

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**



**ПОДМАЗКО О.С.**

**ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГІЇ МОРЯ ТА ЗЕМЛІ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ПО РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ**

**ОДЕСА 2019**

Укладач: доц., к.т.н. Подмазко О.С.

Рецензент

проф..Тітлов О.С.

Методичні вказівки розглянуті на засіданні кафедри  
термодинаміки та відновлюваної енергетики та запропоновані до  
видання.

Протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2019 р.

Зав. кафедрою термодинаміки

та відновлюваної енергетики

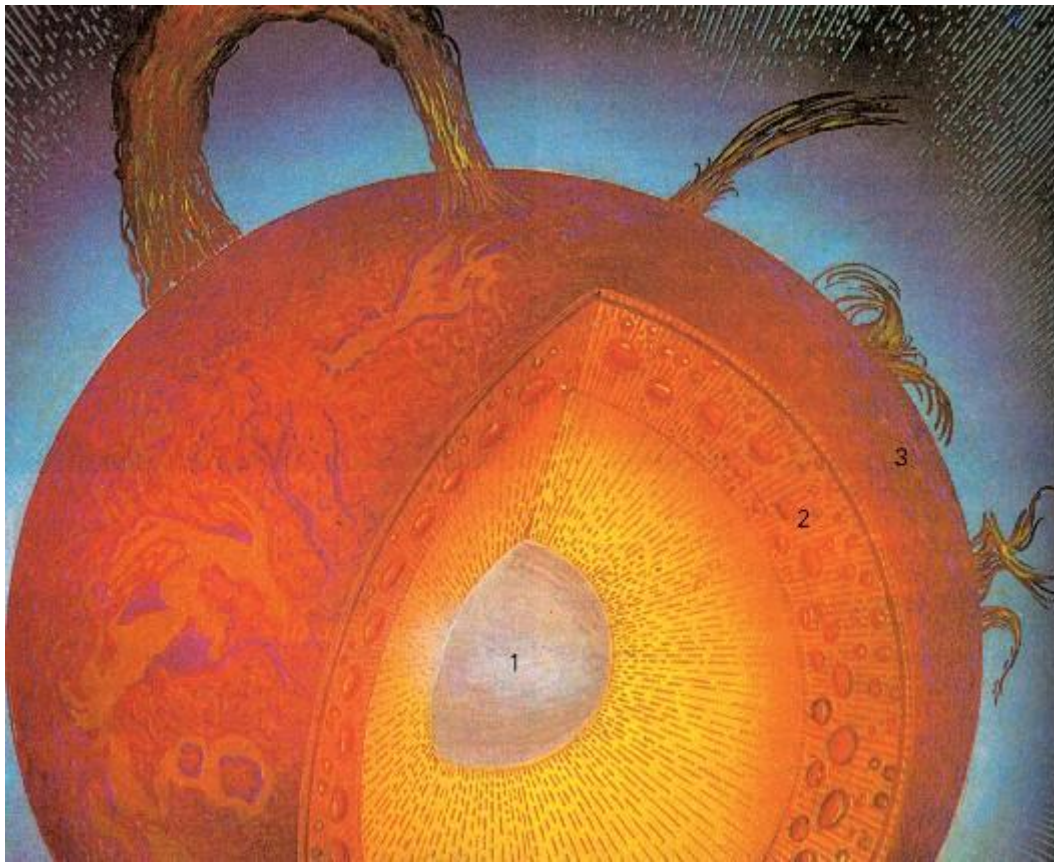
проф.. Дорошенко О.В.

## Потенціал сонячної енергії

Умови її ефективного використання Сонце – специфічний гідродинамічний об'єкт діаметром 1 390 000 км, що утворився з хмари газу, в основному водню. Температура його надр настільки висока, що забезпечує синтез водню в гелій. Цей синтез, який відбувається в надрах Сонця, вивільнює енергію у вигляді високочастотного електромагнітного випромінювання, яке, перевипромінюючись, поступово доходить до його поверхні. Випромінювання, що в кінцевому підсумку досягає Землі, виходить з тонкого поверхневого шару Сонця, названого фотосферою (мал. 5.10).

