

Б.А. Кутний, к.т.н., доцент

М.В. Осипа, студент

А.В. Макаров, студент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАСКЛЕННЯ ТЕПЛОФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛЕКТОРА

Виконано аналіз різних типів застосування для теплофотоелектричного колектора на основі їх теплоізоляційних та світлопропускних властивостей. Досліджено вплив прозорого покриття теплофотоелектричного колектора на потужність установки, силу струму та напругу. На основі експериментальних досліджень визначено оптимальний варіант застосування теплофотоелектричного колектора, яким виявилось подвійне органічне скло з повітряним прошарком.

Ключові слова: *теплофотоелектричний колектор, застосування.*

Б.А. Кутный, к.т.н., доцент

М.В. Осипа, студент

А.В. Макаров, студент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОСТЕКЛЕНИЯ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОЛЛЕКТОРА

Выполнен анализ различных типов остекления для теплофотозэлектрического коллектора на основе их теплоизоляционных и светопропускающих свойств. Исследовано влияние прозрачного покрытия теплофотозэлектрического коллектора на мощность установки, силу тока и напряжение. На основе экспериментальных исследований определен оптимальный вариант остекления теплофотозэлектрического коллектора, каким оказалось двойное органическое стекло с воздушной прослойкой.

Ключевые слова: *теплофотозэлектрический коллектор, остекление.*

B.A. Kutnyi, PhD, Associate Professor

M.V. Osipa, student

A.V. Makarov, student

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

INVESTIGATION PROPERTIES OF GLAZING HEAT-PHOTOVOLTAIC COLLECTOR

Performed the analysis of various glazing heat-photovoltaic collector types on their heat-insulating and light transmitting properties basis. Investigated the effect of the clear coat heat-photovoltaic collector power of the unit amperage and voltage. On the basis of experimental researches determined the optimal variant of glazing heat-photovoltaic collector, which is a double organic glass with air layer.

Keywords: *heat-photovoltaic collector, glazing.*

Вступ. Однією з найважливіших проблем, які постають на сучасному етапі розвитку промисловості й комунально-житлового господарства, є потреби у великій кількості теплової та електричної енергії. У цьому допомагає альтернативна енергетика, зокрема сонячна, котра може забезпечити одержання великої кількості не тільки електричної, а й теплової енергії. Це дозволить суттєво зменшити частку викопних енергоносіїв у загальному балансі задоволення потреб у гарячому водопостачанні та створити нові робочі місця для виробництва й обслуговування геліоустановок при тому, що сонячна енергія є практично невичерпним та екологічно чистим джерелом [1].

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Потужність фотоелектричних панелей залежить не лише від рівня освітленості, але й від їх температури. Узимку вони дають менше електричної енергії, ніж улітку, через слабе освітлення та короткий день. Улітку спостерігається збільшення генерованої ними енергії, проте є і зворотний бік: чим більше енергії надходить із сонячним випромінюванням, тим більше панель нагрівається, відповідно зменшується її ККД. Фотоелементи на основі кремнію та телуриду кадмію втрачають свою потужність від 0,1 до 0,7% на кожне підвищення температури на 1 °С [2, 3, 5, 6].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Проблема полягає в тому, що теплофотоелектричний колектор втрачає значну частину теплової енергії через світлопрозоре покриття, тому необхідно вирішити це питання та збільшити сумарний ККД установки.

Постановка завдання. Завданням є дослідження впливу різних видів засклення фотоелектричних панелей на їх ККД та тепловий режим.

Основний матеріал і результати. Перший дослід було проведено над полікристалічними фотоелектричними елементами, закритими тепловою ізоляцією з п'яти сторін. Їх фотосприймаюча частина була повністю відкрита для сонячного випромінювання і розміщувалася до сонця під кутом 80 — 100° без спеціально організованого охолодження. Середня освітленість становила 67500 Лк, температура зовнішнього повітря 28,8° С.

Дослід було розпочато при температурі на поверхні фотоелементів 30°С, початкова потужність фотоелементів становила $P_{\text{п}}=6,1$ Вт. Заміри температури та потужності елементів виконували кожні 2 хвилини, загальна тривалість дослідів — 32 хвилини. Наприкінці його температура й потужність фотоелементів склали відповідно $t_{\text{к}}=70,6^{\circ}\text{C}$ і $P_{\text{к}}=4,56$ Вт. Результати дослідження зображено на рис. 1.

