



Національний університет
водного господарства
та природокористування

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
КАФЕДРА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ, ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА
ГІДРАВЛІЧНИХ МАШИН

02-04-20



Національний університет
водного господарства
та природокористування

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи

«Дослідження сонячного колектора» з дисципліни

“Використання нетрадиційних видів енергії”

для студентів напряму підготовки 6.050601 «Теплоенергетика»

денної форми навчання

Рекомендовано до друку
методичною комісією напряму
6.050601 «Теплоенергетика»
Протокол № 7 від 26 березня 2014 р.

Рівне-2014



Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження сонячного колектора» з дисципліни “Використання нетрадиційних видів енергії” для студентів напряму підготовки 6.050601 “Теплоенергетика” денної форми навчання. /І.І.Пуховий, А.А. Карпюк - Рівне: НУВГП, 2014. – 11с.

Укладачі: І.І.Пуховий, д.т.н., проф., А.А. Карпюк, к.т.н., доцент

Відповідальний за випуск: О.А. Рябенко д. т. н., завідувач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин



Національний університет
водного господарства
та природокористування



Вступ

Розвиток енергетики в 21 сторіччі буде відбуватися в основному через використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). До цього спонукають такі фактори:

- зміна клімату внаслідок глобального потепління;
- забруднення атмосфери тепловими, атомними електростанціями, іншими установками та автомобілями;
- зниження запасів якісного органічного палива в надрах Землі.

Сонячна енергія є загальнодоступним джерелом енергії. Сонце ще існуватиме 8 млрд. років і тому можна вважати його енергію вічною. Деякі вчені вважають що термін існування Землі менший.

Найбільш простим є перетворення сонячної енергії в теплоту низького (до 60°C) середнього (70...120°C) потенціалу. Це можна зробити без концентрації сонячного випромінювання в так званих плоских сонячних колекторах. Дослідженню такого колектора і присвячена ця лабораторна робота.

Роботу слід виконувати в такому порядку:

- занотувати основні теоретичні відомості та креслення колектора;
- приготувати таблиці для занесення туди експериментальних даних;
- обробити результати досліджень, оформити їх у вигляді таблиць і графіків;
- зробити висновки.

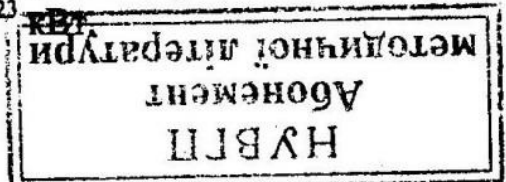
Мета та основні завдання роботи

Мета роботи – поглибити теоретичні знання та одержати практичні навички експериментальних досліджень. Крім того, під час проведення роботи студенти вивчають обладнання і конструкцію сонячного колектора.

Завданням роботи є проведення дослідження к.к.д. та температури рівноваги плоского вертикального сонячного колектора, а також знаходження на основі досліджень коефіцієнта теплових витрат колектора.

Основні теоретичні положення

Сонце розташовано на відстані 149598000 км від Землі. Температура його корони (периферії) складає 5820 К, температура в центрі від 15 до 20 млн. К. Енергія на Сонці виділяється за рахунок термоядерної реакції переходу водню в гелій: Один кілограм водню при названому переході виділяє енергію еквівалентну спалюванню 8,3 млн. тон нафти (до речі при ядерній реакції розпаду один кілограм урану дає енергію еквівалентну 9 тонам нафти). Загальна потужність Сонця оцінюється в $40 \cdot 10^{23}$ кВт.





Сонячне випромінювання за межами атмосфери складає $I=1395 \pm 28 \text{ Вт/м}^2$, тобто близько 1400 Вт/м^2 . На поверхню перпендикулярну променям Сонця на рівні моря о 12 годині дня найбільша інтенсивність сонячного потоку буде біля 1000 Вт/м^2 влітку.

В зв'язку з тим, що постійно підтримувати поверхню сонячного колектора перпендикулярно сонячним променям за допомогою системи слідкування складно і дорого, колектори встановлюють нерухомо, або змінюють їх орієнтацію декілька разів в рік. Найкраще орієнтувати колектори на південь. Кут нахилу колектора до горизонту складає

$$\text{для зими:} \quad \alpha = \gamma + 12^\circ;$$

$$\text{для літа:} \quad \alpha = \gamma - 12^\circ,$$

де γ - широта місцевості.