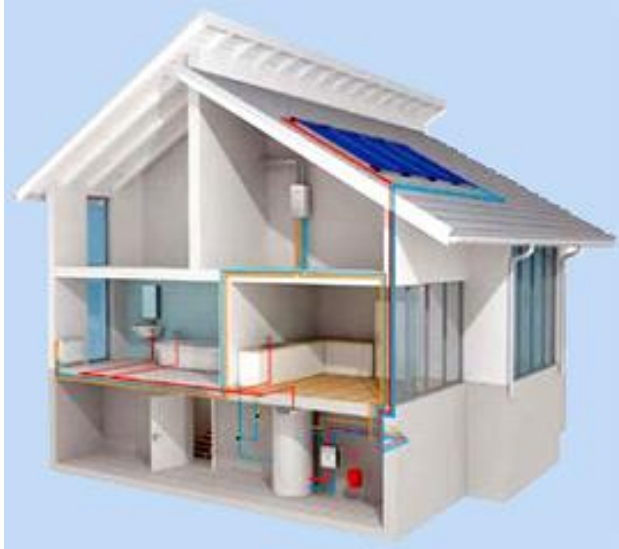
Електромагнітне випромінювання фотосфери Сонця поширюється в космічному просторі зі швидкістю світла (300 000 км/с) у вигляді променів, що розходяться (мал. 5.11).

Потужність випромінювання Сонця ( $3,8 \cdot 10^{26}$  МВт) дуже велика. Енергія, випромінювана Сонцем кожен день, є джерелом життя на Землі. Вона підтримує в газоподібному стані земну атмосферу, постійно нагріває сушу і водойми, дає енергію вітрам і водоспадам, морським течіям і хвилям, забезпечує життєдіяльність тварин і рослин. Частина сонячної енергії запасена у надрах Землі у вигляді кам'яного вугілля, нафти, природного газу й інших корисних копалин. Усе це підкреслює роль Сонця як первинного джерела енергії.



Мал. 5.10. Схема будови Сонця: 1 – ядро; 2 – конвективна зона; 3 – фотосфера

## **Використання сонячної енергії для теплопостачання – перший крок до енергетичної незалежності**



**Широке використання регенеративних носіїв енергії та використання безпечних для довкілля енергетичних технологій є суттєвим внеском до стабільного розвитку як держави в цілому, так і благополуччя окремих її громадян. Впровадження відновлювальних технологій може стати запорукою гарантії наступним поколінням високого рівня статків та життєвих стандартів.**

Відновлювальна енергія – це такий вид енергії, постачання якої здійснюється з постійних джерел, які, відповідно до людських уявлень, вважаються невичерпними. У якості регенеративних джерел енергії можуть розглядатися: енергія сонячного світла і тепла, вітру, сила води, припливів та відпливів, а також енергія земного тепла.

Вирішальним є той фактор, що під час використання таких тривалих джерел енергії не утворюється вуглекислий газ і не нагромаджуються радіоактивні атомні відходи. Енергія отримується під час постійних процесів, що відбуваються у природі і використовуються для технічних потреб. У фізичному сенсі енергія не відновлюється, а постійно отримується з названих джерел.

За регенеративними джерелами енергії – майбутнє. Вони чисті, безпечні для клімату і, практично, невичерпні.

Людство впродовж свого цивілізаційного розвитку постійно зверталося до використання природної енергії – всім нам відомі вітряні то водяні млини, а також їхні більш осучаснені наступники – вітрогенератори та гідроелектростанції.

Повноцінне використання ж головного нашого джерела відновлювальної енергії – Сонця, завжди обмежувалося технологічним рівнем цивілізації. Останні досягнення науково-технічного прогресу в галузі приборкання сонячної енергії за останні 20-30 років зробили можливим її масштабне використання не лише з промисловою та науково-дослідницькою

метою, а й на рівні побутового застосування – для вироблення тепла та отримання електроенергії.

Клімат нашої планети визначає сонячна енергія. Потік її досить істотно змінюється протягом року в залежності від широти місцевості й обумовлює кліматичну зональність - різницю температур, вологості, тиску і вітру на Землі. Але досить цікавим є такий факт: кількість сонячної енергії, що потрапляє на Землю протягом дня в десятки тисяч разів більше, ніж споживається населенням всієї Землі.



Україна розташована у Центральній-Східній Європі, у південно-східній частині Східноєвропейської рівнини, між 44° і 52° північної широти і 22° і 41° східної довготи. Згідно останніх десяти років метеорологічних спостережень, на Україну припадає 100-200 сонячних днів в році, в залежності від регіону.

В результаті обробки статистичних метеорологічних даних по надходженню сонячної радіації визначено питомі енергетичні показники з надходження сонячної енергії та розподіл енергетичного потенціалу сонячного випромінювання для кожної зони України.

Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що поступає на 1 м<sup>2</sup> поверхні, на території України знаходиться в межах: від 1000кВт год/м<sup>2</sup> в північній частині України і до 1400кВт год/м<sup>2</sup> в АР Крим. Щоб приблизно зорієнтуватись про що йдеться мова, то можна ці цифри охарактеризувати так - сонячна енергія, що реально надходить за три дні на територію України, перевищує енергію всього річного споживання електроенергії в нашій країні. А тривалість сонячних годин (не сонячної радіації, а прямого сонячного випромінювання) впродовж року в північно-західній частині України складає 1600 - 1700 годин. У лісостеповій зоні вона зростає до 1900 - 2000 годин за рік. У степовій зоні, на морських узбережжях досягає 2300 - 2400 годин за рік. Максимальне сонячне світло у Кримських горах - 2453 години за рік (Карабі-Яйла).

Констатуємо факт, що середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні ( $1235 \text{ кВт год/м}^2$ ), що відповідає енергоємності приблизно 100 літрів дизельного палива або  $100 \text{ м}^3$  природного газу, є достатньо високим і набагато вищим ніж наприклад в Німеччині -  $1000 \text{ кВт год/м}^2$  чи навіть Польщі -  $1080 \text{ кВт год/м}^2$ . Отже, ми маємо хороші можливості для ефективного використання теплоенергетичного обладнання на території України.

Термін «ефективне використання» означає, що геліоустановка працюватиме з віддачею в 60% і більше, а це 9 місяців в південних областях України (з березня по листопад), і 7 місяців - в північних областях (з квітня по жовтень). Взимку ефективність роботи падає, але не зникає. Отже, і в умовах нашого клімату, сонячні системи працюють цілий рік, правда, - з дещо перемінною ефективністю.

### **Енергія Сонця та техніка для її приборкання**

Сьогодні все частіше ми можемо спостерігати використання геліосистем не лише для отримання енергії космічними апаратами, а й зовсім поруч – варто лише уважніше придивитися навколо. В магазинах електротоварів вже існують цілі відділи, де можна придбати, наприклад, освітлювальні прилади на сонячних батареях, що використовують електроенергію, яку вони накопичували впродовж світлої частини доби, – і вартість їх зовсім незначна, – ціни починаються від 30-50 гривень за один такий світильник. Ціни ж на високопродуктивні сонячні фотоелектричні панелі, коефіцієнт корисної дії яких досягає 30%, на порядок вище.

Для забезпечення джерела повноцінної електроенергії необхідно ж застосовувати багатокомпонентну геліосистему, що складається з кількох сонячних фотоелектричних панелей (середня потужність  $1 \text{ м}^2$  такої панелі – 120 Вт, панелі площею  $1,3 \text{ м}^2$  – 160 Вт); контролеру заряду акумулятора (не допускає шкідливої для батареї глибокої розрядки і перезарядки); батареї акумуляторів для зберігання виробленої енергії; інвертора, який перетворює постійний струм панелі у змінний струм 220В, 50 Гц.

Для забезпечення ж потреби в електроенергії при місячному споживанні 200 кВт ( $6600 \text{ Вт/год}$  на добу) з урахуванням коефіцієнту інсоляції для визначеної місцевості (для Києва – 1,5) необхідно змонтувати геліосистему з 28 сонячних панелей потужністю 160 Вт ( $6600/1,5/160=28$ ) і 10 акумуляторів (12 В 200 А/год).

### **Сонячні системи теплопостачання**

Але зараз ми більш докладно зупинимося на геліосистемах для отримання гарячої води та тепла – і не лише влітку.

На сьогодні найбільш актуальним в Україні є отримання теплової енергії для обігріву помешкань та гарячого водопостачання. Особливо це стосується приватних осель – як котеджів, так і багатоквартирних



будинків.