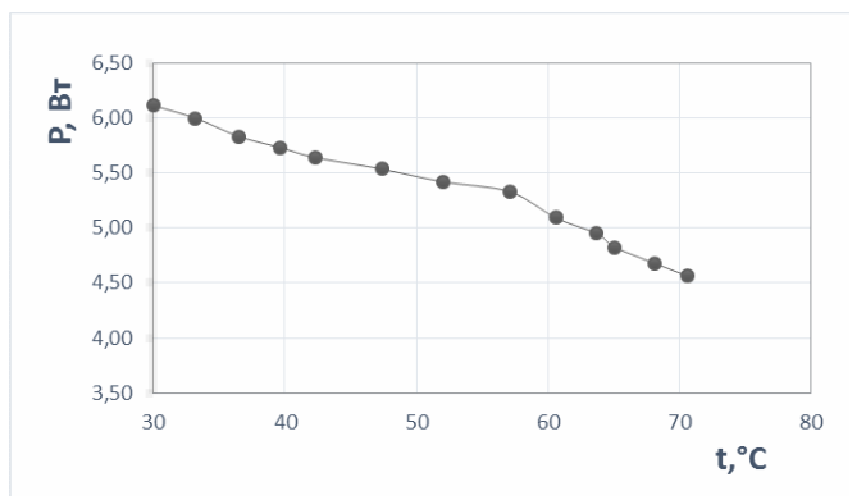


Рис. 1. Залежність електричної потужності кремнієвих фотоелектричних панелей від температури на їх поверхні (експериментальні дані)

Аналіз отриманих даних показує, що потужність фотоелементів після нагрівання до 40,6°C зменшилася на 25,2 %, тобто в середньому зниження потужності становить 0,66%/°C, що збігається з даними літературних джерел. Проте зменшення потужності відбувається нерівномірно. До температури фотоелементів 57 °C зменшення потужності становить 0,46 %/°C, а при вищих температурах підвищується до 0,95 %/°C. Різке збільшення втрат потужності фотоелементів при температурах, вищих ніж 57 °C, свідчить про те, що їх робочий діапазон температур варто обмежити цією температурою.

Для оптимізації захисного застосування сонячного колектора також було виконано ряд експериментів. Дослідження проводилися за напрямками визначення втрат енергії сонячного випромінювання та збільшення опору теплопередачі застосування. Для експериментів застосовано два види скла: органічне (товщиною 5 мм) та силікатне (товщиною 5 мм). Також проведено дослідження з одинарним, подвійним та комбінованим застосуванням.

Таблиця 1. Втрати світлового потоку при різних типах застосування

№	Світловий потік, Лк·10 ³			
	Без скла	Скло силікатне	Без скла	Органічне скло
1	70,00	67,00	70,50	66,50
2	70,50	67,00	70,50	66,50
3	70,00	65,50	70,00	66,00
4	70,00	65,50	70,00	66,00
5	70,00	66,50	69,50	66,00
6	69,50	66,50	69,50	66,00
Середнє	70,00	66,33	70,00	66,17
Втрачено у склі, %	5,24		5,47	

З таблиці 1 видно, що сумарний світловий потік більше втрачається в силікатному склі (на 0,23%), що є досить невеликим показником, але наступні таблиці показують, що фотоелементи при однаковому світловому потоці мають різні значення потужності.

Результати експериментального порівняння потужності кремнієвих фотоелементів при застосуванні двох видів скла зображено в таблиці 2. Видно, що силікатне скло має вдвічі більші втрати енергії, ніж органічне, при майже однакових показниках пропускну здатності сумарного теплового потоку. Це свідчить про те, що спектр поглинання органічного скла більше підходить для застосування фотоелектричних установок, тому що менше затримує спектр сонячного випромінювання, в межах якого працюють фотоелементи.

Відомо, що захисне скло є ділянкою, через яку найбільше втрачається тепла в сонячному колекторі. Тому доцільно використати два захисних скла з повітряним прошарком між ними. Це дозволить суттєво збільшити кількість тепла, котре відбирається теплоносієм, який циркулює в колекторі. Проте застосування подвійного застосування неминуче призведе до зменшення світлового потоку, що надходить на фотоелементи. Для визначення особливостей застосування подвійного застосування було проведено ще ряд досліджень з комбінацією двох силікатних стекол, силікатного та органічного скла, двох органічних стекол (таблиця 3).

