

ПРАКТИЧНА РОБОТА №6

БУДОВА І ФУНКЦІОНУВАННЯ ГЕЛІОСИСТЕМ. РОЗРАХУНОК ГЕЛІОСИСТЕМ

Мета роботи: ознайомитися з особливостями будови і функціонування різних видів геліосистем; навчитися розраховувати вакуумні трубчасті та плоскі сонячні колектори.

1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.

Геліосистема – це система використання сонячної енергії для нагріву води, яка складається з наступних основних компонентів:

- колектор (встановлюється на покрівлі);
- бак накопичувач (акумулятор тепла об'ємом 150-600 л);
- рама для кріплення колектора.

Існує безліч різних сонячних колекторів, призначених для нагрівання води. Все різноманіття сонячних колекторів можна розділити на наступні типи: плоскі сонячні колектори і вакуумні трубчасті колектори.



Рис. 2.1 – Плaskий сонячний колектор

Плaskий сонячний колектор. Простим і найбільш дешевим способом використання сонячної енергії є нагрів побутової води в так званих плоских сонячних колекторах. Плaskий сонячний колектор (рис. 2.1) є теплоізольованим з тильного боку і боків ящиком, всередині якого поміщена теплопоглинальна металева або пластикова панель, забарвлена в темний колір (або покрита спеціальним оптичним селективним покриттям, що добре поглинає сонячне випромінювання і мало випромінює в інфрачервоному спектрі).

Абсорбер закритий згори світлопрозорим обгороджуванням (один або два шари скла або прозорого, стійкого від впливу ультрафіолету пластика). Панель є теплообмінником, по каналах якого прокачується вода, що нагрівається. Вода прямує в тепло ізольований бак, гідравлічно-сполучений з сонячним колектором.



Рис. 2.2 – Вакуумний трубчастий колектор

Вакуумний трубчастий колектор. Як і плоскі сонячні колектори, вакуумні трубчасті колектори перетворюють сонячну енергію, що падає, на тепло. Сонячне випромінювання потрапляє всередину вакуумної скляної трубки, тут і відбувається перетворення енергії сонячного випромінювання в теплову енергію (рис. 2.2). Фактично, втрат тепла в довкілля не відбувається, так як вакуум – найгірший провідник тепла. Вакуум підтримується між зовнішнім покриттям із скла і теплопоглинальним шаром.

Завдяки вакууму мінімізуються теплові втрати, і різко знижується залежність ККД колектора від різниці температур (між температурою

колектора і температурою зовнішнього повітря).

Геліосистеми можуть бути одноконтурні або двоконтурні з природною або з примусовою циркуляцією теплоносія (вода або спеціальна рідина).

У одноконтурних системах в сонячні колектори поступає і нагрівається саме та вода, яка витрачається з бака-акумулятора.

У двоконтурних системах в контурі сонячних колекторів знаходиться спеціальний теплоносій (зазвичай незамерзаюча нетоксична рідина з антикорозійними і антиспінувальними присадками або підготовлена вода), при цьому тепла енергія від теплоносія передається воді за допомогою теплообмінника (спіральна труба в баку – «змійовик», зовнішній теплообмінний апарат або «бак в баку»).

Системи з природною циркуляцією теплоносія.

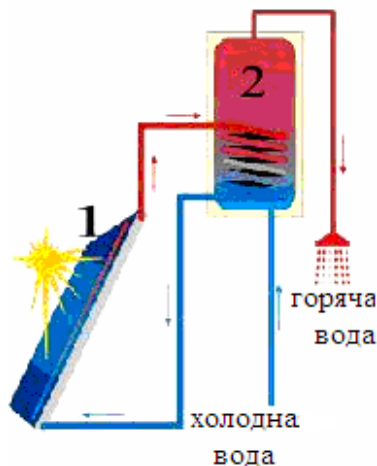


Рис. 2.3 – Системи з природною циркуляцією теплоносія:
1 – колектор; 2 – бак-акумулятор (бак-бойлер)

Принцип роботи систем з *природною циркуляцією теплоносія*: розігрітий теплоносій (маючи нижчу щільність) спрямовується у верхню частину колектора, внаслідок чого виникає різниця гідростатичних тисків; якщо колектор підключити до бака, який знаходиться вище за нього, то виникне мимовільна циркуляція теплоносія, швидкість якої залежить від конструкції колектора, інтенсивності сонячного випромінювання і швидкості охолодження в теплообміннику (рис. 2.3).