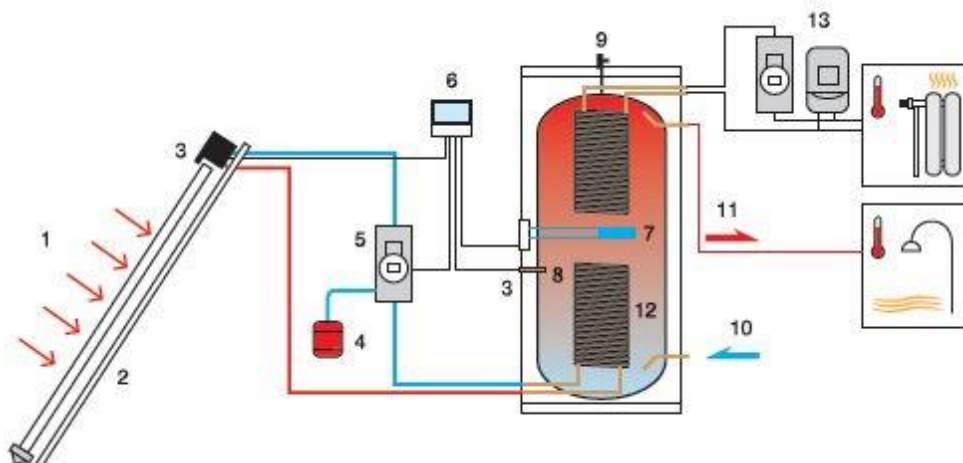
Сучасні сонячні системи гарячого водопостачання здатні на 60-80% забезпечити потребу в гарячій воді на широті Києва, а в Криму – і на всі 100%. Використання таких геліосистем роблять вас енергетично незалежним від підвищення цін на газ і електроенергію.

## Як це працює

Ви можете перевірити ефект нагріву від Сонця самостійно. Гарного літнього дня покладіть заповнений водою садовий шланг на зелений газон. За деякий час вода в ньому нагріється до 25°C - 35° С.

Високоєфективний колектор в сонячній системі нагріву функціонує за ідентичним фізичним принципом.

Головна складова геліосистем для нагріву води – це сонячні колектори, які перетворюють енергію Сонця в тепло для вашої оселі. В колекторі відбувається нагрів спеціального теплообмінника, який протікаючи по нижньому змійовику бойлера віддає тепло воді, нагріваючи її для побутового використання, – в найпростішому випадку, – для забезпечення потреб в гарячій воді, в більш складних випадках – і для обігріву домівки і (або) підігріву води в басейні.



1. Сонячні промені; 2. Сонячний колектор; 3. Датчик температури № 1; 4. Розширювальний бак; 5. Насосна станція; 6. Контролер; 7. Електронагрівач (ТЕН); 8. Датчик температури № 2; 9. Запірний клапан; 10. Вхідний отвір (холодна вода); 11. Вихідний отвір (гаряча вода); 12. Накопичувальний резервуар (бойлер) з одним/двома мідними теплообмінниками; 13. Основна система опалення на основі газового, електричного або твердопаливного котла.



## Сонячні колектори плоского типу

### Сонячні колектори плоского типу

Плоскі колектори - найпоширеніший вид сонячних колекторів, що використовуються в побутових водонагрівальних і опалювальних системах. Зазвичай це - теплоізольована металева конструкція зі скляною або пластмасовою кришкою, в якій поміщена пофарбована в чорний колір пластина абсорбера (поглинач). У плоских колекторах зазвичай використовується матове, що пропускає тільки світло, скло з низьким вмістом заліза (воно пропускає значно більше сонячного світла, що надходить на колектор).

Сонячне світло потрапляє на теплоприймаючу пластину, а завдяки склінню знижуються втрати тепла. Дно і бокові стінки колектора покривають теплоізоляційним матеріалом, що ще більше скорочує втрати тепла.

Сонячне світло проходить через скління і потрапляє на поглинаючу пластину, яка нагрівається, перетворюючи сонячну радіацію на теплову енергію. Це тепло передається теплоносію - рідині, що циркулює по трубках. Теплоносій поглинає тепло, накопичене колектором, і проходить через теплообмінник. Теплообмінник зазвичай встановлений у водяний бак (бойлер), в якому тепло передається воді.

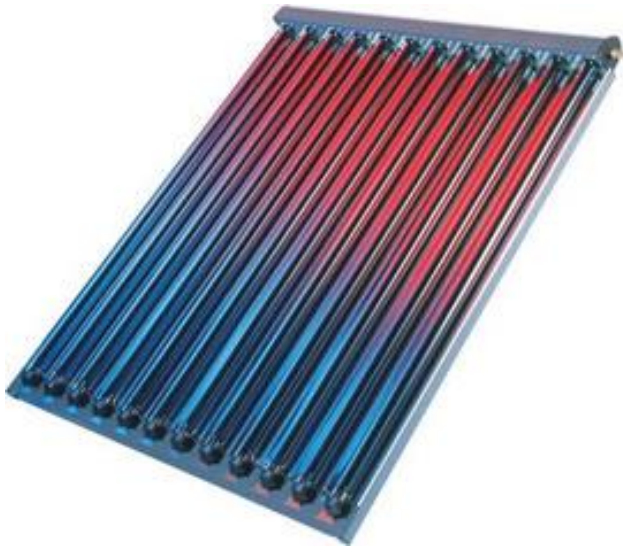
Оскільки більшість чорних поверхонь все ж таки відбиває близько 10% падаючої радіації, деякі пластини-поглиначі обробляються спеціальним селективним покриттям - геліолаком, який краще утримує поглинене сонячне світло і служить довше, ніж звичайна чорна фарба. Селективне покриття, що використовується в колекторах, складається з дуже міцного тонкого шару аморфного напівпровідника, нанесеного на металеву основу. Селективні покриття відрізняються високою поглинаючою здатністю у видимій області спектру і низьким коефіцієнтом випромінювання в довгохвильовій інфрачервоній області.

