

Ярослав Демченко
(Полтава, Україна)

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЛАБОРАТОРНОГО СОНЯЧНОГО ВОДОНАГРІВАЧА

Одним з перспективних відновлювальних джерел енергії є сонячне випромінювання. Так, повна середня потужність сонячного випромінювання на Землю складає $1,2 \cdot 10^{17}$ Вт, тобто на одну людину приходиться близько 20Мвт [1,2,3,4,5]. Потенційні можливості енергетики, заснованої на використанні безпосереднього сонячного випромінювання надзвичайно великі. Відмітимо, що використання лише на 0,0125% цієї кількості енергії Сонця могло б забезпечити всі сьогоденні потреби світової енергетики, а використання 0,5% – цілком покрити потреби на перспективу.

Одним з найбільш доступних пристроїв використання сонячного випромінювання є теплови колектор, в якому відбувається нагрів води. Для збільшення ефективності тепло поглинаюча панель накривається склом або іншим прозорим покриттям. Внаслідок наявності селективного характеру радіаційних властивостей відбувається так званий „тепличний ефект”.

Теплові сонячні генератори широко використовуються у якості теплоприймальних елементів сонячних електростанцій, сільському господарстві, побуті (отримання гарячої води, теплиці та інше). Основою цих пристроїв є так званий „гарячий ящик”. Скло майже без перешкод пропускає видимі проміні сонячного випромінювання (довжина хвиль від 0,2 до 0,6мкм, тобто ту частину спектру, в якій знаходиться більше 90% цієї енергії сонячного випромінювання. Проміні, які пройшли крізь скло нагрівають поверхню всередині ящика. Для забезпечення кращого поглинання цю поверхню роблять матовою чорною. Поверхня внаслідок нагріву починає випромінювати, але спектр випромінювання складається з інфрачервоних променів з довжиною хвилі від 0,8 до 3 мкм. Ці хвилі добре поглинаються

*Матеріали Всеукраїнської студентської конференції
«Перспективи модернізації підготовки майбутніх фахівців технологічної, професійної та
культуроологічної освіти»*

склом і не пропускають їх зовні. Таким чином досягається розігрів всередині „гарячого ящика”.

Збільшуючи кількість захисних шарів скла, можливо підвищити температуру всередині ящика до 200°C, однак при цьому значно збільшуються втрати в зовнішнє середовище, потужність установки падає.

Для отримання гарячої води широко використовують трубчастий водонагрівач. Нагрівач складається з панелі у вигляді „гарячих ящиків”, в яких в якості поверхні нагріву використовують труби заповнені водою. Нагрівач розміщують під кутом до горизонту рівному географічній широті місцевості або на 10 градусів менше (при роботі літом)[3]. Вода, яка нагрівається в трубах, піднімається вгору і потрапляє в бак-акумулятора, звідки використовується за призначенням. Холодна вода, яка поступає з напірного бака, який розташований вище нагрівача, або з водопроводу, знизу потрапляє у нагрівач, де процес повторюється. Продуктивність такого водонагрівача на 1 м² сонячної панелі для південних районів України складає 60...70л води, яка нагріта до температури 55...60°C.

На ефективність роботи трубчастого нагрівача значною мірою впливають якість виконання окремих вузлів установки.

Поглинаюча панель – основний елемент сонячного теплогенератора. Для його виготовлення частіше використовують сталеві трубки діаметром 15...20 мм, на які напилюють плівку з високою поглинаючою здатністю до відомого спектру випромінювання Сонця. В побутових умовах можна фарбувати матовою чорною фарбою або покривають сажею.

В умовах роботи, коли вода попередньо не обробляється, ці панелі швидко втрачають ефективність внаслідок корозії та виникнення шару мулу всередині труб. Перспективним є використання пластикових труб на основі фторопластів, полівінілхлоридів і поліолефінів[4]. Для надання цим матеріалам чорного кольору в них додають 3...5% сажі. Недоліком цих труб є мала

теплопровідність – 0,2 Вт/ м·К (для сталєх труб – 30...40 Вт/ м·К).

