МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

за освітньо-кваліфікаційним рівнем бакалавр

на тему **:«РОЗРАХУНОК ГЕЛІОУСТАНОВКИ ДЛЯ КОТЕДЖУ»**

Виконав: студент 4 курсу,
групи НФ-42 Амелін О.В.
Спеціальність: «Прикладна фізика та наноматеріали»

Керівник: Кошельнік О.В. _____

Рецензент:_____

Харків – 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Інститут Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) «бакалавр»

Напрям підготовки 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.І.Ткаченко

"____"_____2020 року

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Амеліну Вадиму Олександровичу

1. Тема роботи Проектування вітроенергетичної установки для котельної керівник роботи ___Кошельнік Олександр Вадимович, к.т.н, доцент _ затверджені наказом по університету від "__"_____2020 року №____
2. Строк подання студентом роботи _____
3. Перелік питань, які потрібно розробити

Аналіз існуючих конструкцій геліоустановок та особливостей їх роботи; Визначення річної сумарної кількості сонячної енергії; Вибір типу геліоустановки для опалення будинку та визначення параметрів її роботи; Оцінка ефективності застосування геліоустановки для забезпечення теплових споживачів котельної.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Огляд загального стану застосування та конструктивних особливостей геліоустановок
2	Проведення розрахунків потужності випромінювання Сонця
3	Вибір геліоустановки та розрахунки показників її роботи
4	Дослідження ефективності застосування геліоенергетичної установки

5. Дата видачі завдання_____

Студент _____ Амелін О.В _____ підпис

Керівник роботи _____ О. В. Кошельнік _____ підпис

Реферат

Амелін Вадим Олександрович «Розрахунок геліоустановки для котеджу» (випускна робота бакалавра), - Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2020. - с.
Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків; містить рисунків, таблиць, список використаних джерел з найменувань.

Проаналізовано енергетичний потенціал сонячного випромінювання та ефективність його використання для енергетичних потреб людства. Розглянуто найбільш вживані методики розрахунку геліоколекторів для систем тепловодопостачання. Проведено розрахунки основних складових геліосистеми для тепловодопостачання стандартного котеджу.

Ключові слова: сонячна радіація, енергетичний потенціал, геліоустановка, геліоколектор, теплообмінник, вакуумні термотрубки, робоча рідина

Abstract

Amelin Vadym Oleksandrovych "Calculation of a solar installation for a cottage" (bachelor's thesis), - Kharkiv: V.N. Karazin KhNU, 2020. - p.

The work consists of an introduction, three sections, conclusions; contains figures, tables, a list of used sources of items.

The energy potential of solar radiation and the efficiency of its use for the energy needs of mankind are analyzed. The most used methods of calculation of solar collectors for heating and water supply systems are considered. The calculations of the main components of the solar system for heat and water supply of a standard cottage are carried out.

Keywords: solar radiation, energy potential, solar installation, solar collector, heat exchanger, vacuum thermotubes, working liquid

Зміст

РОЗДІЛ 1. Сонячні випромінювання та його характеристики ……4
1.1 Основні поняття ……4
1.2 Види сонячного випромінювання…….4
РОЗДІЛ 2. Використання енергії сонця……5
2.1 Основні елементи та характеристики геліоколекторів……...5

РОЗДІЛ 3. Основи розрахунку геліосистем для теплопостачання……11

РОЗДІЛ 4. Розробка геліосистеми для теплопостачання житлового будинку …..24

Висновки……31

РОЗДІЛ 1 Сонячні випромінювання та його характеристики

1.1Основні поняття

Сонячна енергія-це енергія сонячного випромінювання . У верхні шари атмосфери Землі постійно надходить 174 pw сонячного випромінювання (інсоляції). Близько 6 % інсоляції відбивається атмосферою, 16 % поглинається нею. Середні шари атмосфери в залежності від погодних умов (хмари, пил, атмосферні забруднення) віддзеркалюють до 20 % інсоляції та поглинають 3 %.

Атмосфера не тільки зменшує кількість сонячної енергії, що досягає поверхні Землі, але і дифузує близько 20 % з того що надходить, та фільтрує частину його спектру. Після проходження атмосфери близько половини інсоляції перебуває у видимій частині спектру. Друга половина перебуває переважно в інфрачервоній частині спектру. Тільки незначна частина цієї інсоляції припадає на ультрафіолетове випромінювання. 1897 року Френк Шуман[en], американський винахідник, інженер і піонер з використання сонячної енергії, побудував невеликий демонстраційний сонячний двигун, принцип роботи якого полягав у тому, що сонячне світло відбивалось на квадратні контейнери, заповнені ефіром, температура кипіння якого менша, ніж води. Всередині до контейнерів були припасовані чорні труби, які приводили в рух паровий двигун. 1908 року, Шуман заснував компанію Sun Power Company, яка мала будувати більші установки на сонячній енергії. Разом зі своїм технічним радником А. С. Е. Акерманом і британським фізиком Чарлзом Верноном Бойзом[18] Шуман розробив покращену систему, використавши систему дзеркал, які відбивали сонячні промені на коробки сонячних колекторів, підвищуючи ефективність нагрівання до рівня, коли можна було замість ефіру використовувати воду. Потім Шуман побудував повномасштабний паровий двигун, що працював на воді під низьким тиском. Це дало йому змогу 1912 року запатентувати цілу систему з сонячним двигуном.

Між 1912 і 1913 роками Шуман побудував найпершу в світі геотермальну електростанцію в місті Мааді Єгипет. Шуманівська електростанція використовувала параболоциліндричні концентратори, щоб привести до руху двигун потужністю 45 — 52 кВт, який перекачував понад 22 000 літрів води за хвилину з річки Ніл на прилеглі бавовняні поля. Хоча Перша світова війна, а також відкриття дешевої нафти в 1930-х роках, і завадили подальшому просуванню сонячної енергії, але шуманівське бачення і базовий дизайн було відроджено в 1970-х роках на новій хвилі інтересу до геотермальної енергії.

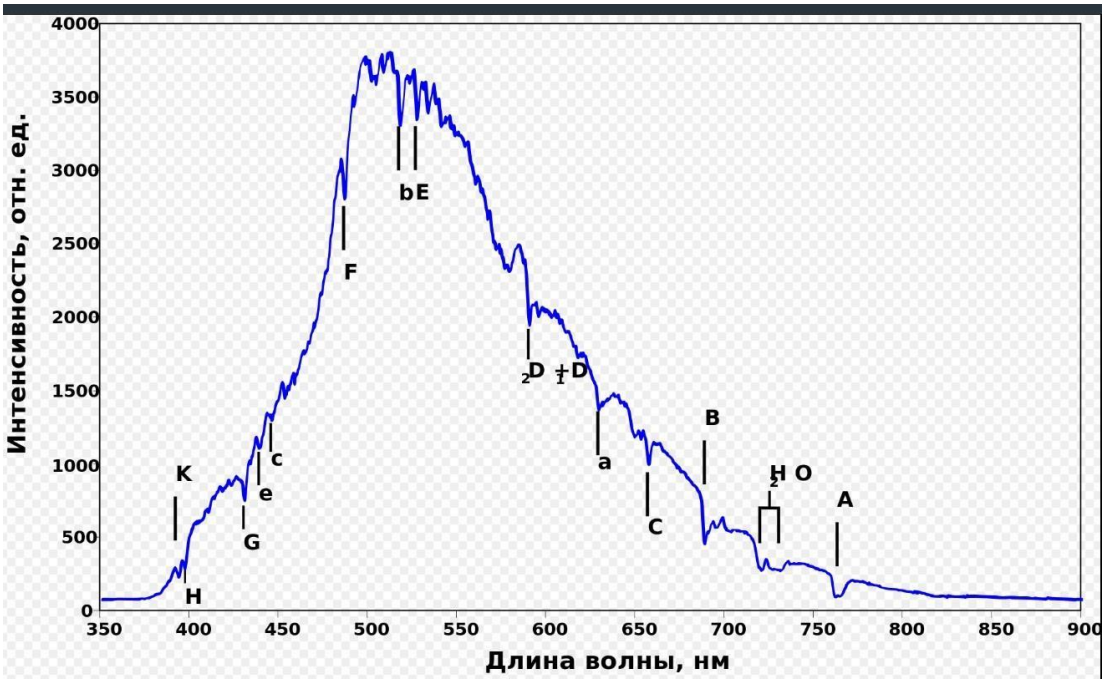
1.2 Види сонячного випромінювання

Інтенсивність сонячного випромінювання попадаючого на майданчик , перпендикулярну цьому потоку та розташовану за атмосферою землі на відстані 1.496*10^8км від сонця сноячна постійна G0 рівна 1353 вт/м^2

Пряме випромінювання

Прямим випромінюванням називается надходжуючим до землі від сонця випромінювання без зміни напрямку в виді ма паралельних променів . Пряме випромінювання на перпендикулярну поверхню S пряме випромінювання на горизонтальну поверхню S=S*sin h

Дифузне випроміенювання Дифузним випромінюванням D називается надходжуюче від сонця випромінювання після зміни його направлення в наслідок відображення і розсіяного атмосферою



Сумарне випромінювання

Сумма прямого і дифузного випромінювання на горизонтальній (Q=S+D)або наклінній поверхності в данний момент часу .

Альбедо Коефіціент відображення прямій та розсіяній радіації носить назву альбедо . Цей коефіціент залежить від характера відбиваючої поверхні і особливо від хмарності .

Щільнисть потока

Кількість енергії переносимой в одиницю часу через одиничну площадку називається щільністю потока або інтенсивністю випромінювання

Умовне позначення I e

Одиниця виміру в системі CI ватт на квадратний метр Вт/m^2 Період опромінення

Період дії має на поверхність сумарного сонячного випромінювання

Період опромінювання має важливе значення в області застосування сонячної енергії .

Максимальне , мінімальне і середнє значення за довгий проміжок часу в метереологічних станцій.

Коєфіцієнт щільності потока випромінювання

Відношення фактичної інтенсивності опромінення до теоретичного максимуму можливої щільності потока випромінювання .

Теоретичниц максимум можливої інтенсивності випромінювання може бути визначений довгим рядом вимірів для данної ділянки і необхідним корегуванням з облыком ефектом орфографічного перешкоджання застройки суміжних територій .

РОЗДІЛ 2 Використання енергії сонця

2.1 Основні елементи та характеристики геліоколекторів

Сонячний елемент –це основний елемент геліоустановки в якому сонячне випромінювання перетворюється в теплову енергію.Це може відбуватися або в спеціальних пристроях або безпосередньо конструкціями будівлі . На відміну від звичайних теплообмінників в яких відбувається інтенсивна передача тепла від одного теплоносія до іншого а випромынювання незначне , в сонячному колекторы перенос енерії до телоносія відбувається від віддаленого джерела променястої енергії.

Геліоколектори для систем сонячного теплопостачання можна класифікувати на наступні основні типи: відкриті (не засклені); плоскі;

вакуумні

Усі принципи конструювання сонячних колекторів зводяться до забезпечення максимального поглинання сонячної енергії при максимальному зниженню теплових втрат.

Відкриті сонячні колектори - лише одна поглинаюча панель (без корпуса), яка зазвчай виготовляється з пластику чи гуми, стійких до ультрафіолетового випромінювання, і закріплюється безпосередньо до даху
Види теплоносіїв Розрізняють: *холодоагенти* — теплоносії агрегатний стан яких в процесі перенесення теплоти змінюється, тобто переноситься теплота фазового переходу, а їхня температура залишається сталою (наприклад, киплячі рідини, пара, що конденсується); *теплоносії (холодоносії)*, що їхній агрегатний стан залишається незмінним а у процесі роботи знижується або підвищується їх температура (некиплячі рідини, перегріта пара тощо).

Найпоширенішими теплоносіями є топкові (димові) та інші гази, вода і водні розчини етиленгліколю і пропіленгліколю з модифікувальними присадками (антифриз), оливи, розчини солей, водяна пара, метали у рідкому стані (калій, натрій, ртуть), аерозолі сипких матеріалів, фреони тощо. Основні характеристики теплоносіїв

Теплоносії для тих чи інших теплообмінників підбираються за наступними параметрами:

робочий діапазон температур;

теплоємність; корозійна

активність; в'язкість;

змащувальні властивості; безпечність (токсичність, температура спалаху,

температура займання тощо). Застосування

Теплоносії застосовують у системах теплопостачання, опалення, охолодження,

вентиляції, сонячних колекторах, в сушильних та інших технологічних апаратах,

ядерних реакторах (в них теплоносій часто служить і сповільнювачем нейтронів).

Сонячний колектор з повітряним теплоносієм

Сонячний повітряний колектор. Принцип роботи. Дві хитрості роботи сонячних колекторів - парниковий і термосифонних ефекти

Людство з успіхом використовувало енергію сонця все своє життя і способів накопичилося безліч. Зупинимося на 2х з них.

Для чого ми «склимо» балкони і
теплиці? Чому ми закриваємося від сонця навіть

усередині приміщення або чому нагрівається місце на підлозі, коли на нього падає сонячне світло? Відповідь одна - сонячне світло проникаючи крізь скло приносить енергію. А утримати цю ен ергію і не дати їй повернутися назад допомагає те ж саме скло (прозора плівка, пластик). Працює парниковий ефект.

Чому дим від багаття піднімається вгору? А чому є тяга в димоході?
Тому, що нагріте повітря легше холодного і прагне вгору, а на його місце поспішає холодне повітря.

На цих 2 принципах і працюють повітряні колектори. Сонячні повітряні колектори.

Повітряні колектори. Сонячні повітряні колектори.

Повітряні колектори, про які ми поговоримо, це не повітряні впускні колектори автомобілів. Немає. І не пристрою втягують і споживають повітря. Ні!

