. Невисокий коефіцієнт концентрації забезпечує температуру робочої поверхні в межах необхідних для якісної роботи фотоелементів. При невисокому коефіцієнті концентрації простіше виконати установку з малими габаритними розмірами і невисокою парусністю, що особливо важливе при роботі в натурних умовах.

Експериментальні дані по виробленню тепла сонячними установками при використанні і без використання плоских концентраторів показали збільшення теплової потужності сонячної установки при використанні концентратора до 30 % (рис. 4).

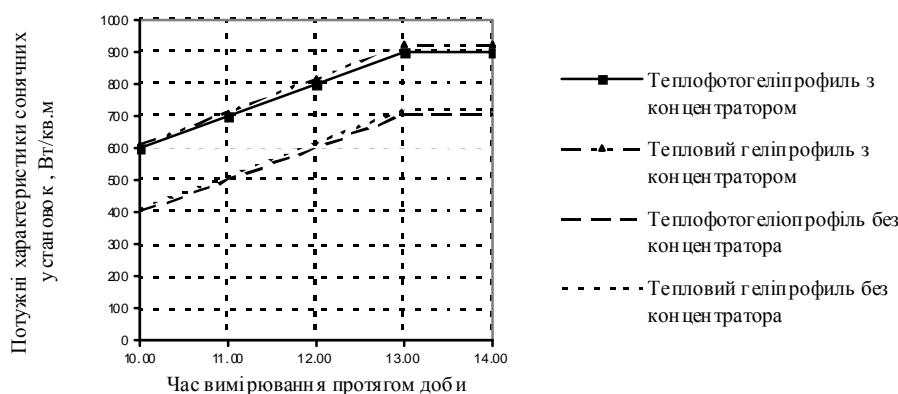


Рис. 4. Теплова потужність, яку виробляють сонячні установки

Висновки

В процесі роботи були отримані результати, за якими можна зробити наступні основні висновки:

1. На основі проведених досліджень, отриманих при роботі в натурних умовах, показано збільшення коефіцієнту перетворення теплофотоелектричної установки при порівнянні її характеристик з сучасною сонячною тепловою та фотоелектричною установкою, що підтверджую теоретичні розрахунки.

2. Сонячна установка з комбінованим абсорбером для вироблення теплової і електричної енергії, яка створена на основі серійного повнорозмірного промислового геліопрофіля ТЕПС і серійних фотоперетворювачів, підвищує сумарний коефіцієнт перетворювання до 85 %, що відповідає теоретичним розрахункам.

3. Проведені експериментальні дослідження КТФУ з використанням плоского сонячного концентратора показали збільшення потужності, що виробляється КТФУ з концентратором в натурних умовах, до 50 % по електричним та до 30 % по тепловим показникам.

4. Завдання підвищення коефіцієнту перетворювання сонячних установок зводиться до об'єднання теплових та фотоелектричних поверхонь, створених на основі промислових теплових абсорберів геліоустановок і фотоперетворювачів електричної енергії.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В.В. Кувшинов

Впервые была предложена и исследована комбинированная теплофотоэлектрическая установка, созданная на основе полноразмерного промышленного гелиопрофиля, встраиваемого в кровлю зданий, с воздушным и жидкостным теплоносителями, покрытого серийными солнечными элементами. Для увеличения ее мощностных характеристик использовался плоский солнечный концентратор на основе боковых отражающих поверхностей.

METHODS of CALCULATION and EFFICIENCY INCREASING of THERMOPHOTOELECTRIC INSTALLATION USING

V. Kuvshinov

It was first suggested and investigated the combined thermophotovoltaic installation constructed on the basis of full-sized industrial helioprofile mountable in the buildings roof with air-type and liquid heat carriers covered by serial solar elements. For the increase of its power characteristics the flat solar concentrator made on the basis of reflective side surfaces was used.

Список використаних джерел

1. Сафонов В.А. Порівняння характеристик деяких типів серійних сонячних колекторів / В.О. Сафонов, В.В. Кувшинов, П.В. Потапов, Б.А. Бокарев // Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2006. – Вып. 1 (17). – С. 117 - 126.

2. Якимов В.А. Экспериментальное исследование параметров эффективного плоского солнечного коллектора с фотоэлектрическим источником энергии / В.А. Якимов, В.В. Кувшинов // Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2006. – Вып. 4 (20). – С. 162 - 168.

3. Кузнецов К.В. Исследование характеристик солнечного воздушного гибридного коллектора / К.В. Кузнецов, И.И. Тюхов, Э.Д. Сергиевский // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Труды 6-й Междунар. науч.-техн. конф., 13-14 мая 2008 г. – Москва: ГНУ ВИЭСХ. – Ч. 4. – С. 227 - 231.

4. Кувшинов В.В. Деякі результати дослідження комбінованої установки для фото-термоперетворювання сонячної енергії / В.В. Кувшинов, В.О. Сафонов // Зб. наук. праць СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЕиП, 2009. – Вып. 3 (31). – С. 158 - 163.

5. Пат. RU2258874 Российская Федерация. Солнечный коллектор / Страшко В.В., Подлепич В.Ю., Безощенко Д.В., заявитель и патентообладатель: Страшко В.В., Подлепич В.Ю., Безощенко Д.В. – № 2258874; заявл. 10.16.03; опубл.10.04.05, Бюл. № 23.

6. Бекман У. Расчет систем солнечного теплоснабжения / У. Бекман, С. Кейли, Д. Даффи. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 176 с.

7. Пат. 49033 Україна; МПК Н 01 L 31/00. Сонячний концентратор для фотоелектричних модулів / Кувшинов В.В., Сафонов В.О., Башта А.І.; заявник і патентовласник Кувшинов В.В. – № u 2009 11839; заявл. 19.11.09; опубл. 12.04.10, Бюл. № 7.

Надійшла до редакції 14.09.2013 р.