Цифра 12° є приблизною половиною кута нахилу земної вісі до площини орбіти Землі.

Вітражами експериментального сонячного колектора слугують шибки вікна лабораторії. Корпус колектора, що знаходиться в приміщенні лабораторії, виконаний з дерева і закріплений за вертикальну дерев'яну раму. Інтенсивність сонячного випромінювання при безхмарному небі на вертикальну площину обернену на південь знаходиться з таблиці 1, на 22 число кожного місяця. При необхідності потрібно інтерполювати величини на конкретну дату.

Таблиця 1. Інтенсивність сонячної радіації I , Вт/м^2 та накопичена за день енергія E_m на вертикальну поверхню обернену на південь при безхмарному небі.

Дата	I по годинам дня (астрономічним) Вт/м^2										За день E_m , Вт-год
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
22.06	157	281	381	446	468	446	381	281	157	78	3313
24.05 та 21.07	181	311	415	482	505	482	415	311	181	75	3584
23.04 та 22.08	247	395	512	586	612	586	512	395	247	93	4351
22.09 та 23.03	305	482	620	707	734	707	620	482	305	122	5213
22.02 та 22.10	273	492	660	763	798	763	660	492	273	0	5179
21.01 та 21.11	120	398	601	724	765	724	601	398	120	0	4393
21.12	0	316	540	674	718	674	540	316	0	0	3782



Плоскі сонячні колектори, що мають прозорі вітражі у вигляді скла чи плівки, можуть поглинати як пряму так і розсіяну сонячну радіацію. Розсіяне або дифузне випромінювання йде від хмар, а також від сусідніх будинків, піску тощо. Розсіяне випромінювання складає близько 10...12% від прямого сонячного випромінювання.

К.к.д. сонячного колектора залежить від таких факторів:

- конструкція вітражів;
- тип абсорбера;
- теплоізоляція абсорбера;
- теплоізоляція корпусу;
- температур теплоносія на вході $t_{вх}$ і виході $t_{вих}$.

Прозорі вітражі колектора виконують функції затримування випромінювання від абсорбера, зменшення охолодження абсорбера конвективними потоками, пропускання сонячного проміння та захист від негоди. Кількість вітражів (послідовно встановлених листів скла) залежить від вимог до к.к.д. і до температури, яку потрібно отримати. Найбільша їх кількість – 3. В основному використовують одне скло при температурах до 60°C, при вищих температурах слід вставляти 2 – 3 скла ($t = 80...110^\circ\text{C}$). Скло характеризується оптичним коефіцієнтом $\nu = 0,80...0,92$. В даній роботі при порівнянні результатів експериментів з розрахунком прийматимемо $\nu = 0,85$. При послідовній установці вітражів оптичний коефіцієнт системи

$$\nu_n = \nu^n$$

де n – кількість вітражів

Тип абсорбера впливає на к.к.д. через коефіцієнт неізотермічності $K_{ні}$, який залежить від відстані між трубами абсорбера і матеріалу труб. Для абсорбера, звареного з листів і використаного в даній роботі $K_{ні} = 1$.

Теплоізоляцію в колекторі встановлюють за поверхнею абсорбера, зворотньою до сонячного випромінювання. Інколи теплоізоляцію зовсім не вживають, а задня стінка виконує цю роль. Ми досліджуватимемо колектор в двох варіантах.

- з повітряним зазором між абсорбером і задньою стінкою;
- з додатково встановленою на задню стінку зовнішньою теплоізоляцією.

Теплоізоляція, вітражі та матеріал корпусу впливають на загальний коефіцієнт теплових витрат K колектора, який схожий на коефіцієнт теплопередачі, але віднесений не до всієї зовнішньої його поверхні, а лише до поверхні презорого покриття.

Формула для обчислення к.к.д. колектора має такий вигляд

$$\eta = \left[\nu - \frac{k \left(\frac{t_{вх} + t_{вих}}{2} - t_m^{min} \right)}{I} \right] K_{ні} \quad (1)$$



В лабораторній роботі потрібно буде за результатами досліджень розрахувати к.к.д. З формули видно, що к.к.д. колектора росте при зниженні середньої температури теплоносія в колекторі

$$t_m = \frac{t_{вх} + t_{вих}}{2} \quad (2)$$

При практичному використанні згаданий факт потрібно пам'ятати і не ставити собі за мету підняти температуру води в колекторі, якщо потім доведеться змішувати одержаний гарячий теплоносій з холодним.