Повітряні сонячні колектори - це прилади, які працюють на енергії Сонця і нагрівають повітря. Сонячні повітряні колектори являють собою найчастіше прості плоскі колектори і використовуються в основному для опалення приміщень, сушіння сільськогосподарської продукції. Повітря проходить через поглинач завдяки природній конвекції або під впливом вентилятора. Оскільки повітря гірше проводить тепло, ніж рідина, він передає поглинача менше тепла, ніж рідкий теплоносій. У деяких сонячних воздухонагревателях до поглинаючої пластині приєднані вентилятори, які збільшують турбулентність повітря і покращують теплопередачу. Недолік цієї конструкції в тому, що вона витрачає енергію на роботу вентиляторів, таким чином збільшуючи витрати на експлуатацію системи. У холодному кліматі повітря спрямовується в проміжок між пластиною-поглиначем і утепленій задньою стінкою колектора: таким чином, уникають втрат тепла крізь вікна. Однак, якщо повітря нагрівається не більше, ніж на 17 оС вище температури зовнішнього повітря, теплоносій може циркулювати по обидві сторони від пластини-поглинача без великих втрат ефективності.

Основними достоїнствами повітряних колекторів є їх простота і надійність. Такі колектори мають простий пристрій. При належному догляді якісний колектор може прослужити 10-20 років, а управління ним досить нескладно. Теплообмінник не потрібен, так як повітря не замерзає.

Потенційним способом зниження вартості колекторів є їх інтеграція в стіни або дахи будівель, а також створення колекторів, які можна буде збирати з готових збірних компонентів.

Далі розглянемо приклади промислового застосування повітряних колекторів.

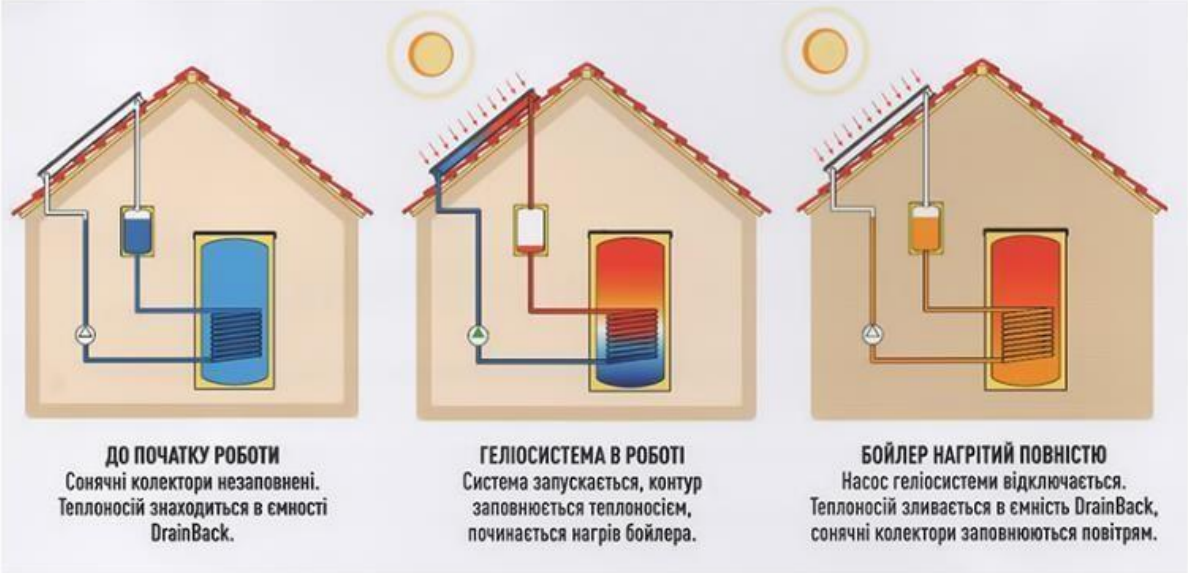


Сонячний колектор з рідким теплоносієм

Теплообмінники для використання рідких речовин джерел енергії відносяться до периферійного устаткування теплонасосних установок. Вони служать сполучним елементом між джерелом і тепловим насосом. З іншого боку, вони можуть бути сполучною ланкою між ТН і приймачем, наприклад, у технологічних процесах.

Число рідких теплоносіїв, які можуть служити джерелом тепла для ТН, відносно великою. До найважливішого з них відносяться поточні й нерухомі води (ріки, струмки, озера й ставки), ґрунтові й стічні води всіх видів, а в особливих випадках - морська вода. Тепло із фунту також відбирається в основному за допомогою рідких теплоносіїв. Всі ці теплоносії характеризуються більшим або меншим ступенем забруднення й вмісту різних домішок, що викликають корозію.

Виходячи з потреби в постійному технічному обслуговуванні найбільш раціональною конструкцією застосовуваних теплопередавачів варто визнати кожухотрубні, спіральні й пластинчасті конструкції.



Плоский сонячний колектор[ред. | ред. код]

Плоский сонячний колектор

Складається з елементу, що поглинає сонячне випромінювання, прозорого покриття та термоізолюючого шару. Поглинаючий елемент називається абсорбентом; він з'єднаний з теплопровідною системою. Прозорий елемент зазвичай виконується з загартованого скла з пониженим вмістом металів.

При відсутності відбору тепла (застої) пласкі колектори здатні нагрівати воду до 190—200 °C. Чим більше енергії випромінювання передається теплоносію, що протікає в колекторі, тим вище його ефективність. Підвищити її можна, застосовуючи спеціальне оптичне покриття, яке не випромінює тепла в інфрачервоному спектрі.

Стандартним способом підвищення ефективності колектора стало застосування абсорбента з листової міді через її високу теплопровідність.

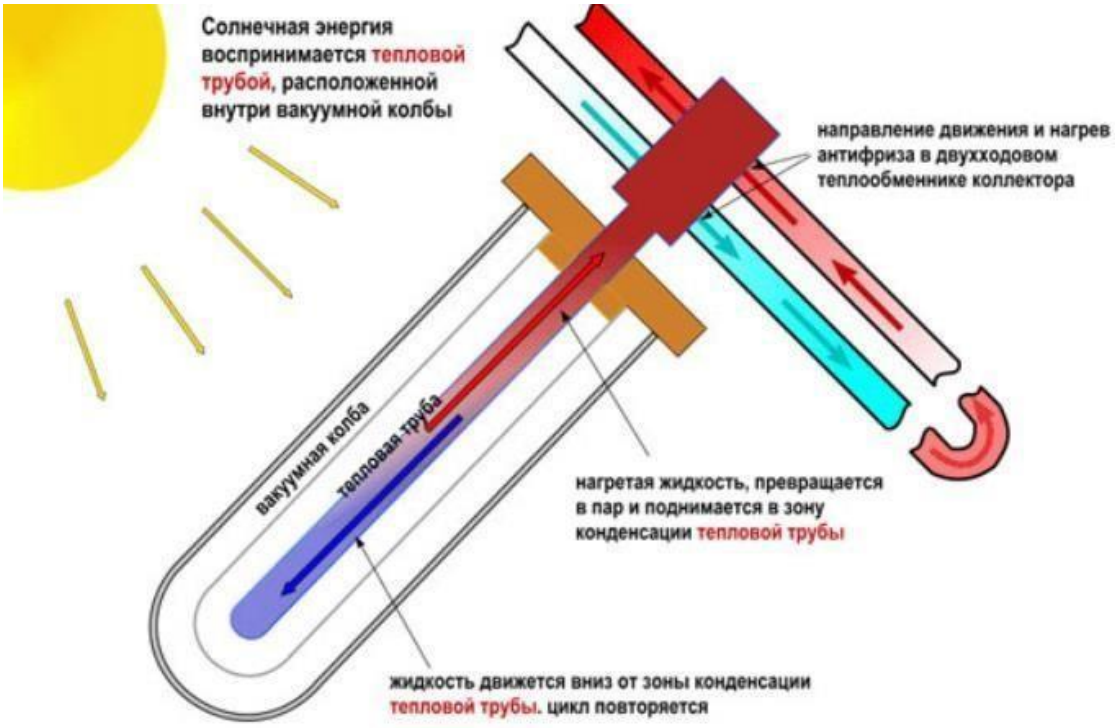


Вакуумний сонячний колектор

В режимі обмеження відбору тепла можливе підвищення температури теплоносія до 250—300 °С. Домогтися цього можна за рахунок зменшення теплових втрат в результаті використання багатошарового скляного покриття, герметизації або створення в колекторах вакууму. Фактично сонячна теплова труба схожа за будовою з побутовими термосами. Тільки зовнішня частина труби прозора, а на внутрішній трубці нанесено високоселективне покриття, що вловлює сонячну енергію.

Між зовнішньою та внутрішньою трубками знаходиться вакуум. Саме ваккумний прошарок дає можливість зберегти близько 95 % уловлюваної теплової енергії. Окрім того, у вакуумних сонячних колекторах знайшли застосування теплові трубки, що виконують роль провідника тепла. При опроміненні установки сонячним світлом, рідина, що знаходиться в нижній частині трубки, нагріваючись перетворюється на пару.

Пари піднімаються у верхню частину трубки (конденсатор), де конденсуючись передають тепло колектору. Використання даної схеми дозволяє досягти більшого ККД (у порівнянні з плоскими колекторами) при роботі в умовах низьких температур і слабкої освітленості. Сучасні побутові сонячні колектори здатні нагрівати воду до температури кипіння навіть при негативній навколишній температурі.



Сс

Селективна поверхня

Поверхні, що володіють високою поглинальною здатністю в діапазоні довжин хвиль сонячного випромінювання і низької ступенем чорноти в дліноволновой області спектра. Таке поєднання властивостей можна отримати завдяки незначному перекривання спектральних діапазонів падаючого сонячного випромінювання і випускається поверхнею приймача довгохвильового випромінювання. Такі поверхні поглинають максимально велика кількість енергії і зводять до мінімуму втрати, тобто селективні поверхні характеризуються великою монохроматический коефіцієнт поглинання при довжині хвилі приблизно рівною 0,5 мкм і низький монохроматический коефіцієнт випромінювання при довжині хвилі приблизно дорівнює 10 мкм. Прозоре покриття сонячного колектора Матеріал (матеріали), який перекриває апертуру колектора, знаходиться під прямим впливом сонячної радіації і не пропускає вдруге відбите інфрачервоне випромінювання від приймача.

Приймач

Приймач - це основний елемент сонячної нагрівальної системи, в якому відбувається поглинання сонячного випромінювання, передача енергії теплоносія і перетворення в інший вид енергії. Приймач також включає в себе поглинач

Апертура коллектора, концентратора

Концентратор сонячного випромінювання - пристрій, що фокусує сонячне випромінювання на приймач випромінювача, наявний в фокальній точці або на фокальній лінії колектора сонячної енергії. Як концентратора сонячного випромінювання використовуються відбивачі або лінзи. Відбивач - дзеркальна поверхня, що відбиває сонячні промені на поглинаючу поверхню колектора сонячної енергії з метою збільшення щільності потоку сонячного випромінювання. У колекторі використовуються також так звані лінзи Френеля, які мають концентричні кільцеподібні поверхні з різним кутом нахилу, завдяки чому досягається фокусування променів в одну точку. У системах сонячного опалення застосовуються Параболоциліндричні концентратори (фокліни), фокусують сонячне випромінювання на трубчастий приймач. Концентратори сонячного випромінювання оцінюються за ступенем концентрації сонячного випромінювання, яка дорівнює відношенню густини потоку випромінювання на поверхню поглинача до щільності потоку випромінювання, що надходить на площу апертури (чинного отвори) концентратора. Ступінь концентрації може досягати 10 000 і більше, а для

Параболоциліндричні концентраторів – 100 Коефіцієнт концентрації

Х є ставлення

апертури до площі поверхні приймача, що поглинає випромінювання

Оскільки кожна система колектора має теплову інерцію, обчислення ґрунтуються на досить довгому проміжку часу при постійних

зовнішніх

умовах (кліматичні дані, температура колектора)

Загальний коефіцієнт втрат колектора Параметр,

що характеризує енергетичні

втрати сонячного колектора в навколишнє середовище

Загальний коефіцієнт втрат колектора Параметр, що характеризує енергетичні

втрати сонячного колектора в навколишнє середовище

Кут нахилу колектора

Кут b між розглянутої площиною колектора і

горизонтальною площиною

(0 <b <90 ° для поверхонь, звернених до екватора; 90 ° <b <180 ° для поверхонь, повернених від екватора)

Рідкий теплоносій

Теплопроводящая середовище (така як вода або інші рідини), що пропускається через абсорбер або яка

перебуває з ним у контакті. Абсорбер поглинає теплову енергію, зібрану приймачем і передає рідкому теплоносія. Він може також, в комплексі з вторинним рідким теплоносієм, передавати теплоту до або від системи акумулювання теплоти Середовище, яке акумулює теплоту Компонент системи акумулювання теплоти, що включає речовини, здатні перетворювати або накопичувати теплоту. Теплота, відповідно, зберігається при цьому або в перетвореному, або явному вигляді.

Системи очищення сонячних колекторів Ручні або автоматичні системи очищення, використовують стиснене повітря або розпилюються

рідина, для запобігання забруднення і зниження ефективності колектора від дії зовнішніх чинників, таких як сніг, пил, дощові натеки Системи спостереження за видимим положенням Сонця

Системи орієнтації можуть бути класифіковані як системи з ручним і автоматичним

керуванням.Системи автоматичної орієнтації можутьбути розділені на системи безпосереднього стеження за Сонцем і системи з програмним керуванням. Стежать за Сонцем системи забезпечені датчиками реєструючими відхилення від правильної орієнтації, а також системами для здійснення необхідних корекцій. Навпаки, системи з програмним управлінням змінюють положення колектора за заданою програмою.

Розділ 3

Основи розрахунку геліосистем для теплопостачання

При розрахунку сонячної системи гарячого водопостачання як проектант, так і замовник найчастіше прагнуть збільшити частку теплоти, покривається за рахунок сонячної енергії, що в більшості випадків є недоцільним.