Прозора ізоляція – скло або інше покриття панелі, яке повинно мати селективний характер пропускання і поглинання промінів. При довжині хвиль видимого спектра ступінь поглинання повинен наближатися до нуля, для хвиль інфрачервоних променів – наближатися до 1. Цим умовам добре відповідає скло з малим вмістом заліза. Перспективним є використання поліметилметакрилату (оргскло), а також інших пластмас: полікарбонату і шароподібного склопластику[2].

Корпус в побутових умовах можна виготовити з деревини, але більш доцільно його виготовляти з пластмас або сталі, вони більш стійкі до кліматичних змін і вологи.

Теплоізоляція панелі є обов'язковим елементом будь-якої установки. Вона зменшує втрати тепла крізь дно і бокові поверхні колектора. Матеріал теплової ізоляції повинен мати низьку теплопровідність, стійку форму при робочих температурах ($90^{\circ} \dots 100^{\circ}C$) і витримувати механічні навантаження. Частіше використовують: мінеральну вату ($\lambda = 0,032 \dots 0,055 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, $t_{max} = 75^{\circ}C$), пінополістирол ($\lambda = 0,029 \dots 0,042 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, $t_{max} = 70^{\circ}C$), спінений сечовино-формальдегід ($\lambda = 0,032 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, $t_{max} = 125^{\circ}C$)[3].

Для оптимізації конструктивних параметрів лабораторної установки розроблена математична модель сонячного колектора. Розрахункова схема теплового колектора з прозорим покриттям (рис.1.) складається з теплопоглинаючої поверхні, яка охолоджується водою 4, прозорого покриття 2, скрізь яке потрапляє випромінювання (потік q_o), зовні покриття обдувається повітрям зі швидкістю ϑ_2 .

Математична модель складається при наступних припущеннях:

- теплопоглинаюча поверхня є плоска площина,
- поверхня скла і теплопоглинаюча поверхня – дві паралельні необмежені пластини,

*Матеріали Всеукраїнської студентської конференції
«Перспективи модернізації підготовки майбутніх фахівців технологічної, професійної та культурологічної освіти»*

- навколишнє середовище має ступінь чорноти одиницю,
- теплопоглинаюча поверхня – сіре тіло,
- скло має селективну ступінь чорноти,
- втратами тепла знехтуємо.

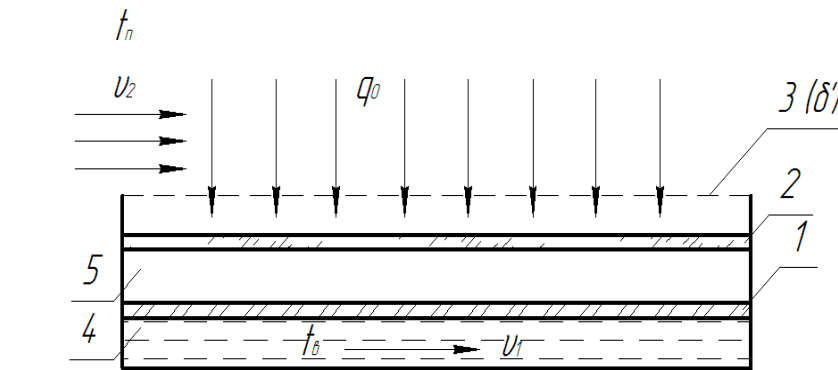


Рис.2. Розрахункова схема теплообміну в тепловому колекторі:

- 1 – теплопоглинаюча поверхня (T_1); 2 – скло (T_2); 3 – навколишнє середовище (T_s); 4 – теплоносії; 5 – нерухоме повітря;
 q_0 – потік сонячного випромінювання, $Вт/м^2$; v_1 – швидкість руху води; t_n – температура повітря, $^{\circ}C$; v_2 – швидкість руху повітря, $м/с$;
 t_b – температура води, $^{\circ}C$.

Система рівнянь, які описують теплообмін в установці складається з теплових балансів скла і теплопоглинаючої поверхні, температури яких невідомі. Вихідними даними є потік сонячного випромінювання q_0 , променева температура навколишнього середовища T_s , температура та швидкість руху повітря біля колектору t_n , v_2 , температура та швидкість руху води в колекторі t_b , v_1 .