Системи з примусовою циркуляцією теплоносія.

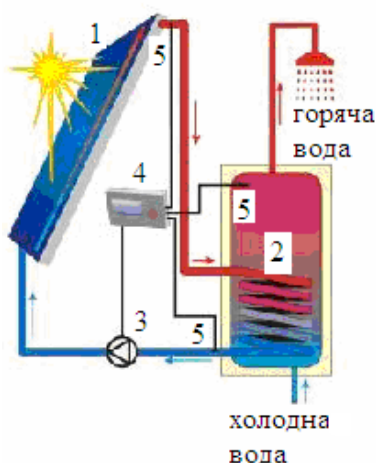


Рис. 2.4 – Системи з примусовою циркуляцією теплоносія:
1 – колектор; 2 – бак-акумулятор (бак-бойлер); 3 – циркуляційний насос;
4 – контролер (блок управління);
5 – датчики температури

У системах з *примусовою циркуляцією* в контур колекторного круга включається малопотужний циркуляційний насос, який примушує циркулювати теплоносій. Його роботою управляє спеціальний контролер. Споживана потужність насоса, незрівняно мала з тепловою енергією, яка виробляється системою (рис. 2.4).

Ключовими чинниками при виборі системи є: можлива температура повітря в найхолодніший період року і кількість ясних сонячних днів. Системи з природною циркуляцією набули поширення в країнах з теплим кліматом.

Переваги геліосистем: сонячна енергія безкоштовна; тривалий термін експлуатації – 25 років; автономність (для літніх сонячних систем без використання електроенергії); низька собівартість отриманої теплової енергії; використовується екологічно чиста невичерпна енергія сонця.

2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок кількості плоских сонячних колекторів, згідно з варіантом завдання, використовуючи розрахункову схему наведену в додатку 2.

Значення вихідних величин наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні данні для розрахунку кількості плоских сонячних колекторів

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість людей в сім'ї, люд.	2	3	4	5	4	3	2	5	6	4
Місто проживання	Київ	Дніпро	Чернігів	Херсон	Харків	Львів	Одеса	Луцьк	Ужгород	Рівно
Добова потреба у воді, люд/доба	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30
Необхідна міра заміщення традиційної енергетики, %	45	60	70	45	60	70	45	60	70	45
Орієнтація колектора	сх/зах	півд. сх./півд	півд.	сх/зах	півд. сх./півд	півд.	сх/зах	півд. сх./півд	півд.	сх/зах
Кут нахилу колектора, °	30/45	60	60	30/45	30/45	60	60	30/45	30/45	60

2.2. Розрахунок кількості трубок для вакуумного сонячного колектора Ataba.

Необхідно забезпечити гарячою водою сім'ю з n чоловік, що проживають в певному місті, при середньодобовій потребі кожного з них V_x , м³/люд. Середня температура води, що входить, складає t_n °С, необхідна кінцева температура – t_k , °С; здатність поглинання енергії сонця сонячним колектором Ataba складає Y %, площа поглинання – S_{mp} , м².

Розрахунок проводиться за наступним алгоритмом:

- визначення об'єму ємності нагрівача:

$$V_H = 1,5(nV_x) \quad (2.1)$$

де V_H – об'єм колектора ємності, м³

n – кількість людей в сім'ї, люд.

V_x – середньодобова потреба у воді кожного члена сім'ї, м³/люд
 - визначення температурного перепаду:

$$T_T = t_k - t_n \quad (2.2)$$

де t_k – кінцева температура води, °С;

t_n – початкова температура води, °С.