Таблиця 2. Потужність фотоелементів при використанні різних видів скла

№ досліджу	Без скла			Силікатне скло			Без скла			Органічне скло		
	U, В	I, А	P, Вт	U, В	I, А	P, Вт	U, В	I, А	P, Вт	U, В	I, А	P, Вт
1	6,50	0,70	4,55	6,38	0,69	4,40	6,42	0,70	4,49	6,34	0,69	4,37
2	6,50	0,70	4,55	6,38	0,69	4,40	6,41	0,70	4,49	6,34	0,69	4,37
3	6,49	0,69	4,48	6,37	0,68	4,33	6,40	0,69	4,42	6,33	0,69	4,37
4	6,48	0,69	4,47	6,37	0,68	4,33	6,40	0,69	4,42	6,33	0,69	4,37
5	6,48	0,69	4,47	6,38	0,68	4,34	6,40	0,69	4,42	6,33	0,69	4,37
6	6,48	0,69	4,47	6,38	0,68	4,34	6,40	0,69	4,42	6,33	0,69	4,37
Середнє	6,49	0,69	4,50	6,38	0,68	4,36	6,41	0,69	4,44	6,33	0,69	4,37
Втрачається у склі, Вт	0,14						0,07					
$P_{втр}, \%$	3,11						1,58					

Таблиця 3. Втрати енергії при подвійному заскленні

№ досліджу	Без скла			Два силікатних скла			Без скла			Два органічних скла		
	U, В	I, А	P, Вт	U, В	I, А	P, Вт	U, В	I, А	P, Вт	U, В	I, А	P, Вт
1	6,48	0,70	4,54	6,23	0,68	4,24	6,43	0,70	4,50	6,32	0,69	4,36
2	6,44	0,70	4,51	6,23	0,68	4,24	6,43	0,69	4,44	6,32	0,69	4,36
3	6,44	0,69	4,44	6,19	0,68	4,21	6,43	0,69	4,44	6,31	0,69	4,35
4	6,44	0,69	4,44	6,19	0,68	4,21	6,46	0,70	4,52	6,31	0,69	4,35
5	6,44	0,69	4,44	6,19	0,68	4,21	6,46	0,70	4,52	6,32	0,69	4,36
6	6,44	0,69	4,44	6,19	0,68	4,21	6,40	0,70	4,48	6,32	0,69	4,36
Середнє	6,45	0,69	4,47	6,20	0,68	4,22	6,45	0,70	4,48	6,32	0,69	4,36
Втрачається у склі, Вт	0,25						0,12					
$P_{втр}, \%$	5,59						2,68					

Експериментальні дослідження, табл. 3, показують, що при застосуванні подвійного засклення втрати сонячного випромінювання у склі зростають на 70 – 80%. Крім того, втрати сонячної енергії в силікатному склі вдвічі більші, ніж в органічному. Якщо для подвійного засклення комбінувати силікатне та органічне скло, отримаємо середнє значення втрат (таблиця 4).

Найбільші втрати теплової енергії в колекторах припадають на світлопрозорі конструкції, тому постає проблема в збільшенні їхнього опору теплопередачі при мінімальних втратах на поглинання сонячного випромінювання.

Таблиця 4. Втрати енергії при одночасному застосуванні органічного і силікатного скла

№ досліджу	Без скла			Силікатне та органічне скло		
	U, В	I, А	P, Вт	U, В	I, А	P, Вт
1	6,43	0,70	4,50	6,22	0,69	4,29
2	6,43	0,69	4,44	6,22	0,69	4,29
3	6,43	0,69	4,44	6,26	0,69	4,32
4	6,46	0,70	4,52	6,26	0,69	4,32
5	6,46	0,70	4,52	6,26	0,69	4,32
6	6,40	0,70	4,48	6,26	0,69	4,32
Середнє	6,45	0,70	4,48	6,25	0,69	4,31
Втрачається у склі, Вт	0,17					
$P_{втр}, \%$	3,79					

Загальний опір теплопередачі застосування можна визначити за формулою, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$,

$$R = \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + R_{III} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_B}, \quad (1)$$

де α_3 – коефіцієнт теплообміну біля зовнішньої поверхні застосування, $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C}$; δ_1, δ_2 – товщина першого та другого шарів скла, м; λ_1, λ_2 – коефіцієнт теплопровідності шарів скла, $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{°C}$; R_{III} – опір теплопередачі повітряного прошарку, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$; α_B – коефіцієнт теплообміну біля внутрішньої поверхні застосування, $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C}$.