Температура рівноваги колектора

Це максимальна температура, що досягається в колекторі при наявній інтенсивності вимірювання I . При досягненні такої температури кількість енергії, що надходить до колектора з сонячними променями дорівнює кількості енергії, що втрачається колектором. При цьому теплоносій (вода, антифриз чи повітря) через колектор не циркулюють і колектор не продуктує корисну теплову енергію. Відповідно і к.к.д. колектора дорівнює нулю.

Температура рівноваги t_p залежить від потужності сонячного випромінювання I та температури довкілля. Підвищення температури рівноваги ΔT_p у порівнянні з температурою довкілля для $I = 1000 \text{ Вт/м}^2$ може сягати максимально $60...70^\circ$ для колектора з одним вітражем і відповідно $120...130^\circ\text{C}$ та $140...150^\circ\text{C}$ для колектора з двома та трьома вітражами.

Практичне використання t_p зв'язане з можливістю приготування їжі, чаю та інших гарячих напоїв, та стерилізацією продуктів. Ці процеси вимагають досягнення і утримання деякий час необхідних температур, що і є можливим в сонячних колекторах при їх періодичній дії.

Температура рівноваги в деякій мірі є характеристикою теплової ефективності колектора (теплових витрат колектора).

Аналізуючи наведену вище таблицю, легко помітити змінність величини I в часі, в зв'язку з чим до $12^{30}...13^{00}$ температура рівноваги буде збільшуватися, враховуючи деяку теплову інерцію колектора, а потім зменшуватися.

Опис дослідного стенда з сонячним колектором

Основним елементом стенда є сонячний колектор.

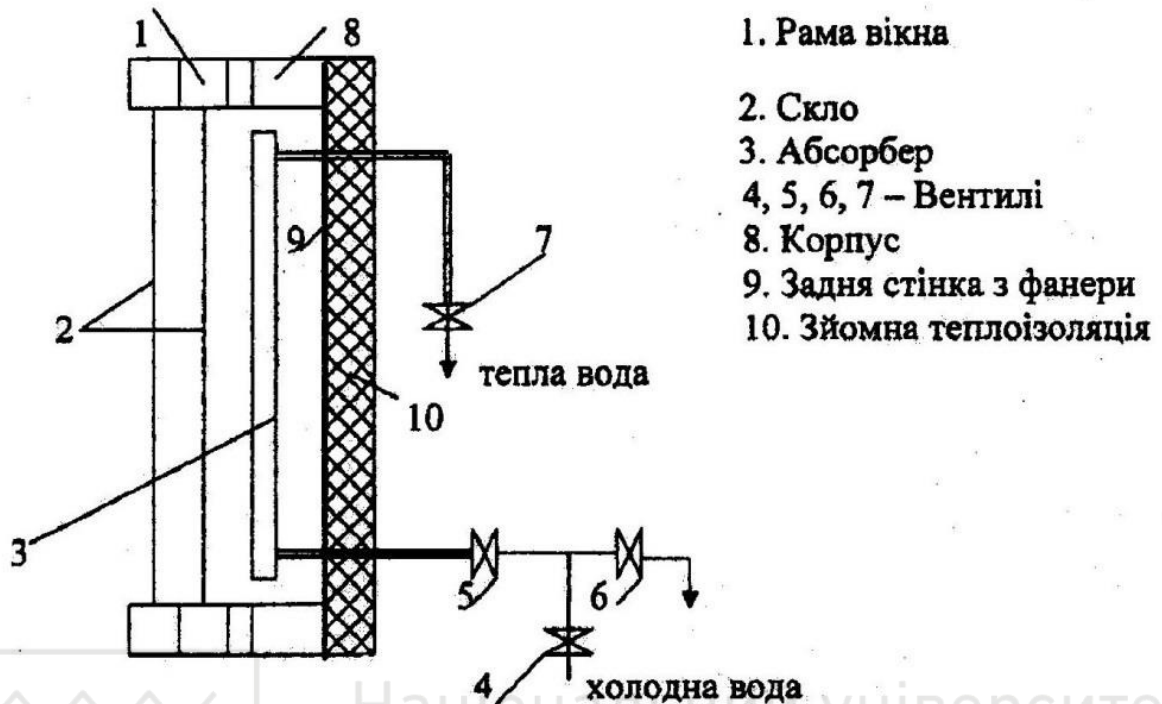


Рис. Конструкція вертикального сонячного колектора.