В даний час існує багато різних інженерних методик розрахунку геліосистем теплопостачання. Методики розрахунку геліосистем теплопостачання пропонують розбивати рішення проблеми на наступні основні етапи: подання кліматичних даних, розрахунок основних складових частин геліосистеми (колектора, акумулятора теплоти і т. д.), ув’язка всіх складових в систему і визначення частки заміщення теплового навантаження системи

теплопостачання. Розрахунок геліосистеми ускладнюється коливанням кліматичних даних і зміною в роботі системи залежно від її параметрів. Існує кілька методів

розрахунку частки заміщення теплового навантаження в системі теплопостачання в залежності від характеристик системи. Інженерні методики базуються на реалізації складних математичних моделей геліосистем теплопостачання, які дозволяють отримати спрощені залежності, наприклад, метод f-діаграми.
Оптимальна геліосистема теплопостачання повинна забезпечувати покриття частки fопт річної навантаження системи теплопостачання при мінімальних витратах на одиницю теплової енергії. Розрахунок за f-методу заснований на середньомісячних значень метеорологічних параметрів і може використовуватися для визначення довгострокових теплових характеристик системи сонячного теплопостачання в залежності від основних конструктивних параметрів системи. На базі цього методу розроблені інженерні методики розрахунку геліосистем. Як і при виборі будь-якого іншого обладнання для системи теплопостачання, при проектуванні сонячної системи, перш за все, визначають мета розрахунку. Оскільки сонячна система майже завжди є частиною системи теплопостачання, метою, по суті, є визначення частки навантаження на систему теплопостачання, покривається за рахунок сонячної енергії (частка заміщення теплового навантаження), тобто бажаний з точки зору енергетичної потреби співвідношення між сонячною енергією і традиційною. У наших кліматичних умовах сонячна система без додаткового джерела теплоти не може забезпечити надійне теплопостачання. Тому частина системи теплопостачання, яка підключена до традиційного джерела енергії, розраховується незалежно від сонячної системи. Тим не менш, взаємодія між різними джерелами теплоти має найважливіше значення для досягнення максимальної ефективності системи в цілому і, отже, для ефективного енергозбереження.

Розрахунок сонячної системи гарячого водопостачання починається з визначення споживання гарячої води. Для визначення споживання гарячої води слід розрізняти максимальне споживання на одного споживача і розрахункове споживання:

- максимальне споживання на одного споживача є основним показником для забезпечення надійності гарячого водопостачання, згідно з ним вибирають обсяг ємнісного водонагрівача і визначають потужність котла;
- розрахункове споживання є основою для вибору оптимального завантаження сонячної системи.

Таким чином, середній очікуваний витрата води на гаряче водопостачання в літні місяці і є основною величиною для розрахунку сонячної системи гарячого водопостачання.

Максимальне водоспоживання, як правило, в 2 рази вище фактичної. Для проектування системи гарячого водопостачання необхідно, по можливості, вимірювати витрата води на гаряче водопостачання протягом тривалого часу. Однак це не завжди можливо. Якщо неможливо визначити точні дані для одного споживача, то витрата оцінюється наступним чином.

У котеджі середньодобова витрата води на гаряче водопостачання на людину вище, ніж у багатоквартирному будинку. Для розрахунку можна приймати значення витрати 30 л на людину при температурі 60 °С. В багатоквартирному будинку рекомендоване значення становить 22 л на людину при температурі 60 °С. Вищенаведеними значеннями витрат можна скористатися у випадку, коли геліосистема є частиною системи теплопостачання, отже має додаткове джерело тепла.

Метою розрахунку сонячної системи гарячого водопостачання в одно – і двоквартирних будинках є покриття річної навантаження на гаряче водопостачання за рахунок сонячної енергії на 60 відсотків.

Влітку досягається практично повне розрахункове покриття навантаження на гаряче водопостачання за рахунок сонячної енергії. Невикористані надлишки теплоти знаходяться в допустимих межах, споживач використовує сонячне тепло і протягом тривалого часу обходиться без підігріву води опалювальним котлом. З технікоекономічної точки зору більш висока частка покриття навантаження на гаряче водопостачання за рахунок сонячної енергії в одноквартирному будинку недоцільна.

Для досягнення високої частки покриття навантаження на гаряче водопостачання за рахунок сонячної енергії (до 60 відсотків) ємнісний водонагрівач сонячної системи повинен містити кількість води, що дорівнює подвоєному очікуваного річного споживання на гаряче водопостачання. Розміри колектора сонячної енергії визначаються за умови, що весь обсяг ємнісного водонагрівача за сонячний день (близько 5 повних сонячних годин) нагрівається до 60 °С. Це дозволить забезпечити навантаження на гаряче водопостачання в наступний день з більш слабкою інсоляцією. З цієї точки зору визначають співвідношення між обсягом водонагрівача і площею колектора.

В Україні в сонячний безхмарний день інсоляція становить близько 5 кВт • год на м2 поверхні колектора. Щоб акумулювати таку кількість енергії, потрібно передбачити для плоских колекторів водонагрівач об’ємом не менше 50 л на м2 площі колектора, а для вакуумованих трубчастих колекторів – не менше 70 л, якщо сонячна система використовується виключно для гарячого водопостачання.

В якості основного співвідношення для вибору ємнісних водонагрівачів в одно-і двоквартирних будинках можна приймати на 100 л об'єму водонагрівача 1,5 м2 плоского або 1,0 м2 вакуумованого трубчастого колектора. Призначена для монтажу геліополя поверхню даху може мати відхилення від південного напрямку не більше ніж на 45°, а кут нахилу даху повинен бути в межах від 25 до 55°. Втрати продуктивності сонячної системи внаслідок несприятливої орієнтації або нахилу даху компенсуються невеликим збільшенням площі колектора.
За методикою ВСН 52 – 86 розрахунок геліосистеми з додатковим джерелом тепла виконується для місяці з найбільшою сумою сонячної радіації за період роботи, а системи без дублюючого джерела – з найменшою. У результаті розрахунку визначають площу сонячного колектора та параметри інших складових геліосистеми. При розрахунку сучасних геліосистем, які призначені для цілорічної роботи в складі системи теплопостачання, слід враховувати можливість надвиробництва теплової енергії та закипання теплоносія в геліосистемі.

Для оцінки впливу різних факторів на частку заміщення навантаження системи гарячого водопостачання виконаний розрахунок геліосистеми за програмою ESOP, яка базується на f-метод. Базова сонячна система: місце розташування – р. Львів, добове водоспоживання – 200 л, площа колектора – 4,6 м2, бак-акумулятор – 300 л, кут нахилу даху – 45°, орієнтація – південь, частка заміщення навантаження гарячого водопостачання за рахунок сонячної енергії – 61%. При відхиленні від базових даних відбуваються наступні зміни щодо частки заміщення теплового навантаження на гаряче водопостачання в %:

- Базова геліосистема – 61%;
- Кут нахилу колектора 30° – 60%;
- Кут нахилу колектора 60° – 59%;
- Південно-західна орієнтація – 59%; • Чернігів – 53%; Запоріжжя – 68%.

Як видно з розрахунку, вплив додаткових факторів відносно невелике, найбільший вплив набувають кліматичні дані, але в межах України коливання частки заміщення внаслідок зміни кліматичних даних становить ± 10%. Тому значне збільшення або зменшення розмірів компонентів сонячної системи було б неправильним рішенням. Таким чином, частка заміщення теплового навантаження 60% є орієнтовними, але не кінцевим значенням.
Враховуючи дискретні розміри колекторів (площа одного плоского колектора становить близько 2,5 м2, об'єм баківакумуляторів коливається від 300 до 900 л) і отримане значення коливання частки заміщення навантаження системи гарячого водопостачання, слід зазначити, що прийнята за базову геліосистему можна використовувати на всій території України. У північній частині країни можливе

збільшення площі колектора, але з урахуванням максимально допустимої площі колектора, яку можна підключити до одного баку-акумулятора певних розмірів. При збільшенні розмірів геліосистеми слід враховувати, що капітальні витрати на систему також збільшуються, тому доцільність збільшення розмірів геліосистеми слід перевіряти, враховуючи можливість переходу до меншого тарифу оплати за газ.

Аналізуючи результати розрахунку, можна зробити висновок, що зменшення частки заміщення теплового навантаження за рахунок геліосистеми дозволить зменшити ймовірність закипання теплоносія, а також зменшити вартість та термін окупності геліосистеми.
У багатоповерхових будинках сонячні системи розраховують на максимальну продуктивність – максимальну кількість теплоти з одного квадратного метра колектора. Площа геліополя повинна бути розрахована таким чином, щоб не було стагнації (закипання теплоносія), іншими словами, щоб не проводився надлишок тепла, який не може бути використаний.
Сонячну систему слід розраховувати на мінімальне споживання тепла на гаряче водопостачання в літній період
(місяць з мінімальної розрахункової теплової навантаженням). Тому кількість теплоти, виробленої за рахунок сонячної енергії, яка повністю споживається в системі гарячого водопостачання в будь-який час року. Для подальших розрахунків визначальною величиною є добовий витрата гарячої води з температурою 60 °С, л/м площі колектора. Для сонячної системи гарячого водопостачання багатоквартирних будинків це значення повинно прийматися не нижче 60 л гарячої води на квадратний метр площі колектора. На основі цієї величини визначається площа колектора. Якщо сонячна система оптимізована за даною величиною, частка заміщення навантаження на гаряче водопостачання за рахунок сонячної енергії обмежується значенням близько 35%. Підвищення частки сонячної енергії призведе до виробництва надлишків тепла і зниження питомої продуктивності сонячної системи.

При розрахунку геліосистем для багатоквартирних будинків витрата води на гаряче водопостачання в таких системах слід вимірювати. Враховуючи, що геліосистема є частиною системи теплопостачання, можна скористатися значенням витрати 22 л на людину на добу при температурі 60 °С. В результаті розрахунку визначають кількість теплоти, необхідне для нагрівання води від 10 до 60 °С, а також площа колектора, необхідну для виробництва такої кількості теплоти.

Наприклад: розрахуємо сонячну систему з плоскими колекторами для будинку на 240 жителів, що вимірюється витрата води становить 25 л на людину при температурі 60 °С, тобто 6 000 л в добу.

Для середнього, не похмурого літнього дня можна на підставі коефіцієнта корисної дії колектора визначити максимальну кількість теплоти з одного квадратного метра площі колектора. Вона складає:

- для плоских колекторів – близько 3,4 кВт • год / (м • сут)
- для вакуумованих трубчастих колекторів – близько 4,3 кВт • год / (м • сут)

За допомогою цієї кількості теплоти з одного квадратного метра плоского колектора, при куті нахилу 45° і орієнтації на південь, можна нагріти 60 – 70 літрів води до температури 60 °С (для вакуумованих трубчастих колекторів ця кількість буде приблизно на 25% більше).
Звідси отримуємо, що для нагріву 6000 л води необхідна площа колектора 100 м

Оптимальну розрахункову площа колектора необхідно узгодити з розмірами і конфігурацією даху. При розташуванні колекторів на даху слід по можливості використовувати панелі колекторів однакового розміру. Щоб реалізувати оптимальну розрахункову площу геліополя 100 м, теоретично необхідно було б використовувати 42,9 колекторів Vitosol 200-F з площею абсорбера 2,33 м. Тому доцільно провести коригування площі геліополя відповідно до площею одного колектора і можливістю їх розміщення з урахуванням компонування геліополя з однакових панелей колекторів.

І тільки така скоригована площа геліополя використовується в розрахунку інших компонентів сонячних систем. Чим нижче частка заміщення теплового навантаження, тим менше часу зберігається отримана сонячна енергія в бакуакумуляторі і тим нижче теплові втрати. Графік водоспоживання на гаряче водопостачання в
багатоквартирному будинку має один пік водорозбору вранці та одну ввечері. При невеликій частці заміщення теплового навантаження за рахунок сонячної енергії отримана в обідній час (максимум виробництва) теплота повинна зберігатися лише кілька годин, оскільки вже ввечері або, найпізніше, на наступний ранок вона буде витрачена. Таке короткочасне зберігання збільшує ефективність роботи колекторів, так і ефективність роботи всієї сонячної системи.

Ємнісних водонагревателеей з вбудованими підігрівачами таких великих розмірів, які потрібні в даному випадку (багатоквартирний будинок), не існує, і взагалі вони недоцільні. Як правило, в системі є ємнісний водонагрівач для підігріву води на гаряче водопостачання за допомогою додаткового джерела енергії
(розвантажувальний контур).

еред ним підключений ємнісний водонагрівач для попереднього нагрівання за рахунок сонячної енергії (завантажувальний контур) – по конструкції аналогічний водонагрівачам у невеликих сонячних системах. У великих сонячних системах можна підключати водонагрівач для попереднього нагріву (попередній ємнісний водонагрівач) через зовнішній теплообмінник. Обсяг попереднього ємнісного водонагрівача на один квадратний метр площі абсорбера слід приймати: для плоских колекторів – 50 л, для вакуумованих трубчастих колекторів – 70 л. Якщо потужності вбудованих теплообмінників недостатньо для передачі сонячної теплової енергії води у водонагрівачі, то для заповнення буферних ємностей для гарячого водопостачання або системи опалення використовуються пластинчасті теплообмінники.

Пластинчастий теплообмінник розраховується таким чином, щоб зворотний трубопровід первинного контуру подавав в колектор максимально охолоджений теплоносій. Ця температура повинна бути на 5 К вище температури холодної води, що подається в акумулятор. Для визначення параметрів теплообмінника за допомогою програми розрахунку слід задати такі значення: температура буферної ємності для підключення системи опалення – 20 °C (зворотна магістраль вторинного контуру) і температура перед колектором 25 – °C (зворотна магістраль первинного контуру). Для первинного контуру необхідно ввести відповідні дані про теплоносії, у вторинному контурі використовується вода. Щоб ввести максимальну втрату тиску, рекомендується в першому наближенні використовувати значення 100 мбар.