Розраховуємо кількість енергії, необхідної для нагрівання потрібної кількості води з урахуванням того, що для нагріву одного літра води на один градус потрібно витратити енергію рівну 1 ккал.

$$G = V_H T_T \quad (2.3)$$

Для переведення цієї енергії в кВт·год скористаємося наступною формулою:

$$GB = G / 859,8 \quad (2.4)$$

(1 кВт·год = 859,8 ккал)

Визначимося з кількістю енергії, яка може поглинатися і перетворюватися в тепло сонячними колекторами Атаба.

Визначаємо середньомісячне значення сонячної радіації (G_x) для вказаного міста (додаток 3).

Розраховуємо кількість енергії, здатну акумулюватися однією трубкою сонячного колектора за формулою:

$$G_{mp} = G_x Y S_{mp} \quad (2.5)$$

де Y – кількість сонячної енергії, здатна поглинатися цією маркою колектора, %

S_{mp} – площа поглинання вакуумної трубки цього колектора, м².

- визначаємо необхідне число трубок.

$$N = GB / G_{mp} \quad (2.6)$$

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Вихідні данні для розрахунку кількості трубок для вакуумного сонячного колектора

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість людей в сім'ї, люд.	2	3	4	5	4	3	2	5	6	4
Місто проживання	Київ	Дніпро	Чернігів	Херсон	Харків	Львів	Одеса	Луцьк	Ужгород	Рівно
Добова потреба у воді, м ³ /люд	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30
t_n , °С	12	14	16	11	13	15	12	14	16	13
t_k , °С	55	60	57	59	62	65	64	63	58	60
Y , %	80	79,5	79,3	80,2	81	78,9	79,2	80,5	80,8	82
S_{mp} , м ²	0,08	0,076	0,082	0,081	0,079	0,078	0,077	0,083	0,084	0,081

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: сім'я складається з $n=5$ чоловік, що проживають в *Житомирі*, при середньодобовій потребі кожного з них $V_x=60$ л. Середня температура води, що входить, складає $t_n=10^\circ\text{C}$, необхідна кінцева температура – $t_k=60^\circ\text{C}$; здатність поглинання енергії сонця сонячним колектором Атаба складає $Y=80\%$, площа поглинання – $S_{mp}=0,08$ м².

Визначаємо об'єм ємності нагрівача:

$$V_H = 1,5(nV_x) = 1,5(5 \cdot 60) = 450 \text{ м}^3$$

Визначаємо температурний перепад:

$$T_T = t_k - t_n = 60 - 10 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

Розраховуємо кількість енергії, необхідної для нагрівання потрібної кількості води з урахуванням того, що для нагріву одного літра води на один градус потрібно витратити енергію рівну 1 ккал.

$$G = V_H T_T = 450 \cdot 50 = 22500 \text{ ккал}$$

Для переведення цієї енергії в кВт-год скористаємося наступною формулою:

$$GB = G / 859,8 = 22500 / 859,8 \approx 28,2 \text{ кВт-год}$$

Визначимося з кількістю енергії, яка може поглинатися і перетворюватися в тепло сонячними колекторами Атаба.

Середньомісячне значення сонячної радіації для Житомира згідно додатка 3 складає $G_x=3,04$ кВт-год/м²/день.

Розраховуємо кількість енергії, здатну акумулюватися однією трубою сонячного колектора за формулою:

$$G_{mp} = G_x Y S_{mp} = 3,04 \cdot 0,8 \cdot 0,08 \approx 0,2 \text{ кВт-год/день}$$

Визначаємо необхідне число трубок.

$$N = GB / G_{mp} = 28,2 / 0,2 \approx 141$$

2.3. Розрахунок параметрів геліоелектростанції типу вежа.