До абсорбера приєднані нижній вхідний і вихідний патрубки. Нижній патрубок з'єднаний з водопроводом. Кількість води, що міститься в абсорбері складає 4,7 л. Вхідна магістраль має три вентилі: вентиль 4 слугує для перекриття води, а вентиль 6 для зливу води як з водопроводу так і з колектора. При випробуваннях колектора вентилі 5 та 7 повинні бути завжди відкритими для того, щоб не підвищувати тиск в системі вище тиску, допустимого для гумового шлангу по якому подається вода після вентилі 4. Якщо вентиль 5 закривається, то при відкритому вентилі 4 потрібно забезпечити спуск води через вентиль 6.

Температура на вході в колектор вимірюється лабораторним термометром, який занурюється у резервуар, куди тече вода через вентиль 6. Температура також контролюється термопарою з вторинним приладом. Так само знаходиться і температура на виході із колектора. Витрата води знаходиться методом вимірювання часу заповнення заданого тарованого об'єму по секундоміру.

При використанні для досліджень інших сонячних колекторів потрібно ознайомитися з їх конструкцією і описом експериментального стенда додатково по матеріалам, які є в учбовій лабораторії. Ці колектори можуть бути встановлені як під кутом 90° , так і 60° до горизонту.



Заходи безпеки під час виконання лабораторної роботи

Щоб запобігти травматизмові, студенти повинні:

- зняти верхній одяг;
- додержуватися дисципліни;
- акуратно користуватися скляним лабораторним посудом та скляними термометрами з ртуттю.

Виконання лабораторної роботи

Для виконання роботи вибирається безхмарний день. З метою підвищення точності вимірювань дослідження проводити бажано з 11 до 15 годин (в період максимальних значень Λ). Для економії часу першою вимірюється температура рівноваги. Для її вимірювання потрібно витіснити холодною водою через вентилі 4,5 і 7 гарячу воду з колектора (близько 2...4 літрів) з періодичним вимірюванням температури. Записати максимальне значення температури води.

Методика дослідження температури рівноваги

Дослідження проводимо в 2-х варіантах: I. Колектор без теплоізоляції; II. колектор з теплоізоляцією.

Перед заміром температури рівноваги t_p колектор повинен бути заповнений водою і залишений без подачі холодної води в нього протягом 2 – 3 годин. Для заміру максимальної температури води потрібно подати холодну воду на вхід колектора і по мірі витиснення гарячої води заміряти щохвилино її температуру. Найбільше максимальне значення прийматимемо за t_p , яку занотуємо до таблиці 2.

Методика дослідження к.к.д. сонячного колектора

Дослідження к.к.д. сонячного колектора η бажано проводити в сонячну погоду з 11 до 15 години.

Величину к.к.д. досліджуватимемо при двох значеннях величини масової витрати води, що відрізняються між собою не менше ніж в два рази.

В процесі досліджень потрібно записати в таблицю 2 час початку дослідів і температури води на вході t_1 та на виході з колектора t_2 . Слід дочекатися стаціонарного режиму, коли протягом 10 хвилин температура t_2 не буде змінюватися. Одночасно з фіксацією часу початку і закінчення дослідів потрібно записати температури повітря в кімнаті t_4 та у довікеллі t_5 .

Дослідження к.к.д. слід виконувати при відсутності і при наявності додаткової теплоізоляції.



Таблиця 2. Оформлення результатів експерименту

Дата " ____ " _____ . . . р.