Для контролю проводять повторний розрахунок з більш високою втратою тиску – в деяких випадках таким чином можна зменшити розміри теплообмінника. Розрахункова потужність геліополя приймається на рівні 600 Вт/м площі апертури колектора.

У великих сонячних системах є одна особливість: якщо трубопроводи первинного контуру на даху довше, ніж у будинку, доцільно забезпечити захист від замерзання для зовнішнього теплообмінника. Навіть при низьких температурах колектор внаслідок інсоляції може мати більш високу температуру, ніж у водонагрівачі, але температура теплоносія в трубопроводах може бути ще дуже низькою. Включення насоса в такому стані може призвести до пошкодження теплообмінника. Щоб уникнути таких ситуацій, в первинному контурі встановлюють термостат і клапан з електроприводом, який відкривається тільки при температурі теплоносія 5 °C. Для зменшення тепловтрат буферний резервуар повинен складатися з однієї ємності. Якщо це неможливо, то для забезпечення завантаження і розвантаження слід підключити послідовно кілька буферних ємностей. Водонагрівач попереднього нагрівання у комбінації з пластинчастим теплообмінником в розвантажувальному контурі передає сонячну теплоту, акумульовану в буферній ємності, води для системи гарячого водопостачання. Водонагрівач попереднього нагрівання не повинен мати надто великий обсяг, так як він проходить термічну дезінфекцію. На

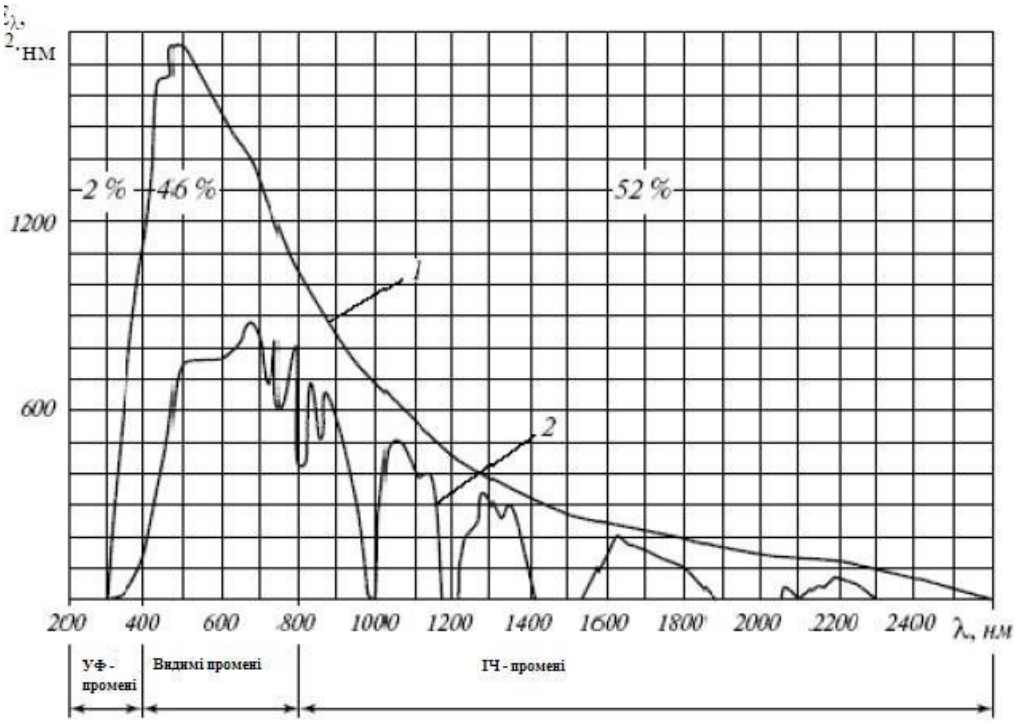
практиці його обсяг повинен становити від 10 до 20% розрахункового водоспоживання. Пластинчастий теплообмінник для передачі теплоти з буферної ємності в водонагрівач попереднього нагрівання повинен розраховуватися таким чином, щоб зворотний трубопровід транспортував в буферній ємності максимально охолоджену воду – її температура повинна бути на 5 К вище температури холодної води, що подається з водонагрівача попереднього нагрівання.

Необхідно проводити кілька порівняльних розрахунків з різними значеннями об'ємної витрати, причому максимальний часовий витрата повинен бути не менше 25% добового водоспоживання. Для контролю достовірності: розрахункова потужність приблизно на 50% вище потужності теплообмінника, якщо площа колектора була розрахована відповідно до описаних вище правил (60 л на м площі абсорбера). Розрахункові значення об'ємних витрат використовуються при підборі насосів в розвантажувальному контурі.

За розрахунками собівартості теплоти, отриманої від геліосистем з різними розмірами часток заміщення навантаження на гаряче водопостачання для Німеччини, – найменшу собівартість теплоти мають великі геліосистеми з невеликою часткою заміщення теплового навантаження. Тому, враховуючи невисоку вартість палива в Україні порівняно із Західною Європою, доцільно використовувати геліосистеми з невеликим значенням частки заміщення навантаження системи гарячого водопостачання, що дозволить зменшити вартість системи, так і собівартість отриманої теплоти, а також збільшити ефективність її використання

Аналіз ефективності роботи сонячного перетворювача від його параметрів і конструктивних особливостей

Величина щільності потоку сонячної радіації за межами атмосфери Землі майже постійна й становить *sc I* = 1353 Вт / м2. Під час проходження через атмосферу змінюється якісний і кількісний склад сонячної радіації, оскільки атмосфера не є абсолютно прозорою: частина радіації розсіюється, а частина – поглинається



Спектральний розподіл енергії сонячного випромінювання в оптичній частині спектра: 1 - у космосі, 2 - після проходження атмосфери Землі 41

На рис. 2.1 наведено криві розподілу інтенсивності сонячної енергії оптичної частини спектра до і після проходження атмосфери. З рис. 2.1 видно, що до і після проходження атмосфери основна частка випромінювання припадає на діапазон видимих і ІК-променів (46 + 52%), таким чином, нагрів усіх тіл на поверхні землі відбувається переважно в результаті їх спільної дії.

Після проходження атмосфери інтегральна щільність потоку сонячного випромінювання зменшується на 53%. Можна припустити, що максимальна щільність потоку прямої сонячної радіації на поверхні землі не перевищуватиме 640 Вт / м2, що підтверджують результати натурних вимірювань [48]. На сьогоднішній день розроблено й упроваджено різні типи систем, що дають змогу прямо або побічно використовувати енергію сонця. З них можна виділити три основні напрями: отримання електричної енергії, нагрівання води для побутових і технічних цілей, нагрівання повітря [122]. Даючи чисельну оцінку коефіцієнтові використання сонячного випромінювання в тій чи іншій системі, потрібно насамперед враховувати поставлену перед нею мету. Наприклад, якщо система призначена для перетворення сонячного випромінювання безпосередньо в електричну енергію, то середній ККД, що дорівнює 10-15% вважають цілком прийнятним. Досягнення коефіцієнтом використання 40-60% у двоконтурних геліоколекторах з примусовою циркуляцією теплоносія, обладнаних системою оптимальної орієнтації стосовно сонця, можна вважати високим технологічним показником [48].

Попередній аналіз роботи геліосистеми засвідчує, що через мінливість надходження сонячної радіації протягом дня, а також залежність її величини від пори року подібні системи зазвичай потребують уведення у свою структуру додаткових пристроїв і алгоритмів керування для підвищення їх ефективності. Для визначення кількісного показника ефективності геліоколектора (сонячного колектора) потрібно визначити його теплопродуктивність. Для розрахунку теплопродуктивності сонячного колектора (СК) потрібно визначити: кількість сонячної енергії, що надходить на його похилу світлопрозору

42

поверхню; наведену поглинальну здатність теплосприймальної пластини й ефективний коефіцієнт тепловтрат колектора.

Головне балансове рівняння для розрахунку плаского колектора qкор

$$q_{кор} = q_{погл} - u(T_п - T_о),$$

де кор q – корисна кількість тепла, яке стосується одиниці часу й площі (тепловий потік), Вт/м2; погл q – поглинальна кількість теплоти, Вт/м2;

u – коефіцієнт тепловтрат колектора, Вт/(м2К);

п Т – температура поглинальної поверхні, К; о Т – температура навколишнього повітря, К.

Складність користування цим рівнянням полягає у визначенні величини середньої температури поглинальної пластини, використовуючи поняття ефективності поглинача f', який дорівнює відношенню фактичної поглиненої енергії до енергії поглиненої у разі рівності температур рідини і пластини. Можна перейти до рівняння, яке описує продуктивність колектора як функції середньої температури теплоносія:

$$q_{кор} = f'(q_{погл} - u(T_п - T_о)),$$

де f' – функція конструктивних параметрів поглинання, яка майже не залежить від витрат і температури теплоносія

$$f' = \left\{ l\left[d + (R-d) f_p \right]^{-1} + \frac{\delta_k}{\lambda_k} + \frac{uR}{d_{вн} a_{вн}} \right\}^{-1},$$

де l –довжина колектора, м; d – діаметр каналa поглинача,м;

r – радіус, відстань між осями каналів, м;

43

k – товщина матеріалу поглинача, м; *k*

– теплопровідність колектора, Вт/(м2К); вн *d* – діаметр внутрішньої стінки, м; вн *a* – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої стійки колектора, Вт/(м2К);

p – ефективність ребра поглинача

$$f_p = \frac{t_h\left[\sqrt{u\lambda_{П}(R-d)/2}\right]}{iu\lambda_{П}^{-1}(R-d/2)},$$

де П – теплопровідність поглинача, Вт/(м2К);

і – величина, що стосується до 1-ї секції акумулятора.

Отже, для ефективних поглиначів завжди більша 0,9. Наприклад, для стальних штампованих радіаторів = 0,95, для алюмінієвих – 0,97. Рівняння розподілення температури вздовж потоку розв'язують інтегруванням балансового рівняння (2.1) для елемента рідини.

$$\frac{T_{вих}-T_{вх}}{T_p-T_{вх}} = 1-\exp\left(-ufF/W_T\right),$$

де вих *T* – кінцева температура нагрівання колектора, К;

вх *T* – початкова температура нагрівання, К;

p T – середня рівновісна температура нагрівання, К;

F – площа поверхні колектора, м2;

T W – водяний еквівалент витрат (об'єму) – множення витрат об'єму рідини на щільність і теплоємність, Вт/К.

Ефективність геліоприймача як теплообмінника визначають з рівняння

$$\varepsilon_{Г} = 1-\exp(-NTu_{Г}),$$

За залежністю (2.1) обчислюють середню температуру теплоносія *T T*

$$T_T = T_{вх} + \left(T_p - T_o\right)\frac{uF}{W_T}\varepsilon_Г,$$

У розрахунках ліпше використовувати величину *T T* = (Твх+ Твих*)/2*. Для цього розв'яжемо рівняння продуктивності колектора як її функції й уведемо фактор *f* , після чого рівняння (2.1) матиме вигляд

$$q_{кор} = \overline{f}(q_{погл} - u\left(T_T - T_o\right)),$$

$$\overline{f} = \frac{W_T}{uF} \bullet \frac{2\varepsilon_Г}{2 - \varepsilon_Г}.$$

Оскільки при розрахунках геліоприймачів частіше всього відома температура теплоносія на вході, зручно користуватися рівнянням теплопродуктивності, що містить цей параметр

$$q_{кор} = f_R\left[q_{погл} - u\left(T_{вх} - T_o\right)\right]$$

де *f*R – коефіцієнт відведення тепла з колектора, що являє собою відношення фактично одержаної енергії до тієї, яку було б одержано, якби температура всієї поглинальної пластини дорівнювала б рівною температурі теплоносія на вході

Коефіцієнт тепловтрат колектора і обчислюється за двома складовими: втратам через світлопрозоре покриття Uc і днище Uд. Якщо теплоносій не рухається між поглиначем і склом

$$u = u_c + u_д.$$

Цю величину для пласких геліоприймачів можна розрахувати за підсумковим напівемпіричним рівнянням

$$u = \left[\frac{\nu}{334 / T_П \left[\left(T_П - T_o \right) / \left(\nu + c \right) \right]^{0,31}} + \frac{1}{\alpha_c} \right] 2 + \alpha_{CT} \frac{F_{CT}}{F} + \rightarrow \ldots$$

де

$$\ldots . \rightarrow + \left[\frac{\delta_д}{\lambda_д} + \frac{1}{\alpha_д} \right]^{-1} + \frac{\sigma \left(T_П^2 + T_o \right) \left(T_n - T_o \right)}{\left[\xi_П + 0,05\nu \left(1 - \varepsilon_П \right) \right]^{-1} + \left(2\nu + c - 1 \right) / \xi_c - \nu},$$

ν – к ількість скляних покриттів; αс – коефіцієнт теплопередачі скла, Вт/(м2К); *F*ст – площа поверхні стінки, м2; δд – товщина днища колектора, м; λ д - теплопровідність днища, Вт/(м2К); αд – коефіцієнт тепловіддачі днища; σ – постійна Стефана-Больцмана; ξп – ступінь чорноти поверхні.

$$\frac{u_c \left(\beta \right)}{u_c \left(45 \right)} = 1 - \left(\beta - 45 \right) \left(2,29 - 1,44 \xi_П \right) 10^{-3}.$$

Перші дві складові виразу (2.13) визначають тепловтрати через світлопроникне огородження. Вони залежать від кута нахилу колектора й ступеня його чорноти.

Друга й третя складові – коефіцієнт втрат через тильну частину й бокові стінки. У ефективному колекторі коефіцієнт втрат через днище дорівнює 0,5–1 Вт/м2К.

Коефіцієнт втрат через бокові стінки для одиничного колектора становить менше 3% загальних втрат, а в разі їх згрупування – менше 1% й може не братися до уваги.