Для розрахунку опору теплопередачі застосування прийнято: $\alpha_3 = 8,7 \text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C}$, $\alpha_B = 23 \text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{°C}$; при товщині повітряного прошарку 20 мм його опір теплопередачі складе $R_{III} = 0,034 \text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$; $\delta_1 = 5 \text{мм}$, $\delta_2 = 5 \text{мм}$; $\lambda_1 = 1,15$, $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{°C}$; $\lambda_2 = 0,19 \text{Вт} / \text{м} \cdot \text{°C}$, [3].

Результати розрахунку опору теплопередачі для застосованих видів застосування показано в таблиці 5.

Таблиця 5. Опір теплопередачі різних комбінацій застосування

Вид застосування	2 органічних скла	силікатне + органічне	2 силікатні скла	1 силікатне	1 органічне
$R, \text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$	0,494	0,476	0,458	0,161	0,179

Між застосуванням знаходиться повітряний прошарок, що збільшує тепловий опір прозорій конструкції колектора приблизно втричі, тому комбінація двох органічних застосувань з повітряним прошарком між ними є оптимальним варіантом з точки зору світлопропускної спроможності та теплоізоляції конструкції теплофотоелектричного колектора.

Отже, можна зробити висновок, що для застосування тепло-фотоелектричного колектора доцільніше використовувати органічне скло, тому що воно має кращі теплоізоляційні властивості та менший рівень поглинання сонячного випромінювання в робочому діапазоні кремнієвих фотоелементів.

Наступний дослід, у якому з'ясовувалися втрати сили струму фотоелементами залежно від типу застосування, також показує перевагу органічного скла над силікатним. Експеримент проводився за таких умов: $t_{\text{пов}} = 32,3 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\text{панелі}} = 61,3 \text{ }^\circ\text{C}$, при постійній напрузі $U = 8,8 \text{ В}$.

Як видно з таблиці 6, при застосуванні органічного скла втрачається 10,1% від значення, яке показують фотоелементи без застосування будь-якого застосування, а при використанні силікатного скла — 14,4 %.

Таблиця 6. Сила струму фотоелементів залежно від типу застосування

I, A					
Без скла	Органічне скло	Різниця	Без скла	Силікатне скло	Різниця
0,84	0,72	0,12	0,9	0,74	0,16
0,86	0,78	0,08	0,82	0,73	0,09
0,75	0,7	0,05	0,87	0,73	0,14
0,87	0,74	0,13	0,85	0,72	0,13
0,8	0,73	0,07	0,86	0,75	0,11
0,79	0,75	0,04	0,92	0,8	0,12
0,85	0,76	0,09	0,94	0,8	0,14
—	—	—	0,92	0,8	0,12
—	—	—	0,93	0,79	0,14
$I_{\text{середнє}}$	—	—	0,83	0,71	0,12
0,823	$I_{\text{орг.скла}}$	0,083	0,884	—	0,127
—	%	10,1	—	%	14,4

Висновки. У результаті проведення досліджень і розрахунків було визначено, що оптимальним варіантом скління теплофотоелектричного колектора є подвійне органічне скло з повітряним прошарком 20 мм.

Література

1. Внутренние санитарно-технические устройства: в 3-х ч. Ч. 1. Отопление / В.Н. Богословский, Б.А. Крупнов, А.Н. Сканава и др.; под ред. И.Г. Староверова и Ю. И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1990. – 344 с
2. Солнечный коллектор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solarbat.info/>.
3. Свойства стекол [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.baurum.ru/>
4. Иванов I.M. Сонячний колектор [Електронний ресурс] / I.M. Иванов. – Режим доступу: <http://www.uipv.org/>.
5. Сухий М.П. Сонячний колектор [Електронний ресурс] / М.П. Сухий. – Режим доступу: <http://www.uipv.org/>.
6. Желих В.М. Сонячний колектор [Електронний ресурс] / В.М. Желих, Б.І. Пізнак, А.В. Фечан. – Режим доступу: <http://www.uipv.org/>.
7. Солнечные коллекторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://max-energy-saving.info/index.php>.

© Б.А. Кутний, М.В. Осіпа, А.В. Макаров
Надійшла до редакції 19.05.2015