Поглинаючі пластини зазвичай виготовлені з металу, що добре проводить



тепло (наприклад міді або алюмінію). Мідь дорожче, але краще проводить тепло і менше схильна до корозії, ніж алюміній. Пластина-поглинач повинна мати високу теплопровідність, щоб з мінімальними втратами передавати воді накопичену енергію.

Сучасні колектори поглинають до 97% сонячної енергії, а зворотне випромінювання зменшене до 10-14% - і до 3-7% у більш дорогих моделях.



### Сонячні колектори з використанням вакуумних трубок

#### *Сонячні колектори з використанням вакуумних трубок*

Збір енергії відбувається за рахунок нагрівання внутрішньої стінки сонячної вакуумної трубки. Нагрівання внутрішньої стінки трубки відбувається за рахунок нанесеного на неї багатошарового високоселективного покриття, що забезпечує збір до 98% сонячної енергії. Внутрішня частина труби може нагріватися до 230°C. Вакуум запобігає зворотному випромінюванню тепла, підвищуючи ККД. Вакуумний колектор комплектується 10-30 вакуумними трубками, що розташовуються паралельно одна одній. Кількість колекторів залежить від потреб, але зазвичай досить 1-2, в окремих випадках - 4-6 і більше (в залежності від напрямку використання тепла і навантаження). В сонячних системах в більшості випадків використовується двоконтурний (бівалентний) бойлер. Це такий бойлер, який може одночасно нагрівати воду від двох джерел енергії. Його під'єднують до сонячної системи (нижній змійовик) і газового (або твердопаливного) котла (верхній змійовик). Коли недостатньо сонячного випромінювання і вода в бойлері не може нагрітись до потрібної температури, тоді вмикається котел і догріває воду через верхній змійовик до заданої величини. Існують бойлери (бі- і моновалентні) де в якості резервного джерела енергії додатково застосовується електричний нагрівач (ТЕН). Така система керується за допомогою спеціального програмного контролера, що дозволяє системі працювати в автономному режимі.

Бойлер сонячних систем працює акумулятором тепла. Влітку система додаткового теплопостачання (додатковий котел або ТЕН) вмикається рідко або взагалі не вмикається. Взимку, особливо в похмуру погоду, сонячна система просто не здатна підняти температуру води до 60°C, але реально нагріє її до +30°C - +40°C, а котел чи вбудований в бойлер ТЕН догріє воду до потрібного рівня. Відтак в будь-яку пору року ми гарантовано матимемо гарячу воду. Більш складна система автоматики в сонячну погоду вмикає клапан підмішувала холодної води, або примусово перенаправляє надлишок гарячої води на інші точки споживання – наприклад, в систему підігріву води в басейні. Також автоматика запобігає виходу з ладу геліосистеми у випадку замерзання теплоносія при наднизьких (нижче -30°C) температурах взимку, або за відсутності споживання гарячої води в сонячні дні у випадку від'їзду господарів.

Зауважимо, що така система не є повністю незалежною, - адже для роботи автоматики і насосів, що керують циркуляцією рідини теплообмінника і гарячої води в самій системі водопостачання, необхідне постійне джерело електроенергії. Але, за наявності додаткової геліосистеми отримання і акумуляції електроенергії, можна забезпечити і постійне постачання електроенергії, правда, це робить всю систему значно дорожчою. Замість геліосистеми можна і використовувати енергію вітру, або комбінувати їх.

Розрахуємо **приклад застосування геліосистеми** для забезпечення гарячою водою сім'ї з 4 осіб, яка проживає в будинку загальною площею 200 м<sup>2</sup>.