Для складніших випадків залежність *U* від *Uc* і *U*д обчислюється за формулою

$$u = \frac{u_c + u_д}{1 + \alpha_П u_C / \left(\alpha_c \alpha^{Г}_{C.П} + \alpha_П \alpha^{Г}_{C.П} + \alpha_{П.C}\right)} + \rightarrow \ldots$$

$$\ldots \rightarrow + \frac{u_c + u_д}{\alpha_П + \left(\alpha_C \alpha^{Г}_{П.C} + \alpha_П u_C\right) / \alpha_C + \alpha_{C.П}}.$$

Важлива характеристика колекторів, потрібна для обрахування *q*погл – зведена поглинальна спроможність, яка засвідчує, яка частина падаючого на колектор сонячного випромінювання поглинається ним. Її визначають добутком коефіцієнтів пропускання світлопрозорого покриття (Ѳ*)* й поглинання (а) колектора (Ѳа) окремо для прямої й дифузної сонячної радіації. Опублікована й збережена метеорологічна інформація здебільшого зображує дані про інтенсивність складових радіації на горизонтальну поверхню. Тому в розрахунок *q*погл потрібно уведено коефіцієнт положення – відношення інтенсивності на

горизонтальну площину. Для відбитої й розсіяної радіації їх величини відповідно: *pr* sin2 / 2 ; *pD* cos2 / 2, □□ □□ □□

де р – відношення інтенсивності сонячної радіації, що падає на площину колектора, до горизонтальної – коефіцієнт положення; *r* – щільність потоку відбитої сонячної радіації, Вт/м2;

D – щільність потоку дифузної складової сонячної радіації, Вт/м2; β – кут нахилу колекторів до горизонту, градус.

Наведена поглинальна спроможність колектора при дифузній радіації (відбитої й розсіяної) приймається постійною, що узгоджується з величиною для прямої складової при падінні променя під кутом 60°. Підсумовуючи пряму сонячну радіацію, яка була поглинута колектором, потрібно мати величини ps і

(Ѳа)*s* в терміни, що узгоджуються з даними щільності потоку сонячної радіації *S*.

Це значно збільшує обсяги розрахунків і створює труднощі з визначення довгострокових характеристик колекторів.

Для їх спрощення доцільно використовувати усереднені за період обчислення кута падіння сонячного променя на площину колектора i<55° величини ps і (Ѳ а)*s* для визначення розрахункових коефіцієнтів.

Розрахунок інтенсивності сонячної радіації, яка падає і поглинається колектором різного просторового спрямування та його приведеної поглинальної спроможності, проводять за формулами

$$q_{пад} = p^S S + p^D D + p^r (S+D)\rho,$$

$$q_{погл} = 0.951(\theta_a)^S p^S S + (\theta_a)^D \left[p^D D + p^r (S+D)\rho \right],$$

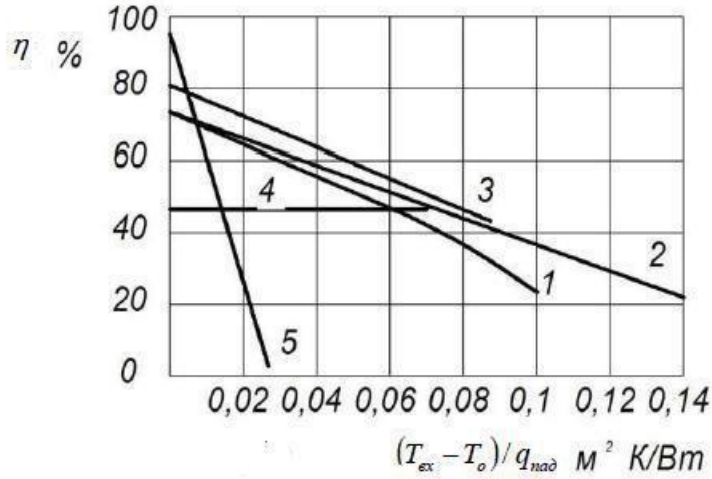
$$(\theta_a) = q_{погл} / q_{пад}.$$

$$\eta = (\theta_a) - u\left(T_T - T_O\right) / q_{пад},$$

$$\eta = f\left[(\theta_a) - u\left(T_T - T_O\right) / q_{пад} \right],$$

$$\eta = f_R\left[(\theta_a) - u\left(T_{вх} - T_O\right) / q_{пад} \right].$$

Основний показник колектора сонячної енергії – залежність від (вх о пад (*T* Т) / *q* визначають під час його випробування і зображають прямою з нульовою ординатою, що дорівнює оптичному ККД, у разі нормального перпендикулярного кута падіння сонячних променів, коли тангенс кута нахилу прямої надає величина *c K* - ефективний коефіцієнт тепловтрат колектора сонячної енергії, Вт/(м *К 2) [22, 160]. На рис. 2.2. зображено характеристики різних типів сонячних колекторів [5].



1 - неселективний колектор сонячної енергії з двошаровим склінням з алюмінієвим штампованим абсорбером; 2 - неселективний колектор сонячної енергії з антивіддзеркалювальним покриттям і тришаровим склінням; 3 - селективний колектор сонячної енергії з одношаровим склінням та покриттям «Чорний хром» на сталевому абсорбері; 4 - вакуумний скляний трубчастий колектор із селективним концентричним абсорбером; 5 - неселективний колектор

сонячної енергії з одношаровим склінням

За типом конструкції найбільшого поширення в системах сонячного теплопостачання набули пласкі й вакуумні сонячні колектори [4]. Кожен з них має певні переваги й недоробки.

Прості й дешеві у виготовленні пласкі колектори складаються з елемента, що поглинає сонячне випромінювання (абсорбера), прозорого покриття й теплоізоляційного шару.

Стандартним рішенням щодо підвищення ефективності колектора є застосування абсорбера з листів міді через її високу теплопровідність. Для цього

абсорбер зафарбовують у чорний колір або вкривають спеціальною оптичною селективною плівкою, що максимально поглинає теплову енергію. Таке покриття являє собою єдиний наукомісткий елемент в конструкції пристрою [169]. Прозорий екран зазвичай роблять зі скла зі зниженим умістом металів або ріфленого полікарбонату. Задню частину панелі покривають теплоізоляційним матеріалом. Трубки, за якими поширюється теплоносій, виготовляють переважно з міді. Сама панель є повітряно-проникною. Колектор здатний вловлювати пряму й розсіяну радіацію його встановлюють, як правило, стаціонарно на даху будівлі. Вакуумний сонячний колектор складається з так званих теплових трубок і своєю конструкцією нагадує термос. Зовнішня частина такої трубки прозора, а на внутрішню наносять високоселективне покриття, що ефективно вловлює сонячну енергію. Між зовнішньою й внутрішньою скляною трубкою – вакуум. Усередині трубки низькокипуча рідина або теплоносій. 49

Під час опромінення установки сонячним світлом рідина в нижній частині трубки, нагріваючи, перетворюється на пару. Пара піднімається вгору (конденсатор), де конденсуючись, віддає тепло колектору. Завдяки циліндричній

формі трубок сонячні промені падають на поверхню абсорбера перпендикулярно до осі трубки, але при цьому всі інші промені, не перпендикулярні осі трубки, віддзеркалюватимуться.__

Розділ 4

Розробка геліосистеми для теплопостачання житлового будинку

1.1 *Основні технічні характеристики запропонованого сонячного* нагрівача

. Сонячний концентратор складається з 9 деталей, кожна з яких легко замінюється і має свій термін планових замін: від 6 місяців до 20-30 років.

На станції були проведені планові заміни «дзеркал» і «плівки абсорбера» (термін планових замін інших деталей ще не настав). Потужність нагріву (при нових чистих дзеркалах в літній полудень при

температурі води, що нагрівається до 70-90 °С, а температурі навколишнього повітря – 30 °С) - близько 400 Вт/м² дзеркала. Це відповідає ККД трохи менше 50 %. Очевидно, чим менша робоча температура води, тим вищий ККД [1].

Нижче в таблиці 1.1 наведені реальні дані по виробленню тепла 1 м^2 дзеркал при нагріванні води до 70-90 °С і «ручному» включенні насосів для м. Миргород.

Таблиця 1.1 - Реальні дані по виробленню тепла 1 м^2 дзеркал для м. Миргород

Місяці	Кількість сонячних днів у місяці	Виробництво тепла за 1 сонячний день кВт·год/ м^2	Кількість тепла з 1 м^2 дзеркала кВт·год
1	2	3	4
Січень	4,8	1,5	7,2
Лютий	6,6	2,1	13,9
Березень	9,8	2,4	23,5
Квітень	12,8	2,4	30,7
Травень	16,7	2,3	38,4

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
Червень	17,1	2,2	37,6
Липень	18,4	2,3	42,3
Серпень	18,0	2,4	43,2
Вересень	15,6	2,4	37,4
Жовтень	11,8	2,2	26,0
Листопад	6,0	1,6	9,6
Грудень	3,7	1,4	5,2
Всього за рік			315,0

Для більшої наочності приведемо данні для південного регіону. В Одесі показники помітно краще, особливо взимку (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 - Реальні дані по виробленню тепла 1 м^2 дзеркал для м. Одеси

Місяці	Кількість сонячних днів місяці	Виробництво тепла за 1 сонячний день кВт·год/ м^2	Кількість тепла з 1 м^2 дзеркала кВт·год
1	2	3	4
Січень	8,1	1,7	13,8
Лютий	7,9	2,1	16,6

Березен ь	12,4	2,4	30,0

Квітень	15,6	2,4	37,4
Травень	18,6	2,3	42,8
Червень	19,5	2,2	42,9
Липень	22,9	2,3	52,7

8

9

Продовження таблиці 1.1

Серпень	22,9	2,4	55,0

9

9

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4
Вересень	20,4	2,4	49,0
Жовтень	16,4	2,2	36,1
Листопад	7,5	1,7	12,8
Грудень	7,1	1,5	10,6
Всього за рік			399,7

Максимальна температура води, що нагрівається в колекторі-концентраторі обмежується характеристиками теплообмінника абсорбера. Труби, що використовуються на даний час (ГОСТ 10704 - сталева труба з прямим електрозварним швом) із зовнішнім діаметром 22 мм і товщиною

стінки 1,2 мм не витримує тиск вище 1 бар, що відповідає температурі нагріву води до 120 °С [2-8]. Якщо використовувати інші труби та інші з'єднання, можна збільшити температуру нагрівання, але швидше за все, при температурах 150-200 °С почне плавитися поліетиленова «плівка абсорбера».

Очевидно, що сонячний концентратор ефективно працює тільки під час сонця, яке не закрите хмарами. У похмуру погоду вода в трубах абсорбера нагрівається на 5-30 °С вище температури навколишнього повітря [1].

Теплоносій, який тече в трубах абсорбера – вода невідповідної якості, тобто вода без будь-якої водопідготовки (деаерації, видалення солей), з будь-якого джерела води (в даний час на Миргородській сонячній станції вода була залита з підземної свердловини глибиною 17 м), насичена іржею від сталевих труб абсорбера. Це потрібно враховувати: передавати тепло від брудної води до води, яка використовується для ГВС або для опалювальної системи можна тільки через теплообмінник. Причому, пластинчастий теплообмінник небажаний, це може бути кожухотрубний теплообмінник, або змійовик в тепловому акумуляторі й т.п. Брудна вода - це також

Продовження таблиці 1.2 проблема для насосів.

Миргородська сонячна станція вже три рази була в «режимі стагнації».

Наслідки попадання в цей режим: дірки в «плівці абсорбера», може зламатися

11 зворотний клапан (він бере участь в автоматичному видаленні води з труб абсорбера після виключення насоса), також прискорюється корозія сталевих труб і можуть з'явитися протікання в гумових з'єднаннях труб.

Для установки ряду з 29 м^2 дзеркал потрібно мати ділянку землі 2×19 м. Якщо встановлюється кілька рядів, то порожній проміжок між ними повинен бути 2-5 метрів, щоб тінь від більш південного ряду не падала на дзеркала північнішого ряду. Якщо сонячні нагрівачі використовуються для опалення будинку, то їх можна взагалі влітку прибирати повністю або частково, щоб вони не заважали городу. Ідеї підняти сонячні нагрівачі над землею за допомогою будь-яких сталевих конструкцій навряд чи виявляться продуктивними, оскільки вартість таких конструкцій може збільшити вартість сонячного нагрівача в кілька разів.

Розміщення на дахах призводить до подорожчання сонячного нагрівача, в результаті чого втрачається основна його перевага - дешевизна. І при розташуванні на дахах слід мати на увазі наступну небезпеку, раз на 10-30 років відбувається аномальний ураган, і важливо, щоб конструкція не була зруйнована. Кількість секцій (кожна має по 3,2 м^2 дзеркал) в одному ряду може бути будь-якою. Але максимальна довжина ряду обмежується рельєфом місцевості, оскільки ряд повинен бути трохи нахилений близько 2 см підйому на 2,09 м довжини для доброго стікання води з труб абсорбера. На рівному майданчику можна встановити ряд з 9-15 секцій більше не бажано, оскільки кілки, які забиваються в землю, потрібно буде підняти на 20-30 см [9, 11]. Якщо рельєф місцевості є ідеальним, тобто невеликий нахил землі в потрібну сторону, максимальна довжина ряду обмежується гідравлічним опором труб абсорбера, обмеження десь на 20-50 секцій [1].

10

2 *ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА-КОНЦЕНТРАТОРА В УМОВАХ ПОБУТОВОГО ВИКОРИСТАННЯ*

Для підвищення ефективності та строку експлуатації сонячного колекторf було прийнято рішення про вдосконалення деяких складових винаходу Сергія Юрка.

Для вдосконалення були прийняті наступні деталі:

— дзеркало концентратора; — теплообмінник абсорберу; — теплоносій.