На сонячній електростанції типу вежі встановлено n геліостатів, кожен з яких має поверхню F_2 м². Геліостати відбивають сонячні промені на приймач, на поверхні якого зареєстрована максимальна енергетична освітленість $H_{np}=2,5$ МВт/м². Коефіцієнт віддзеркалення геліостата $R_2=0,8$, коефіцієнт поглинання приймача $A_{np}=0,95$. Максимальна опроміненість дзеркала геліостата $H_2=600$ Вт/м². Визначити площу поверхні приймача F_{np} і теплові втрати в приймачеві, викликані випромінюванням і конвекцією, якщо робоча температура теплоносія складає $t^\circ\text{C}$. Міра чорноти приймача $e_{np}=0,95$. Конвективні втрати удвічі менше втрат від випромінювання.

Енергія, отримана приймачем від сонця через геліостати (Вт), може бути визначена за рівнянням:

$$Q = R_2 A_{np} F_2 H_2 n \tag{2.7}$$

де H_2 – опроміненість дзеркала геліостата у Вт/м² (для типових умов

$H_z=600$ Вт/м²);

F_z – площа поверхні геліостата, м²;

n – кількість геліостатів;

R_z – коефіцієнт віддзеркалення дзеркала концентратора, $R_z=0,7\div 0,8$;

A_{np} – коефіцієнт поглинання приймача, $A_{np}<1$.

Площа поверхні приймача може бути визначена, якщо відома енергетична освітленість на ньому H_{np} Вт/м²

$$F_{np} = \frac{Q}{H_{np}} \quad (2.8)$$

У загальному випадку температура на поверхні приймача може досягати $t_{nos}=1160^\circ\text{C}$, що дозволяє нагрівати теплоносії до 700°C . Втрати тепла за рахунок випромінювання в теплоприймачі можна вчислити за законом Стефана-Больцмана:

$$q_{np} = \varepsilon_{np} C_o (T/100)^4, \text{ Вт/м}^2 \quad (2.9)$$

де T – абсолютна температура теплоносія, К; (для переведення температури з шкали Цельсія в шкалу Кельвіна використовують вираз $T = t + 273,15$

ε_{np} – міра чорноти сірого тіла приймача;

C_o – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, дорівнює $5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴)

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Вихідні данні для розрахунку параметрів геліоелектростанції

Величини і одиниці їх виміру	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	243	253	263	273	283	293	303	313	323	333
$F_z, \text{ м}^2$	64	61	58	55	52	49	46	43	40	37
$t, ^\circ\text{C}$	700	680	660	640	620	580	560	540	520	600

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: на сонячній електростанції типу вежі встановлено 300 геліостатів, кожен з яких має поверхню $F_z=50$ м², а робоча температура теплоносія складає $t=600^\circ\text{C}$.

Енергія, отримана приймачем від сонця через геліостати:

$$Q = R_z A_{np} F_z H_z n = 0,8 \cdot 0,95 \cdot 50 \cdot 600 \cdot 300 = 6,84 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

Площа поверхні приймача:

$$F_{np} = \frac{Q}{H_{np}} = \frac{6,84}{2,5} \approx 2,7 \text{ м}^2$$

Втрати тепла за рахунок випромінювання в теплоприймачі

$$q_{np} = \varepsilon_{np} C_o (T/100)^4 = 0,95 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \left(\frac{600 + 273,15}{100} \right)^4 \approx 3,13 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/м}^2$$

2.4. Розрахунок параметрів паротурбінних сонячних енергетичних установок (СЕУ).

Визначити теплоту, що підводиться геліостатами до встановленого на вежі парогенератора паротурбінної сонячної електростанції, якщо кількість геліостатів n , площа дзеркал одного геліостата F , інтенсивність сонячного випромінювання I , коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання η_e . Визначити також термічний ККД і теоретичну потужність паротурбінної установки СЕУ, що працює за циклом Ренкіна, якщо параметри гострої пари p_1, t_1 , тиск в конденсаторі $p_2=10$ кПа, ККД парогенератора $\eta_{ng}=0,85$. Як зміниться потужність СЕУ, якщо замість паротурбінної установки застосувати кремнієві фотоелектричні перетворювачі з ККД $\eta_{\phi e}=0,15$, що займають ту ж площу, що і дзеркала геліостатів?