Система містить:

- рівняння теплового балансу теплопоглинаючої поверхні

$$q_0 [f_1(1 - \varepsilon_2^1) + f_2(1 - \varepsilon_2^{11})] = \sigma_{1-s}(T_1^4 - T_s^4) + \alpha_{1-2}(T_1 - T_2) + k(T_1 - T_b); \quad (1)$$

- рівняння теплового балансу скла;

$$q_0(f_1\varepsilon_2^1 + f_2\varepsilon_2^4) + \sigma_{1-2}(T_1^4 - T_2^4) + \alpha_{1-2}(T_1 - T_2) = \alpha_{1-n}(T_2 - T_n) + \sigma_{2-s}(T_2^4 - T_s^4) \quad (2)$$

де f_1, f_2 - частки енергії сонячного випромінювання в діапазоні довжин хвиль від 0 до 2 мкм - f_1 та від 2 мкм до ∞ - f_2 ($f_1 = 0,872$; $f_2 = 0,028$) [6]

*Матеріали Всеукраїнської студентської конференції
 «Перспективи модернізації підготовки майбутніх фахівців технологічної, професійної та культурологічної освіти»*

$\varepsilon_2^1, \varepsilon_2^{11}$ - степінь чорноти скла в діапазонах довжини хвиль від 0..2 мкм - ε_2^1 та від 2 мкм до ∞ - ε_2^{11} ;

σ_{1-s} - коефіцієнт теплообміну випромінюванням між теплопоглинаючою поверхнею і навколишнім середовищем, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К^4}$:

$$\sigma_{1-s} = \frac{\sigma_0}{\frac{1}{\varepsilon_1} + n \left(\frac{2}{\varepsilon_2} - 1 \right)} \quad (3)$$

де n – кількість шарів скла;

α_{1-2} – коефіцієнт конвекційної тепловіддачі між теплопоглинаючою поверхнею та склом, визначається за [3], $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$;

κ – коефіцієнт теплопередачі від поверхні 1 до води [3], $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$;

α_{1-n} - коефіцієнт тепловіддачі від скла до повітря [3], $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$;

σ_{2-s} - коефіцієнт теплообміну випромінюванням від скла до навколишнього середовища, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К^4}$;

$$\sigma_{2-s} = \sigma_0 \cdot \varepsilon_2^4 \quad (4)$$

Слід відмітити, що випромінювання скла та теплопоглинаючої поверхні майже відповідає діапазону довгохвильового інфрачервоного спектру. При реальних температурах до 80..90°C частка цього випромінювання складає 0,999996 тобто приблизно 1,0.

Система з двох рівнянь 1 та 2 з двома невідомими T_1 та T_2 є нелінійною, що ускладнює вирішення. З метою спрощення введемо поняття коефіцієнтів променевої тепловіддачі

$$\alpha_{s,1-2} = \frac{\sigma_{1-2}(T_1^4 - T_2^4)}{(T_1 - T_2)}; \quad \alpha_{s,2-s} = \frac{\sigma_{2-s}(T_2^4 - T_s^4)}{T_2 - T_s} \quad (5)$$

*Матеріали Всеукраїнської студентської конференції
«Перспективи модернізації підготовки майбутніх фахівців технологічної, професійної та культурологічної освіти»*

При цих спрощеннях система перетворюється в лінійну:

$$q_0 [f_1(1 - \varepsilon_2^1) + f_2(1 - \varepsilon_2^{11})] = \alpha_{\varepsilon,1-S}(T_1 - T_S) + \alpha_{1-2}(T_1 - T_2) + k(T_1 - T_2); \quad (6)$$

$$q_0 [f_1 \varepsilon_2^1 + f_2 \varepsilon_2^{11}] + \alpha_{\varepsilon,1-2}(T_1 - T_S) + \alpha_{1-2}(T_1 - T_2) = \alpha_{2-n}(T_2 - T_n) + \alpha_{\varepsilon,2-S}(T_2 - T_S); \quad (7)$$

Розрахунок відбувається методом ітерації за допомогою комп'ютера. Було проведено три серії розрахунків для умов літа (варіант №1), перехідної пори року (варіант №2) та зими (варіант №3). Результати представлені в таблиці 1.