№ досл.	Астрон. час		Витрата води		Температура, °С					Примітка
	Початок	Закінчен- ня	m, кг	τ, с	Вода			Повітря		
					рівн. t _p	вхід t ₁	вихід t ₂	кімн. t ₄	довк. t ₅	
I. Колектор без теплоізоляції										
Результати дослідження 12.11.2003 р. (зразок)										
1	13	-			65	-	-	23	11	
2	13 ³⁰	13 ⁴⁰	0,17	60	-	22	41,5	23	11	
1 2										
II. Колектор з теплоізоляцією										
1										
2										

Таблиця 3. Результати обробки експериментів

№ досл.	I, Вт/м ² (з табл.1)	F, м ²	I • F, Вт	m _в , кг/с	t ₁ -t ₂	Середня темп, °С		t _p , °С	Q _к , Вт	η _{експ}	η _{ро зр}
						води t _m	повіт- ря t _m ^{''}				
I. Колектор без теплоізоляції											
Результати дослідження 12.11.2003 р. (зразок)											
1	738	0,675	505	0	0	65	17,5	65	0	0	0
2	700	0,675	50	2,83х 10 ⁻³	19,5	31,7 5	17,5	-	231	0,48	0,51
II. Колектор з теплоізоляцією											
1											
2											

1											
2											



Обробка результатів вимірювань к.к.д.

Масу води в мірній посудині знаходимо приймаючи вагу 1 см³ (мілілітр) за 1 грам. Масова витрата

$$m_s = \frac{m}{\tau}$$

Масова витрата вимірюється в кг за секунду.

Для розрахунків кількості теплоти знаходимо приріст температури води в колекторі.

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

Корисна теплова потужність колектора

$$Q_k = C_w \cdot m_s (t_2 - t_1)$$

де $C_w = 4,187 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

Середня температура води в колекторі

$$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

Середня температура повітря в довкіллі і в кімнаті

$$t_m^n = \frac{t_4 + t_5}{2}$$

Експериментальне значення к.к.д.

$$\eta = \frac{Q_k}{IF}$$

Значення I знаходимо в табл. 1 інтерполюючи на дату і точний час досліду.

Площа вітражу сонячного колектора $F = 0,675 \text{ м}^2$. Результати розрахунків по наведеним вище формулам заносимо в табл. 3.

Відзначимо, що в табл. 2 та 3 в якості зразка показані результати дослідження t_p та η 12.11.2003 р.

Обробка результатів вимірювання температури рівноваги

При температурі рівноваги к.к.д. колектора дорівнює нулю, тому є можливість використовуючи рівняння (1) для знаходження коефіцієнта теплових втрат K колектора. Приймаючи коефіцієнт неізотермічності $K_{n, i} = 1$ (суцільна пластина в конструкції абсорбера) одержимо:

$$K = \frac{Iv^2}{t_p - t_m^n}$$

$v = 0,85$ – оптичний коефіцієнт; для двох вітражів $v_2 = 0,722$

Приклад знаходження K для досліду 1 від 12.11.01

$$K = \frac{738 \cdot 0,722}{65 - 17,5} = 11,21 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$



Розрахуємо η для проведених дослідів використовуючи знайдене значення K .

Приклад одержання η для дослідів 12.11.03

$$1) \eta = 0,722 - \frac{11,21(31,7 - 17,5)}{700} = 0,51$$

В досліді №2 добре зійшлися розрахункові та експериментальні результати ($\eta_{\text{розрах}} = 0,51$, $\eta_{\text{експ}} = 0,48$)

Визначимо, що величина K дещо збільшується зі збільшенням температури через посилення вільної конвекції повітря та випромінювання в кімнату та довкілля.

Аналіз одержаних результатів та основні висновки

Студенти мають самостійно проаналізувати одержані значення температури рівноваги, к.к.д. колектора та коефіцієнта теплових втрат колектора і вплив теплоізоляції на нього.

Контрольні запитання

1. Який фізичний зміст температури рівноваги і орієнтовні її значення для колекторів з 1,2 та 3 вітражами?
2. Які фактори впливають на к.к.д. сонячного колектора?
3. Що таке стратифікація в сонячних установках?
4. Дайте характеристику абсорберу колектора.
5. Що таке коефіцієнт неізотермічності і від чого він залежить?

Список рекомендованої літератури

1. Пуховий І.І. Разработка и тепловые расчеты систем солнечного отопления. Киев: КПИ, РОВО "Укрполіграф", 1992 – 24с.
2. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / Под ред. Э.В.Сарнацкого, С.А.Чистовича. – М.: Стройиздат, 1990. – 325 с.