У паротурбінних сонячних енергетичних установках теплота сонячного випромінювання від дзеркал геліостатів концентрується на парогенераторі, встановленому на вежі. Загальна кількість теплоти, сприйнятої парогенератором, складає

$$Q = \eta_e n F I, \text{ Вт} \quad (2.10)$$

де η_e – коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання (змінюється в межах 0,35-0,5)

n – кількість геліостатів

F – площа дзеркал одного геліостата, м^2

I – інтенсивність сонячного випромінювання, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Термічний ККД визначається

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_k} \quad (2.11)$$

де h_1 – ентальпія гострої пари, h_2 – ентальпія пари (визначається за h -s діаграмою водяної пари), що відпрацювала в турбіні, h_k – ентальпія конденсату (визначається за таблицею термодинамічних властивостей води і водяної пари). Теоретична потужність паротурбінної СЕУ складе

$$P_{nm} = \eta_t \eta_e Q, \text{ Вт} \quad (2.12)$$

де η_e – ККД електрогенератора (в межах 0,92...0,96)

Потужність СЕУ з фотоелектричними перетворювачами визначається співвідношенням:

$$P_{\phi e} = \eta_{\phi e} F I, \text{ Вт} \quad (2.13)$$

де $\eta_{\phi e}$ – ККД фотоелектричних перетворювачів (змінюється в межах 0,13-0,18);

F – їх загальна площа, м^2 .

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 2.4.

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: на вежі парогенератора паротурбінної сонячної електростанції кількість геліостатів $n=4000$, площа дзеркал одного геліостата $F=12 \text{ м}^2$, інтенсивність сонячного випромінювання $I=500 \text{ Вт}/\text{м}^2$, коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання

$\eta_e=50\%$, а параметри гострої пари $p_1=10$ МПа, $t_1=400^\circ\text{C}$, тиск в конденсаторі $p_2=10$ кПа, ККД парогенератора $\eta_{ng}=0,85$, ККД кремнієвого фотоелектричного перетворювача $\eta_{fe}=0,15$.

Таблиця 2.4 – Вихідні данні для розрахунку параметрів паротурбінних сонячних енергетичних установок (СЕУ)

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n , шт	1000	3000	5000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000
F , м ²	10	12	14	13	12	11	12	13	14	12
I , Вт/м ²	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
η_e , %	50	48	46	47	49	50	51	50	49	51
p_1 , МПа	12	11	10	9	8	9	10	11	12	10
t_1 , °С	450	440	430	420	410	400	410	420	430	440

Загальна кількість теплоти, сприйнятої парогенератором, складає

$$Q = \eta_e n F I = 0,5 \cdot 4000 \cdot 12 \cdot 500 = 12 \cdot 10^6 \text{ ,Вт}$$

Термічний ККД визначається за формулою (2.11), при цьому згідно h - s діаграми водяної пари $h_1=3250$ кДж/кг (точка перетину $p_1=10$ МПа та $t_1=400^\circ\text{C}$), $h_2=2400$ кДж/кг (точка перетину $p_2=10$ кПа та насичення пари $X=95\%$), $h_k=2700$ кДж/кг (ентальпія конденсату при $X=100\%$)

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_k} = \frac{3250 - 2400}{3250 - 2700} = 1,54$$

Теоретична потужність паротурбінної СЕУ складе:

$$P_{nt} = \eta_t \eta_e Q = 1,54 \cdot 0,5 \cdot 12 \cdot 10^6 = 9,24 \cdot 10^6 \text{ Вт,}$$

Потужність СЕУ з фотоелектричними перетворювачами визначається співвідношенням:

$$P_{fe} = \eta_{fe} F n I = 0,15 \cdot 12 \cdot 500 \cdot 4000 = 2,88 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення терміну «геліосистема».
2. Наведіть типи сонячних колекторів.
3. Охарактеризуйте одноконтурні та двоконтурні геліосистеми.
4. Наведіть системи з природною та з примусовою циркуляцією теплоносія.
5. Як розраховують параметри геліоелектростанції типу вежа.
6. Як розраховують параметри паротурбінних сонячних енергетичних установок.