Врахуємо наступні чинники і показники:

- кількість добового використання гарячої води – 50 л/людину за добу, отже нам потрібно впродовж доби мати запас води 200 л.;
- при розрахунках обладнання для сонячних систем при виборі об'єму бойлера системи застосовується коефіцієнт 1,2 – 1,8 (залежить від типу сонячного колектору);
- 1 м<sup>2</sup> площі сонячного плоского колектору в загальному випадку нагріває 60 л води. Робоча площа нагріву одного такого модуля сонячного колектора – 2,3 м<sup>2</sup>.
- при використанні вакуумного сонячного колектора, необхідно враховувати, що одна вакуумна трубка нагріває 10 л. води, колектори постачаються модулем з 10-15-20 вакуумних трубок;
- довжина трубопроводу для циркуляції теплоносія вимірюються у кожному окремому випадку, просто необхідно це враховувати. Такий трубопровід, за вимогою виробників термообладнання, монтується з мідних труб або гофрованих трубок з неіржавіючої сталі;

- в залежності від довжини трубопроводу, кількості і типу модулів сонячних колекторів, типу бойлера розраховується кількість рідини теплообмінника (розчин антифризу - *пропілен-гліколю*, або як його ще називають фахівці – «розсолу»), та ємність розширювального баку – вона має бути приблизно однаковою з ємністю рідини теплообмінника, залитої в систему.

Отже, нам потрібно придбати і встановити

- монтажний комплект для встановлення колекторів – в залежності від місця монтажу та типу покрівлі;
- трубопровід визначеної довжини;
- бойлер об'ємом 240-360 л. – бівалентний (двоконтурний) бойлер-накопичувач води у випадку використання резервного джерела нагріву – газового або твердопаливного котла або одноконтурний бойлер при застосуванні виключно сонячної енергії;
- 2 модуля плоских сонячних колекторів (загальною площею 4,6 м<sup>2</sup>), або 2 модуля вакуумного сонячного колектора на 15 трубок (мінімально – один модуль на 20 вакуумних трубок);
- насосну станцію;
- модуль керування з датчиками температури (один датчик встановлюється на виході колектора, у верхній його точці, другий – в бойлері);
- комплект для видалення повітря в системі циркуляції теплоносія (один, або два – в залежності від типу насосної станції);
- близько 16-20 літрів теплоносія;
- розширювальний бак на 20 л для компенсації теплового розширення теплоносія;
- ручний насос для закачки теплоносія.

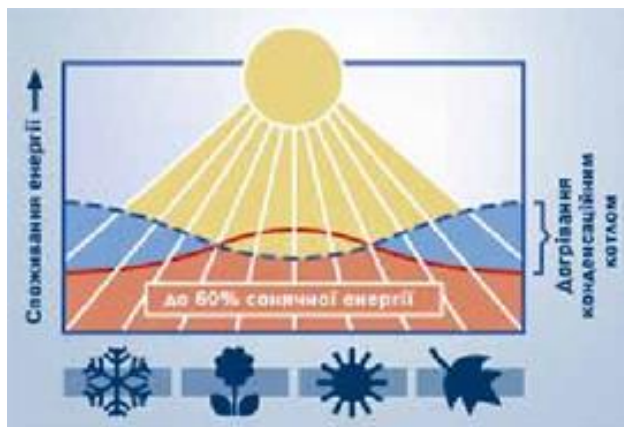
Більш точний розрахунок необхідного обладнання та вартості проекту виконують фахівці спеціалізованих компаній по постачанню та монтажу геліосистем. Більшість європейських постачальників, представлених на ринку термообладнання України пропонують така звані «пакетні пропозиції», до складу яких входить вищеперераховане обладнання за виключенням трубок для магістралі трубопроводу теплоносія. Вартість таких пакетів починається від 2000 євро.

Якщо наш приклад розширити його використанням системи і для обігріву помешкання, то для будинку площею 200 м<sup>2</sup>, і задоволення 15-35% потреб у тепловій енергії для обігріву, потрібно додатково встановити від 7 до 11 сонячних колекторів плоского типу.

Після року використання геліосистеми з таким мінімальним набором параметрів можна зробити висновок, що: економія газу становить орієнтовно 20%, зменшується кількість циклів ввімкнення-вимкнення котла (збільшується його ресурс експлуатації), менше працює циркуляційний насос. Приблизний термін окупності – 6-7 років.

Якщо система налічує 8 і більше колекторів та 500 літровий бойлер або додатковий бак-накопичувач гарячої води, а на території є басейн (особливо відкритий) або сонячна система крім підігріву води працює ще й на підтримку опалення, то економія газу орієнтовно складе 23%-25%, а термін окупності 4 роки.

Отже бачимо що, чим більша потреба в гарячій воді та опалені тим менший термін окупності.



На малюнку приведена інтенсивність сонячного випромінювання в залежності від пори року і режим роботи геїлосистеми, з якого можемо зробити висновок, що геїлоустановка працює більшу частину року.