4.1Дзеркало концентратора

Для збільшення ефективності та строку експлуатації було прийняте рішення замінити дзеркальну плівку на дзеркальний алюміній аланод або нержавіючу полірована сталь (цинкована сталь має коефіцієнт відбиття 0,72, коефіцієнт відображення дзеркального алюмінію аланода дорівнює 0,95, полірована нержавіюча сталь має коефіцієнт віддзеркалення 0,92).

Приймемо, що на 1 м^2 поверхні землі середньомісячний рівень сонячної радіації для міста Дніпро в липні місяці складає 5,7 кВт/м^2 в день. Згідно метеорологічних даних середня кількість сонячних годин в липні місяці складає t_c =12,2 години.

Тобто, кількість сонячної радіації на 1 м^2 за годину буде дорівнювати:

$$q = \frac{Q_{\text{день}}}{t_c} \text{ кВт/м}^2,$$

$$q = \frac{5,7}{12,2} = 0,467 \text{ кВт/м}^2.$$

Розрахунок кількості сонячної радіації за годину, яка потрапляє на 1 м^2 для кожного місяця, представлений у вигляді графіку (рисунок 2.1).

11

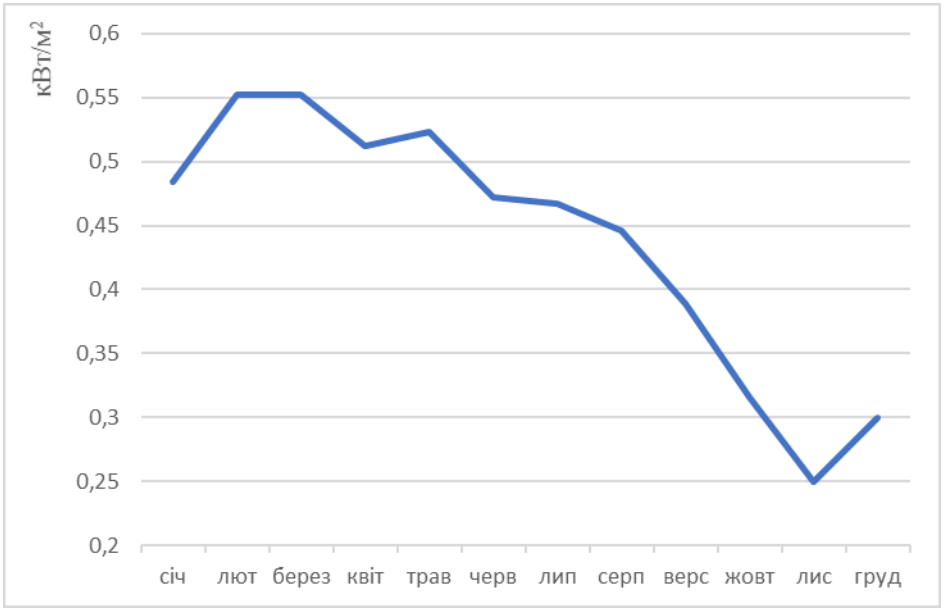


Рисунок 2.1 – Кількість сонячної радіації за годину яка потрапляє на 1 м^2

В даний час для дзеркал сонячного концентратора використовується металізована лавсанова плівка, її коефіцієнт відображення дорівнює 0,8.

Приймемо середній коефіцієнт відображення $\rho_{плів}$= 0,8, $\rho_{ал}$=0,95, $\rho_{н.с}$= 0,92 [11-14].

Визначимо, яка кількість сонячної радіації відображається від дзеркал з різних матеріалів для липня місяця за рівнянням (2.1).

$$q_{дз} = q \cdot \rho \,. \qquad (2.1)$$

Для плівки $q_{дз.п} = 0{,}467 \cdot 0{,}8 = 0{,}37$ кВт/м^2, або 373,8 Вт/м^2.

Для полірованого холоднопрокатного алюмінію

$q_{дз.п} = 0{,}467 \cdot 0{,}95 = 0{,}44$ кВт/м^2, або 443,9 Вт/м^2.

Для полірованої нержавіючої сталі кВт/м^2, або 429,8 Вт/м^2.

$q_{дз.п} = 0{,}467 \cdot 0{,}92 = 0{,}43$

Зробимо розрахунок для кожного місяця і результати зведемо до таблиці

12

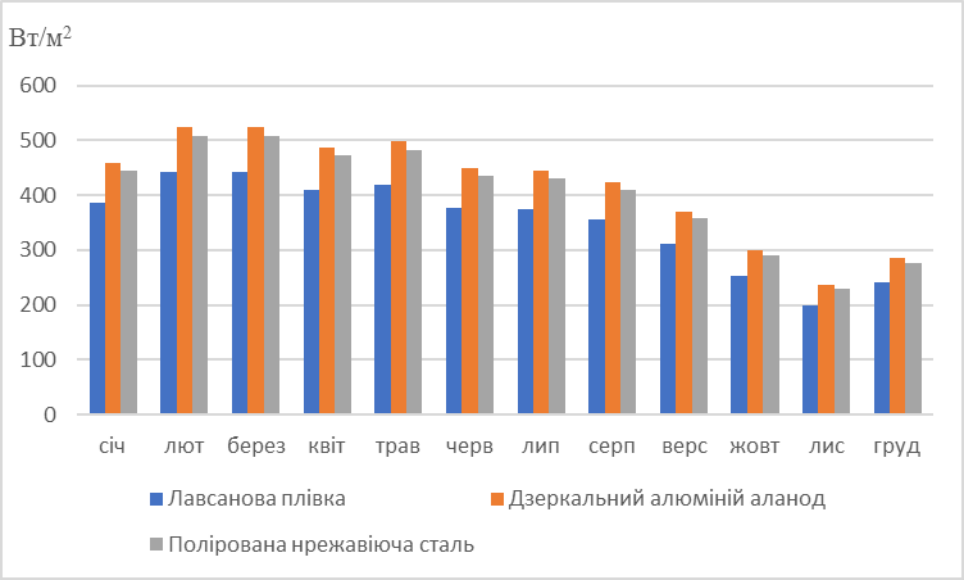
2.1.

13

Таблиця 2.1 – Розрахунок кількості відображеної сонячної радіації дзеркалами Вт/м^2

Назва матеріа лу	Міся ць											
	січ	лю т	бере з	квіт	тра в	чер в	лип	серп	вер с	жов т	ли с	гру д
Лавсанов а металізов ана плівка	38 7	442	441	410,1	419	378	373,8	356, 5	311	252	20 0	24 0
Дзеркаль ний алюміній аланод	46 0	525	524	487	497	448	443,9	423, 3	370	300	23 8	28 5
Полірова на нержаві юча сталь	44 5	509	508	471,6	482	434	429,8	41 0	358	290	23 0	27 6

Представимо результати розрахунку у вигляді діаграми (рисунок 2.2).



14

Рисунок 2.2 – Кількість сонячної радіації, яка відображається

15

Як видно з розрахунку, найбільш ефективним є дзеркальний алюміній аланод, на другому місці полірована нержавіюча сталь. Ціна 1 м^2 та термін придатності всіх матеріалів представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Ціна 1 м^2 та термін придатності матеріалів

Назва матеріалу	Ціна,EUR/м^2	Термін придатності, років
Лавсанова металізована плівка	0,15	0,6
Дзеркальний алюміній аланод	11	50

Полірована нержавіюча сталь	5	50

2.1 *Теплообмінник абсорбера*

Для теплообмінника використовуються стальні труби ГОСТ10704, зовнішнім діаметром $d_{зов}=22$ *мм* та товщиною стінки $\delta_{ст}=1,2$ *мм* [9, 10, 13].

Проведемо теплотехнічний розрахунок теплообмінника.

Для розрахунку приймемо наступні вихідні дані: — швидкість теплоносія $w = 0,1$ м/с; — температура теплоносія на вході $t_{вх} = 60$ °C; — температура теплоносія на виході $t_{вих} = 80$ °C.

Для розрахунку приймемо, що температура теплоносія по всій довжині теплообмінника постійна і дорівнює середній температурі теплоносія.

16

Тоді

$$t_{ср} = \frac{t_{вх} + t_{вих}}{2} \qquad (2.2)$$

$$t_{ср} = \frac{80 + 60}{2} = 70°C$$

Оскільки теплоносієм, що використовується на даний час є вода, то приймемо наступні фізичні властивості води при температури $t_{ср}$:

— теплопровідність води - $c_{70} = 41187$ кДж/(кг · °C); —

густина води - $\rho_{70} = 977{,}8$ кг/м^3;

— кінематична в'язкість води - $\nu_{70} = 0{,}415 \cdot 10^{-6}$ м^2/с; — динамічна в'язкість води $\mu_{70} = 406{,}1 \cdot 10^{-6}$ Па · с

-

;

— коефіцієнт теплопровідності води $\lambda_{70} = 66{,}8 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м · °С)

,

— критерій Прандтля для води

$Pr_{70} = 2{,}55$

. Витрата теплоносія

$$G = \rho \cdot w \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \qquad (2.3)$$

$$G = 977{,}8 \cdot 0{,}1 \cdot \frac{3{,}14 \cdot 0{,}0196^2}{4} = 0{,}03 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Число Рейнольдса розраховується за наступною формулою

$$Re_{ж} = \frac{wd}{\nu}, \qquad (2.4)$$

Тоді

$$Re_{ж} = \frac{0{,}1 \cdot 0{,}0196}{0{,}415 \cdot 10^{-6}} = 4722{,}89.$$

При виконані умови що $10^3 < Re_{ж} < 2 \cdot 10^5$ критерій Нусельта розраховується за наступною формулою

17

$$Nu = 0{,}22 \cdot Re_{ж}^{0.6}, \qquad (2.5)$$

$$Nu = 2{,}22 \cdot 4722{,}89 = 35{,}23.$$

Коефіцієнт тепловідачі

$$\alpha = 35{,}23 \frac{66{,}8 \cdot 10^{-2}}{0{,}0196} = 1200{,}792 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}.$$

При встановлені нових дзеркал з полірованої нержавіючої сталі маємо q=429,8 Вт/м^2 в липні місяці за годину. Визначимо температуру стінки теплообмінника, якщо ми знаємо, що сталеві трубки теплообмінника покриті чорною термостійкою краскою і мають коефіцієнт короткохвильового поглинання A=0,98 та ε=0,88 .

Тоді за допомогою рівняння (2.7) отримаємо температуру стінки.

$$t_c = 100\sqrt[4]{\frac{A \cdot q}{\varepsilon \cdot C_0 \cdot F}}, \qquad (2.7)$$

$$t_c = 100\sqrt[4]{\frac{0{,}98 \cdot 429{,}8}{0{,}88 \cdot 5{,}67}} = 30°\text{C}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі, обумовлений випромінюванням, розраховується за наступним рівнянням:

$$\alpha_в = \frac{q}{t_c - t_{о.с}}, \qquad (2.8)$$

$$\alpha_в = \frac{429{,}8}{30 - 26} = 107{,}45 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot °\text{C}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha}},$$

де - $\lambda_{ст}$ – теплопровідність стінки Вт/(м · °С). Приймаємо $\lambda_{ст} = 22$ Вт/(м · °С), [13].

$$k = \frac{1}{\frac{1}{107{,}45} + \frac{0{,}0012}{22} + \frac{1}{1200{,}792}} = 98{,}097 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot °\text{C}}.$$

Визначимо площу нагріву, яка необхідна

В абсорбері знаходиться 6 сталевих труб, тому $n=6$.

Визначимо необхідну довжину теплообмінника

$$l = \frac{F}{\pi d_{зов} n}, \tag{2.10}$$

$$l = \frac{0,11}{3,14 \cdot 0,022 \cdot 6} = 0,264 \text{ м}.$$

Проводимо аналогічний розрахунок для теплообмінника, який буде виконаний з алюмінієвих труб з зовнішнім діаметром $d_{зов}=25$ *мм* та товщиною стінки $\delta_{ст}=2$ *мм*.

Витрата теплоносія визначається за рівнянням (2.3)

$$G = 977,8 \cdot 0,1 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,021^2}{4} = 0,034 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Число Рейнольдса визначається за рівнянням (2.4)

$$Re_{ж} = \frac{0,1 \cdot 0,021}{0,415 \cdot 10^{-6}} = 5060,24.$$

При виконанні умови що $10^3<Re_{ж}<2 \cdot 10^5$ критерій Нусельта розраховується за формулою (2.5)

$$Nu = 0,22 \cdot 5060,24^{0,6} = 36,72.$$

Коефіцієнт тепловіддачі розраховується за формулою (2.6)

$$\alpha = 36,72 \frac{66,8 \cdot 10^{-2}}{0,021} = 1120,739 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{C}}.$$

Температура стінки теплообмінника розраховується за формулою (2.7)

$$t_c = 100 \sqrt[4]{\frac{0,98 \cdot 429,8}{0,88 \cdot 5,67}} = 30^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі, обумовлений випромінюванням, розраховується за формулою (2.8)

$$\alpha_{в} = \frac{429{,}8}{30-26} = 107{,}45 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{C}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha}},$$

де - $\lambda_{ст}$ – теплопровідність стінки

$l = \frac{F}{\pi d_{вн} n}$, (2.10). Приймаємо

$\lambda_{ст} = 106$ Вт/(м · °С), **[13].**

$$k = \frac{1}{\frac{1}{107{,}45} + \frac{0{,}002}{106} + \frac{1}{1120{,}739}} = 97{,}869 \text{ Вт/(м}^2 \cdot {}^\circ\text{C}).$$

Визначимо площу нагріву, яка необхідна за формулою (2.9)

$$F = \frac{429{,}8}{97{,}869 \cdot 40} = 0{,}11 \text{ м}^2$$

Визначимо необхідну довжину теплообмінника за формулою (2.10)

$$l = \frac{0{,}11}{3{,}14 \cdot 0{,}025 \cdot 6} = 0{,}233 \text{ м}.$$

Головною проблемою на даний час є те, що в теплообміннику використовується неякісний теплоносій, що призводить до значної корозії труб, збільшення теплового опору теплообмінника і зменшення його ефективності. Тому, пропонується використовувати пропіленгліколь. Він більш придатний для використання в сонячних установках, оскільки температура замерзання пропіленгліколю – 60 °С, а температура кипіння 187,4 °С.