Результати розрахунків

Таблиця 1

Варіант	q_0 , $Вт/м^2$	t_n , °C	t_6 , °C	t_1 , °C	t_2 , °C	q , $Вт/м^2$	η	Δt_6 , °C
1	800	30	40	40,5	36,4	442	0,55	64,2
2	500	18	30	30,3	20,6	249	0,5	29,2
3	80	-10	20	20,1	-2,6	23,8	0,29	2,9

У таблиці 1 Δt_6 – це підвищення температури води в сонячному водонагрівачі, який має характеристики лабораторної установки (теплопоглинальна поверхня колектора $F=1,7 \text{ м}^2$), за 4 години роботи (з 10 до 14⁰⁰ - умови проведення дослідів на лабораторній установці). В розрахунках приймалось, що циркуляція води природна ($v_2=0,4 \text{ м/с}$), колектор металевий (сталь), вітер відсутній ($v_1=0 \text{ м/с}$), скло одинарне. Як бачимо найбільша ефективність досягається при найбільших значеннях густини сонячного випромінювання, тобто влітку: ККД склав 55%, максимальна температура нагріву води $82,2^\circ\text{C}$ (при умові, що початкова температура води 18°C). Найгірші показники геліоустановка буде мати взимку: $\eta=0,29$, максимальна температура води $20,8^\circ\text{C}$. В перехідний період ефективність установки

*Матеріали Всеукраїнської студентської конференції
«Перспективи модернізації підготовки майбутніх фахівців технологічної, професійної та
культуроологічної освіти»*

задовільна: $\eta=0,5$, $t_{\max}=45,2^{\circ}\text{C}$.

Таким чином на ефективність роботи установки дуже впливає температура повітря: її зменшення веде до значного збільшення втрат і відповідно зменшення ККД.

Слід відмітити, що отримані розрахункові показники мають дещо вищі показники від отриманих при випробуванні установки. Так при $q_0=595,3\text{Вт}/\text{м}^2$ за дослідами $\eta=36\%$, $t_{\max}=43^{\circ}\text{C}$, $t_1=46,2^{\circ}\text{C}$. Це пояснюється по-перше наявністю руху повітря в реальних умовах, а також наявністю припущень при складанні математичної моделі. В цілому результати розрахунків якісно співпадають з дослідними, тобто математична модель може використовуватися для порівняльної характеристики роботи геліонагрівача в різних умовах.

Аналіз результатів розрахунків показує, що водонагрівач ефективно використовувати в літню пори року та перехідну (при температурах зовнішнього повітря вночі більше нуля, якщо в якості теплоносія використовується вода).

ЛІТЕРАТУРА

1. *Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі* / [Бурячок Т. О. та ін. ; наук. ред.: Клименко В. Н., ЛандауЮ.О., Сігал І. Я.]. — Київ: [б. в.], 2013.
2. *Енергоефективність та відновлювані джерела енергії* / Бевз С. М. [та ін.]; під заг. ред. А. К. Шидловського ; НАН України, П-во «Укренергозбереження». — К. : Українські енциклопедичні знання, 2007.
3. *Нетрадиційна енергетика: основи теорії і задачі: навч. посіб.* / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа, Я. М. Гнатишин. — Львів: Магнолія, 2008.
4. *Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підруч.* / С.О. Кудря. — К. : НТУУ «КПІ», 2012.
5. *Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії: навч. посіб.* / О. І. Соловей, Ю. Г. Лега, В. П. Розен, О. О. Ситник, А. В. Чернявський, Г. В. Курбас; за заг. ред. О. І. Солов'я. — Черкаси: ЧДТУ, 2007.
6. Р. Зигель., Дж Хауелл. Теплообмен излучением. «Мир», М.:

*Матеріали Всеукраїнської студентської конференції
«Перспективи модернізації підготовки майбутніх фахівців технологічної, професійної та культурологічної освіти»*