Сонячна енергія вказує на шлях у майбутнє. За допомогою сонячного обладнання Ви здатні зробити свій внесок щодо захисту навколишнього середовища та скоротити енерговитрати, не відмовляючись при цьому від життєвого комфорту. Сучасна сонячна система від компанії Bosch здатна ефективно перетворити сонячну енергію в тепло та гарячу воду, і це не тільки за умови сонячного світла, що сіяє.

Не має значення який вид енергії Ви використовуєте сьогодні, сонячну систему для приготування гарячої води можливо використовувати майже в усіх домоволодіннях раціонально, чи в новобудові, чи в старій будівлі: така система може доповнити як існуючу опалювальну систему, так й оптимізувати роботу нової.

## 2. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА - ПАРОГЕНЕРАТОРА

### 2.1. Аналіз сонячних систем теплопостачання

Плоский сонячний колектор є основним елементом систем сонячного теплопостачання і гарячого водопостачання. Велика частина сонячної радіації, що падає на колектор, поглинається поверхнею, яка є «чорною» по відношенню до сонячного випромінювання. Частина поглиненої енергії передається рідині, циркулюючій через колектор, а інша втрачається в результаті теплообміну з довкіллям. Тепло, сприймане рідиною, є корисним теплом.

Плоский колектор поглинає як пряме, так і дифузійне випромінювання. Пряме випромінювання викликає відкидання тіні освітлюваним сонцем предметом. Дифузійне випромінювання відбивається і розсіюється хмарами і пилом, перш ніж досягає поверхні землі. На відміну від прямого випромінювання воно не призводить до відкидання тіней. Плоский колектор зазвичай встановлюється нерухомо на будівлі або відкритому майданчику. Його орієнтація залежить від місця розташування і пори року, впродовж якого повинна працювати сонячна енергетична установка. Плоский колектор забезпечує низькопотенційне тепло, потрібне для нагрівання води, опалювання приміщення і роботи тепловикористовуючих холодильних машин.

Фокусувальні (що концентрують) сонячні колектори, у тому числі з параболічним концентратором Френеля, можуть застосовуватися в системах сонячного теплопостачання. Велика частина фокусувальних колекторів використовує тільки пряму сонячну радіацію. Перевага фокусувального колектора в порівнянні з плоским полягає в тому, що він має меншу площу поверхні, з якою тепло втрачається в довкіллі, а, отже, робоча рідина може бути нагріта в ньому до більш високих

температур, ніж в плоских колекторах. Проте для потреб опалювання і гарячого водопостачання більш висока температура майже (чи зовсім) не має значення. Для більшості концентрувальних систем колектор повинен стежити за положенням сонця.

У нашому проекті застосовуємо плоский сонячний колектор, оскільки він поглинає і пряму, і розсіяну сонячну радіацію, конструктивно простіше і дешевше чим концентрувальний сонячний колектор.

Орієнтація сонячного колектора - південна, кут нахилу приблизно дорівнює широті місцевості (прийmemo 45°).

Для парогенерувального колектора прийmemo двошарове скління в цілях теплоізоляції променепоглиняльної панелі згори.

Плоский колектор не вимагає стеження за сонцем, тому встановлюється нерухомо. Система сонячних колекторів повинна забезпечити теплопостачання геліоежкторної фреонової холодильної машини, таким чином  $Q_{\Gamma} = Q_{\text{полезн.}}$ .

## 2.2 Визначення необхідної кількості елементів парогенерувальних колекторів

Кількість теплоти, сприйнятої фреоном в колекторах :

$$Q_{\text{полезн.}} = J \cdot F_{\text{ск}} \cdot \eta_{\text{ск}}$$

де:  $J$  - інтенсивність сонячної радіації  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $J = 700 \text{ Вт}/\text{м}^2$  (літній режим роботи холодильної машини);

$F_{\text{ск}}$  – площа системи сонячних колекторів,  $\text{м}^2$ ;

$\eta_{\text{ск}}$  – ККД сонячного колектора.

$$\eta_{\text{ск}} = \eta_0 - \frac{\kappa_{\text{пр}} \cdot (\bar{t} - t_{\text{o.c}})}{J}$$

де  $\kappa_{\text{пр}}$  - приведений коефіцієнт тепловтрат,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

На основі експериментальних даних:

$\kappa_{\text{пр}} = 4,0 \dots 5,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , для колекторів з двошаровим склінням; прийmemo



$$k_{\text{пр}} = 4,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С});$$

$\eta_0$  – оптичний ККД колектора, приймаємо  $\eta_0 = 0,8$  (двошарове скління);