Завдяки зміні теплоносія ми можемо збільшити температуру в контурі сонячного концентратора, що збільшить відносний ККД установки, також

більше не буде необхідності встановлювати сонячну установку під кутом для стікання теплоносія, щоб запобігти його замерзанню, тобто це дасть змогу збільшити кількість секцій в ряду. Єдине обмеження буде в гідравлічному опорі установки.

Проводимо розрахунок для обох теплообмінників зі зміненими

18 параметрами та типом теплоносія, також приймемо однакову кількість труб та їх довжину, зробимо порівняння їх ефективності.

Для розрахунку приймемо наступні вихідні дані:

19

— швидкість теплоносія $w = 0{,}1$ м/с ; температура

— теплоносія на вході $t_{вх} = 80\,°C$; температура

— теплоносія на виході $t_{вих} = 120\,°C$.

Для розрахунку приймемо, що температура теплоносія по всій довжині теплообмінника постійна і дорівнює середній температурі теплоносія.

Проведемо аналогічний розрахунок і його результати представимо в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку

Тип матеріалу	Витрата теплоносія Gкг/с	Кількість труб на 1м^2, n, шт.	Довжина труб на 1м^2, *l*, м	Кількість теплоти, Q Вт	Відносна ефективність теплообмінника η %
Сталь ГОСТ 10704 22×1,2 мм	0,03	6	0,133	319,164	74,3
Алюмінієва труба 6060 25×2 мм	0,034	6	0,133	340,024	79,1

Як видно з розрахунку, алюмінієва труба ефективніша на 5,1%, але ціна її на ринку України без врахування ПДВ буде складати 3,7 EUR/кг, що дорожче в 5 разів. Тому, така заміна теплообмінника не є ефективною.

Отже, пропонується змінити тільки теплоносій.

20

2.2 *Розрахунок сонячного концентратора для забезпечення ГВП та* опалення будівлі

В роботі проведений теплотехнічний розрахунок будівлі. Всі тепловтрати та навантаження на опалення та ГВП будуть приведені нижче у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Втрати теплоти приміщення

Найменування приміщення	Теплове навантаження, *Вт*						
	$Q_{ст}$ *Вт*	$Q_{інф}$ *Вт*	$Q_{інф}^{вит}$ *Вт*	$Q_{під}$ *Вт*	$Q_{п.г}$ *Вт*	$Q_{поб}$ *Вт*	$Q_{п}$ *Вт*
Зала	341,063	111,428	-	84,98	8,93	333,9	206,501
Кімната 1	88,65	-	-	84,98	8,93	88,2	94,36
Кімната 2	67,983	165,184	-	84,98	8,93	155,4	171,677
Сан. вузол	133,686	-	637,056	84,98	8,93	67,2	797,452
Коридор	83,437	-	-	84,98	8,93	96,6	80,747
Кухня	325,205	55,714	1044,59	84,98	8,93	252	1267,419

Усього	1040,02	332,326	1681,65	509,88	53,58	993,3	2624,205

Середнє навантаження на опалення $Q_0^{ср} = 0,0,00381_{МВт}$.

Теплове навантаження гарячого водопостачання, середньотижневе для зимового $Q_г^{ср.т}$, $Q_г^{ср.т} = 882,292$ періоду, *МВт* [14].

Вт = 0,001 *МВт*.

Теплове навантаження у зимовий період на добу

21

$$Q_з = Q_0^{ср} \cdot 24 + Q_г^{ср.т},$$

$$Q_з = 0,0,00381 \cdot 24 + 0,001 = 92,54\ кВт = 0,09254 МВт$$

Навантаження на ГВП в літній період за добу складають

$$Q_{г.л}^{ср.д} = 17,271\ кВт = 0,017271\ МВт$$

22

Проведемо розрахунок теплових навантажень для кожного місяця. В залежності від середньої температури, приймемо з розрахунку, що

$q_0 = 1{,}125$ *Вт/м*$^3 \cdot {}^0C$, *V=161,353м*^{3}, $t_в = 20°C$, $t_з^{ср} = -1°C$.

Тепловтрати теплопередачею через зовнішні огородження будівлі, *МВт* [14].

$$Q_o^{'} = q_o \cdot V(t_{в.р} - t_{з.о}), \tag{2.11}$$

де $q_0 -$ питомі тепловтрати теплопередачею через зовнішні огородження, *Вт/м*$^{3.0}C$;

V- зовнішній об'єм будівлі, *м*^{3} $t_{з.о} -$ температура зовнішнього повітря,

°*C*; $t_{в.р} -$ внутрішня температура, °*C*;

Проведемо розрахунок для жовтня місяця згідно метеорологічних даних $t_{з.о} = 7{,}3$ °*C*.

Тоді

$Q_0^{'} = 1{,}125 \cdot 161{,}353(20 + 7{,}3) = 2305{,}331$ Вт = 0,0023 *МВт*.

Проведемо розрахунок для кожного місяця опалювального періоду, результати занесемо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку тепловтрат теплопередачею через зовнішні огородження будівлі

Параметр	Жовтень	Листопад	Грудень	Січень	Лютий	Березень	Квітень
$t_{з.о}, {}^0C$	7,3	1,9	-1,4	-5,1	-4,6	0,5	7,4
$Q_0^{'}, Вт$	2305,33	3285,55	3884,57	4556,2	4465,4	3539,68	2287,17

Q, к*Вт/доб*	56,428	79,953	94,33	110,45	108,27	86,052	55,992

Визначимо загальні витрати на опалення та ГВП на добу для кожного місяця

$$Q = Q_0^{'} \cdot \tau + Q_г^{ср.т} \quad (2.12)$$

23

$$Q = 2305{,}33 \cdot 24 + 882{,}292 = 56{,}428 \frac{кВт}{доб}.$$

Результати представимо у вигляді діаграми (рисунок 2.3).

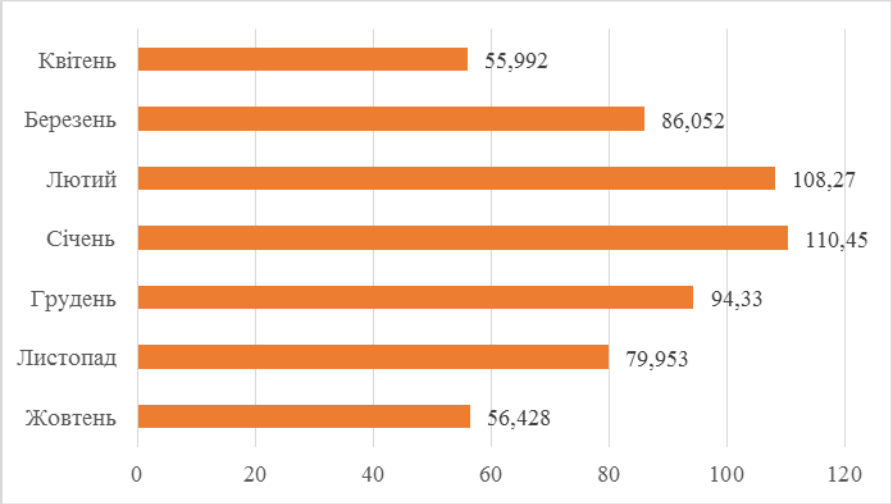


Рисунок 2.3 – Витрата теплоти на опалення та ГВП на добу

Розрахуємо тепловий акумулятор в залежності від добового навантаження системи опалення та ГВП

$$V = \frac{Q}{c\Delta t'} \quad (2.13)$$

де с – теплоємність води;

$$V = \frac{56{,}428 \cdot 10^3 \cdot 3600}{4200 \cdot (90 - 70)} = 2{,}418 \text{ м}^3.$$

Проведемо розрахунок для кожного місяця. Результати представлені в таблиці 2.6

Таблиця 2.6 – Об’єм теплоакумулятору для кожного місяця

	Жовтень	Листопад	Грудень	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Літні навата ж.
V, $м^3$	2,418	3,427	4,043	4,734	4,64	3,688	2,4	0,74

Визначимо кількість секцій, яка необхідна для кожного місяця, якщо площа дзеркал кожної секції $F_{дз}$=3,2 $м^2$.

25

$$n = \frac{Q}{Q_c}, \qquad (2.14)$$

де Q - загальні витрати теплоти на опалення та ГВП на добу, к*Вт/доб*;

Q_c – потужність сонячного концентратора з врахуванням його ефективності, *кВт*

$$Q_c = (I_{інс} \cdot \eta_к) \cdot F_к,$$

де $I^c_{інс}$ - середньомісячний рівень сонячної радіації (кВт/м²/добу);

η - ККД концентратора ;

$F_{дз}$ – корисна площа дзеркал.

$$Q^c_p = (1{,}21 \cdot 0{,}743) \cdot 3{,}2 = 2{,}877_{кВт/день.}$$

Проведемо розрахунок для кожного місяця. Результати представимо у вигляді діаграми (рисунок 2.4)

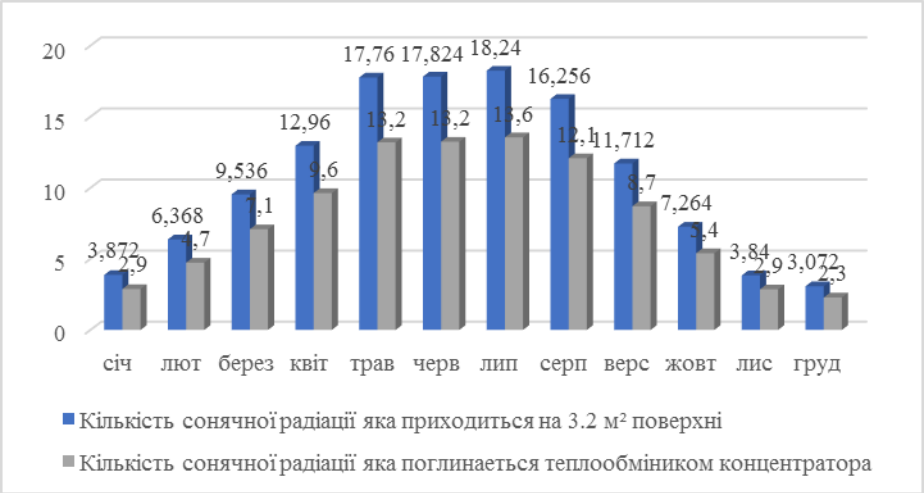


Рисунок 2.4 – Результати розрахунку потужності сонячного

концентратору Кількість секцій яка необхідна для січня місяця

$$n^{січ}_{сек} = \frac{110{,}45}{2{,}9} = 38 \text{ шт.}$$

Проведемо аналогічний розрахунок для кожного місяця, результати занесемо в таблицю 2.7

26

Таблиця 2.7 – Кількість секцій сонячного концентратора

Місяць	Кількість, шт.
Січень	38
Лютий	23
Березень	12
Квітень	6
Травень	1
Червень	1
Липень	1
Серпень	1
Вересень	2
Жовтень	10
Листопад	28
Грудень	41

Приймемо, що об’єм теплоакумулятора дорівнює

$$V_{ср} = \frac{\sum V}{n}, \qquad (2.15)$$

$$V_{ср} = \frac{2{,}418 + 3{,}427 + 4{,}043 + 4{,}734 + 4{,}64 + 3{,}688 + 2{,}4 + 0{,}74}{8} = 3{,}261 \text{ м}^3.$$

Приймемо об’єм теплоакумулятораV=3$м^3$.

Кількість енергії, яку здатний акумулювати такий бак, буде дорівнювати

$$Q_б = \frac{V \cdot 1000 \cdot c \cdot \Delta t}{3600},$$

$$Q_б = \frac{3 \cdot 1000 \cdot 4200 \cdot 20}{3600} = 70 \text{ кВт}.$$

Така кількість теплоти покриває потребу в січні місяці на

27

$$\gamma = 100 - \left[\frac{Q_c - Q_б}{Q_б}\right] \cdot 100 = 42\%.$$

Приймаємо кількість секцій таку, щоб у самий холодний місяць року вони були здатні нагріти теплоакумулятор.

28

$$n_{\text{сек}} = \frac{Q_{\text{б}}}{Q_p^c},$$

$$n_{\text{сек}} = \frac{70}{2{,}877} = 24.$$

Визначимо реальну кількість теплоти, яку виробляють сонячні концентратори. Згідно метеорологічних даних визначимо кількість сонячних та похмурих днів в місяці. Для спрощення розрахунку приймемо, що в місяці постійно z=30 діб, також, що в сонячний день кількість сонячної радіації -100%, в хмарний день - 50%, в похмурий день - 0%.

Кількість сонячних та похмурих днів кожного місяця представимо у вигляді діаграми (рисунок 2.5).