$\bar{t}$  – середня температура поверхні сонячного колектора,  $^\circ\text{С}$ ; для систем з безпосереднім кипінням агента  $\bar{t} = t_r = 80 \text{ }^\circ\text{С}$ ;

$t_{\text{o.c}}$  – температура довкілля,  $^\circ\text{С}$ ; в даному випадку  $t_{\text{o.c}} = 25 \text{ }^\circ\text{С}$ ;

$J$  - інтенсивність сумарної сонячної радіації  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

$$\eta_{\text{ск}} = 0,8 - \frac{4,5 \cdot (80 - 25)}{700} = 0,45$$

По формулі (2) маємо:

$$F_{\text{ск}} = \frac{Q_{\text{полезн.}}}{J \cdot \eta_{\text{ск}}}$$

Оскільки сприйнята теплота  $Q_{\text{полезн.}} = Q_r$  то маємо:

$$F_{\text{ск}} = \frac{Q_r}{J \cdot \eta_{\text{ск}}} = \frac{4,76 \cdot 10^3}{700 \cdot 0,45} = 15,111 \text{ м}^2$$

Сконструйований елемент плоского сонячного колектора має площу променепоглиняльної поверхні:

$$f_{\text{ск}} = 0,8 \cdot 1,3 = 1,04 \text{ м}^2$$

Кількість необхідних секцій :

$$n = \frac{F_{\text{ск}}}{f_{\text{ск}}} = \frac{15,111}{1,04} = 14,53$$

Округлюючи до більшого парного числа, прийmemo:  $n = 16$ .

### 2.3. Енергетична ефективність сонячних колекторів

Дійсна сумарна площа генерувальних колекторів :

$$F_{\text{ск}} = f_{\text{ск}} \cdot n = 1,04 \cdot 16 = 16,64 \text{ м}^2$$

У режимі опалювання ( $J = 300 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ,  $t_{\text{o.c.}} = 5 \text{ }^\circ\text{С}$ ):

$$\eta_{\text{ск}}^{\text{отоп.}} = \eta_0 - \frac{\kappa_{\text{пр}} \cdot (\bar{t} - t_{\text{o.c}})}{J} = 0,8 - \frac{4,5 \cdot (35 - 5)}{300} = 0,35$$

Тепло опалення:

$$Q_{\text{отоп.}} = J \cdot F_{\text{ск}} \cdot \eta_{\text{ск}}^{\text{отоп.}} = 300 \cdot 16,64 \cdot 0,35 = 1747,2 \text{ Вт}$$

Тривалість сонячного сьйва  $\tau = 4,5 \text{ год}$

Теплова робота сонячного колектора впродовж світлового дня:

$$A = Q_{\text{отоп.}} \cdot \tau = 1,7 \cdot 4,5 = 7,65 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

У режимі водонагрівання ( $J = 500 \text{ Вт/м}^2$ ,  $t_{\text{o.c}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

$$\eta_{\text{ск}}^{\text{водонагр.}} = \eta_0 - \frac{\kappa_{\text{пр}} \cdot (\bar{t} - t_{\text{o.c}})}{J} = 0,8 - \frac{4,5 \cdot (50 - 15)}{500} = 0,49$$

Тепло на нагрівання води:

$$Q_{\text{водонагр.}} = J \cdot F_{\text{ск}} \cdot \eta_{\text{ск}}^{\text{водонагр.}} = 500 \cdot 16,64 \cdot 0,49 = 4035,2 \text{ Вт}$$

Тривалість сонячного сьйва  $\tau = 6,0 \text{ год}$ .

Теплова робота сонячного колектора впродовж світлового дня:

$$A = Q_{\text{водонагр.}} \cdot \tau = 4 \cdot 6,0 = 24,0 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Богданов С.Н., Иванов О.П., Куприянов А.В. Холодильная техника. Свойства веществ: Справочник. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 208 с.
2. Крутов В.И. Техническая термодинамика - М.: Высшая школа, 1991-384 с.
3. Зеликовский И. Х., Каплан Л.Г. Малые холодильные машины и установки: Справочник стеля. –3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. –672 с.: ил.
4. Холодильные машины/Кошкин Н. Н., Ткачев А. Г., Бадылькес И. С. и др.; Под общ. ред. Н. Н. Кошкина. – М.: «Пищевая промышленность», 1973. – 512 с.
5. Бадылькес И. С. Свойства холодильных агентов. – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 174 с.