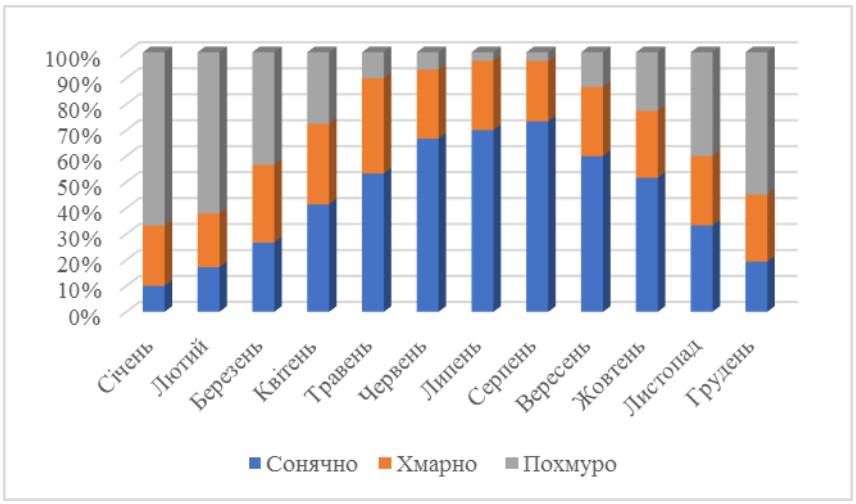


Рисунок 2.5 – Сонячні, хмарні, похмурі дні для кожного місяця

Проведемо розрахунок рівня сонячної радіації, враховуючи дані

погоди за формулою

$$I_{\text{р}}^{\text{м}} = I_c \cdot n_{\text{сон}} + I_c \cdot n_{\text{хм}}, \frac{\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}}{\text{міс}}.$$

Проведемо перерахунок для кожного місяця і результати розрахунку представимо у вигляді діаграми (рисунок 2.6). 29

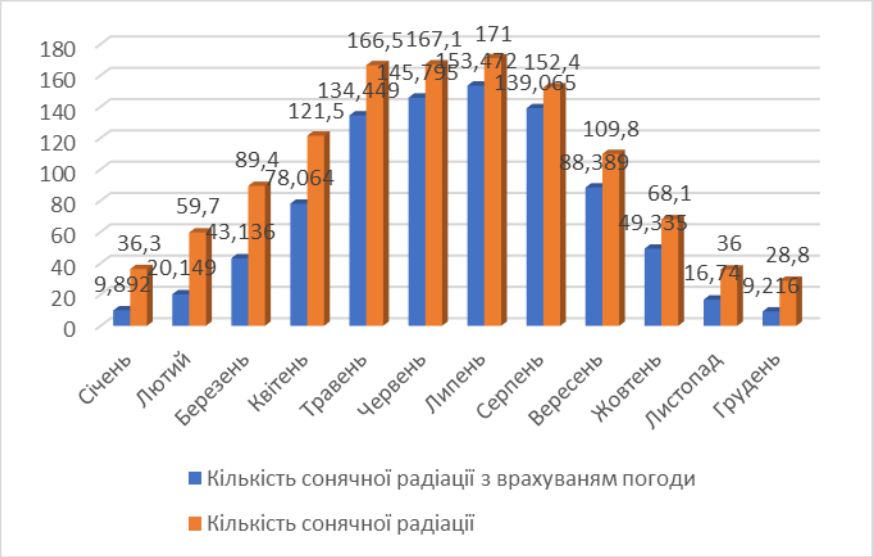


Рисунок 2.6 – Реальна кількість сонячної радіації з врахуванням погоди

Визначимо кількість енергії, яку здатний поглинати сонячний концентратор при реальному рівні сонячної радіації

$$Q_p^{c'} = (9{,}892 \cdot 0{,}743) \cdot 3{,}2 \cdot 24 = 564{,}447_{кВт/міс.}$$

Визначмо відсоток покриття потреб в тепловій енергії

$$\delta = \frac{Q_p^{c'}}{Q_c \cdot z} \cdot 100,$$

$$\delta = \frac{564{,}447 \cdot 10^3}{3{,}313 \cdot 10^6 \cdot 30} \cdot 100 = 17\%.$$

Проведемо аналогічний розрахунок для інших місяці року. Результати розрахунку занесемо до таблиці 2.8.

Після проведення розрахунку, було визначено, що з травня місяця по жовтень є великий надлишок теплоти, але завдяки конструкції сонячного концентратора в різну пору року є можливість використовувати різну кількість дзеркал, але змінювати щомісячно кількість дзеркал не є

30 ефективним рішенням. Розіб'ємо рік на 4 періоди і для кожного періоду визначимо кількість секцій:

I- грудень - лютий $n_{сек}$ =60 шт.;

II – березень - квітень $n_{сек}$ =9 шт.;

31

ІІІ- травень – вересень $n_{сек}$ =1,5 шт.;

ІV– жовтень – листопад $n_{сек}$

=15 шт.

Таблиця 2.8 – Відсоток покриття потреб будівлі в тепловій енергії

Місяць	Кількість енергії, яку здатні поглинати 24 секції, *кВт/міс*	Відсоток покриття потреб в тепловій енергії, %
Січень	564,447	17
Лютий	1149,736	35
Березень	2461,415	96
Квітень	4454,505	100
Травень	7671,968	-
Червень	8319,398	-
Липень	8757,509	-
Серпень	7935,383	-
Вересень	5043,688	-
Жовтень	2815,174	166
Листопад	955,225	40
Грудень	525,887	19

Проведемо розрахунок для кожного періоду.

Визначимо кількість енергії, яку здатний поглинати сонячний концентратор при реальному рівні сонячної радіації

$$Q_p^{c'} = (9{,}892 \cdot 0{,}743) \cdot 3{,}2 \cdot 60 = 1411_{кВт/міс.}$$

Визначимо відсоток покриття потреб в тепловій енергії

32

$$\delta = \frac{Q_p^{c'}}{\mathrm{Q}_c \cdot z} \cdot 100\,,$$

33

$$\delta = \frac{1411 \cdot 10^3}{3{,}313 \cdot 10^6 \cdot 30} \cdot 100 = 43\%.$$

Проведемо аналогічний розрахунок для інших місяців.

Результати розрахунку занесемо в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 – Результати розрахунку

Місяць	Кількість енергії, яку здатні поглинати n секції, *кВт/міс*	Відсоток покриття потреб в тепловій енергії,%
Січень	1411	43
Лютий	2874,34	88
Березень	923,031	36
Квітень	1670,439	99
Травень	479,498	93
Червень	519,962	100
Липень	547,344	106
Серпень	519,962	96
Вересень	315,231	61
Жовтень	1759,483	104
Листопад	597,015	25
Грудень	1315	46

Результати представимо у вигляді діаграми (рисунок 2.7)

34

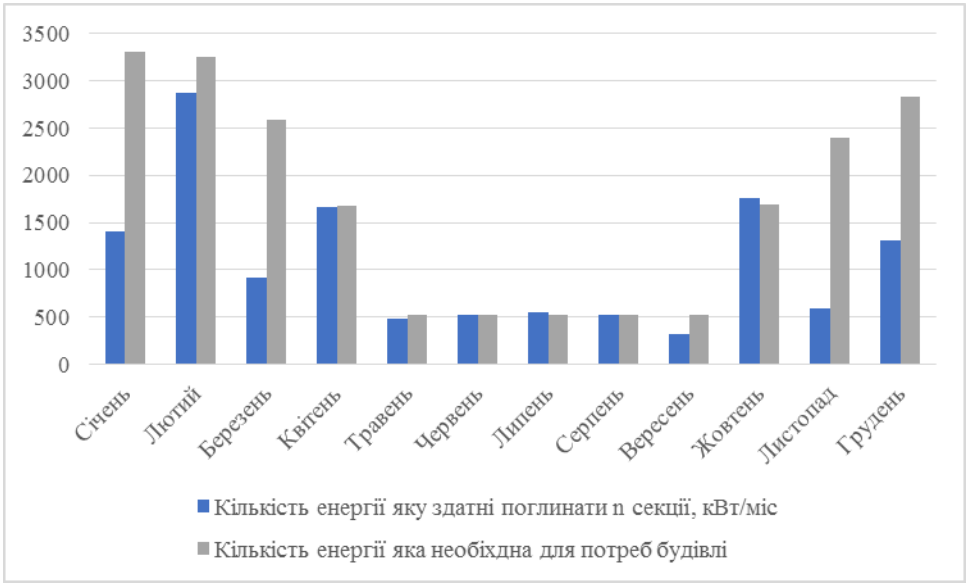


Рисунок 2.7 – Покриття потреб в тепловій енергії будівлі

Зробимо розрахунок щомісячної економії палива

$$= \frac{\delta \cdot Q_{річГВП}}{Q^{н} \cdot \eta_{кот}}, \quad (2.16)$$

де δ – коефіцієнт заміщення палива або місячна частина сонячної енергії в покритті теплового навантаження ГВП.

$Q_c^{міс.}$ – місячна витрата теплоти на потреби будівлі, *кВт*;

η – ККД теплогенератора. Приймаємо $\eta_{кот} = 0,9$.

$Q_н^р$ – нижча теплота згорання природного газу, $МДж/м^3$.

Приймаємо $Q_н^р = 36,4\ МДж / м^3$.

$$B = \frac{0{,}43 \cdot 3{,}313 \cdot 10^6 \cdot 3600}{36{,}4 \cdot 0{,}9} = 155{,}068\,м^3.$$

Проводимо розрахунок для інших місяців та визначаємо річну

35 економію палива. Результати розрахунків представимо у вигляді діаграми (рисунок 2.8)

36

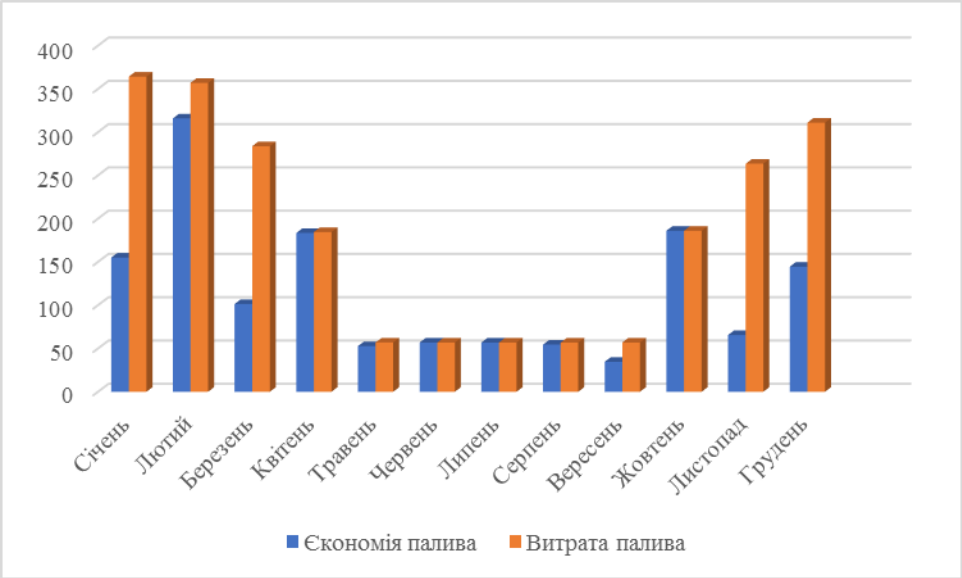


Рисунок 2.8 – Річна економія

палива Річна економія палива складе

$$B_{\text{е}}^{\text{річ}} = 1407{,}665 \text{ м}^3.$$

Річна витрата палива без сонячних концентраторів

$$B_{\text{вит}}^{\text{річ}} = 2334{,}448 \text{ м}^3.$$

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки: завдяки заміні матеріалу, з якого виготовляються дзеркала сонячного колектора-концентратора, нам вдалося збільшити його ефективність на 15%. Заміна матеріалу, з якого виготовляється теплообмінник та заміна теплоносія, не дали такого великого приросту ефективності. Вона склала лише 5,1 % , але ціна на виготовлення теплообмінника зросла в 5 раз, тому було прийнято рішення, що таке вдосконалення не є ефективним. Заміна теплоносія на пропіленгліколь дала змогу збільшити кількість секцій за рахунок того, що температура його замерзання набагато нижче води, тому встановлювати концентратори під кутом, більше немає сенсу, також це дало змогу збільшити робочу температуру колектора-концентратора завдяки більшій температурі кипіння.

Впровадження сонячних концентраторів для опалення та ГВП приватної житлової будівлі дало змогу заощадити 1407,665 $м^3$ природнього газу на рік.

37

$$\alpha = Nu\frac{\lambda}{d}, \qquad (2.6)$$

ВИСНОВКИ

В даній роботі досліджується сонячний колектор-концентратор, проводиться його вдосконалення з метою використання для ГВП та опалення приватного житлового будинку.

В розділі «Постановка задачі, вибір методів дослідження» проведений аналіз установки вже існуючого сонячного колектораконцентратора, визначено його основні характеристики, описані деякі складники концентратора і приведені їх переваги та недоліки.

В результаті проведених досліджень зроблено вдосконалення сонячного колектора-концентратора. Для збільшення його ефективності та подовження терміну експлуатації досліджено можливість застосовування інших матеріалів для дзеркала концентратора. Також проведений підбір матеріалу для виготовлення теплообмінника абсорбера.

Проведені дослідження показали, що заміна матеріалу теплообмінника абсорбера не є ефективним рішення. Завдяки розрахунку прийнято рішення замінити теплоносій для колектораконцентратора.

Вдосконалення сонячного концентратора дало змогу збільшити його ефективність на 15% і збільшити термін експлуатації дзеркал. Розроблена сонячна установка впроваджена для опалення та ГВП приватної будівлі. Це дало змогу заощадити 1407,665 м^3 природнього газу на рік.

Список використаних джер

Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической технологии / А. Н. Плановский, В. М. Рамм, С. З. Каган. — М.: Химия, 1967. — 847 с.

16

17

$$\alpha = Nu\frac{\lambda}{d}, \qquad (2.6)$$

Петухов Б. С., Генин Л. Г.,

Ковалев С. А. Теплообмен в ядерных энергетических установках, — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 470 с.

Делайе Дж., Гио М., Ритмюллер М. Теплообмен и гидродинамика в атомной и тепловой энергетике. /Пер. с англ. Под ред.

П. Л. Кириллова. — М.: Энегоатомиздат, 1984. — 422 с. Солнечные коллекторы и их типы [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://solarled.com.ua/solnechnye-kollektory-i-ih-vidy.htm

Найбільша в світі геотермальна електростанція Австралії [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/2600- krupnejshaya-vmiregeliotermalnaya-elektrostantsiya-budet-postroena-vavstralii.htm

Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф (станом на 31.03.2020) [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://saee.gov.ua/sites/default/files/Information%20RES%20in