

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА



МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

«СОНЯЧНА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА»

*(для студентів усіх форм навчання спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
освітньої програми «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2021

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Сонячна теплоенергетика» (для студентів усіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньої програми «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : О. В. Сенецький, Я. Б. Форкун, О. О. Шкурпела. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 28 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. О. В. Сенецький,
канд. техн. наук, доц. Я. Б. Форкун,
О. О. Шкурпела

Рецензент

Д. В. Тугай, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою альтернативної електроенергетики та електротехніки, протокол засідання № 8 від 28 січня 2021 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1. ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ КОЛЕКТОРА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ....	7
2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОЛЕКТОРА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІД ІНТЕНСИВНОСТІ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	13
3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОЛЕКТОРА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІД ШВИДКОСТІ ЦИРКУЛЯЦІЇ ТЕПЛОНОСІЯ.....	17
4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОЛЕКТОРА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІД КУТА ПАДІННЯ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ.....	21
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	26
ДОДАТКИ.....	27

ВСТУП

Використання нетрадиційних (альтернативних) джерел енергії актуальне для всіх країн світу. Для розвинених країн, що імпортують паливно-енергетичні ресурси, – це забезпечення енергетичної безпеки; для розвинених країн, що мають свої запаси палива, – поліпшення екологічної ситуації; для країн, що розвиваються, – спосіб поліпшити соціально-побутові умови мешкання населення. Ці джерела енергії розглядають як істотне доповнення до традиційних. На теперішній час використання відновлюваних видів енергії придбало відчутні масштаби і стійку тенденцію до росту.

Альтернативне джерело енергії є відновлюваним ресурсом. Відновлювані ресурси – природні ресурси, запаси яких або відновлюються швидше, ніж використовуються, або не залежать від того, використовуються вони чи ні, тобто енергія отримується з практично невичерпних природних ресурсів і явищ. Традиційні джерела енергії функціонують на нафті, природному газі та вугіллі, тобто на невідновлюваних ресурсах, запаси яких можуть бути вичерпані вже найближчим часом при існуючих темпах використання. До того ж ці ресурси при згорянні виділяють в атмосферу вуглекислий газ, що сприяє зростанню парникового ефекту і глобальному потеплінню. Альтернативні джерела таким чином представляють інтерес через вигідність їх використання при низьких ризиках заподіяння шкоди навколишньому середовищу.

В сучасній світовій практиці до відновлюваних джерел енергії відносять: гідро, сонячну, вітрову, геотермальну енергії, енергію морських течій, хвиль, припливів, температурного градієнта морської води, різниці температур між повітряною масою і океаном, тепла Землі, біомасу тваринного, рослинного і побутового походження.

Серед відновлюваних джерел енергії сонячна радіація за розмірами ресурсів і поширеності найбільш значуща, тому розвиток геліоенергетики є найбільш перспективним.

Геліоенергетика, або сонячна енергетика – галузь альтернативної енергетики, що заснована на безпосередньому використанні сонячного випромінювання для отримання електричної або теплової енергії в будь-якому зручному для їх застосування вигляді. За характером використовуваного обладнання і принципами отримання енергії геліоенергетику можна розділити на два основних види: сонячну фотоенергетику та сонячну теплоенергетику. Останній вид геліоенергетики пов'язаний з перетворенням сонячної енергії в теплову з подальшим використанням в системах гарячого водопостачання та опалення приміщень, а також з непрямим отриманням електроенергії шляхом концентрації ра-

діації за допомогою дзеркал для перетворення води в пару і подальшого використання пари для генерування електрики звичайними способами.

Метою викладання навчальної дисципліни «Сонячна теплоенергетика» є формування у студентів належного рівня знань про аспекти сучасної сонячної теплоенергетики для подальшого застосування цих знань при виконанні виробничих завдань, безпосередньо пов'язаних з їхнім фахом.

Ці методичні рекомендації складені відповідно до програми курсу «Сонячна теплоенергетика» для студентів усіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньої програми – «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії» та призначені для виконання лабораторних робіт, тематика яких охоплює головні положення, зазначені в робочій навчальній програмі цього курсу. У лабораторних роботах досліджують теплові колектори сонячної енергії. Стислий огляд теоретичного матеріалу, що наводиться у підрозділі «Загальні відомості» кожної лабораторної роботи, дасть змогу студентам підготуватися до її виконання та отримати чітку уяву про фізичні основи досліджуваних явищ.

Усі лабораторні роботи студенти виконують на навчально-дослідницьких лабораторних стендах «Лабораторний стенд з дослідження раціонального використання енергії Сонця колектором сонячної енергії». Кожна робота має кілька етапів, а саме: підготовка, виконання експерименту, обробка даних, оформлення звіту та захист роботи.

Правила безпеки в лабораторії

До виконання лабораторних робіт допускають студентів, які пройшли інструктаж. З огляду на те, що обладнання лабораторії, зокрема стенди й вимірювальні прилади, під'єднанні до мережі 220 В, варто дотримуватися певних правил безпеки.

Під час роботи в лабораторії забороняється:

- самостійно включати вилки випромінювача у мережу;
- торкатися ламп випромінювача;
- залишати без нагляду стенд і вимірювальні прилади.

У разі пошкодження стенду або випромінювача, слід негайно вимкнути їх від мережі живлення та сповістити про це викладача.

Після закінчення роботи на стенді, необхідно вимкнути живлення випромінювача та вимірювальних приладів й провести візуальний огляд системи.

Порядок виконання лабораторних робіт

Роботу в лабораторії проводять відповідно до планів аудиторних занять. Звичайно робота триває чотири аудиторні години. За цей час студент має виконати роботу, оформити звіт з неї та скласти залік за темою роботи.

Під час першого заняття студенти формують бригади у кількості 3–4 особи. Перед тим, як приступити до виконання роботи, студент отримує допуск, який свідчить про те, що він підготовлений до занять, тобто ознайомився з теоретичним матеріалом, підготував таблиці для занесення експериментальних даних тощо. Під час проведення експерименту студент не повинен залишати своє робоче місце та виходити з лабораторії без дозволу викладача. Після закінчення кожного досліду одержані експериментальні дані для контролю показують викладачеві. У разі некоректних результатів експеримент потрібно повторити.

Порядок оформлення звіту про виконану лабораторну роботу

Звіт виконується у зошитах або на аркушах паперу формату А4. Електричні схеми та графічна частина роботи (графіки залежності та діаграми, що є результатами дослідів або обчислень) виконуються згідно з державними стандартами. Звіт із кожної роботи починається з нової сторінки. Після закінчення вивчення курсу звіти залишаються у викладача.

Зразок титульного аркуша зошита, що містить звіти з лабораторних робіт, наведено у додатку А.

Звіт про лабораторну роботу має містити:

- назву роботи;
- мету роботи;
- перелік приладів, обладнання та елементів;
- повинні бути послідовно викладені назва, принципова схема досліджуваного кола, результати дослідження (таблиці, графіки, розрахункові формули й обчислення) за всіма дослідженнями;
- висновки.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ

КОЛЕКТОРА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Мета роботи:

- отримати загальні поняття з принципу дії та особливостей роботи колекторів сонячної енергії;
- навчитися визначати основні елементи систем теплопостачання житлового будинку та знати їх призначення.

Обладнання та прилади:

- навчально-дослідницький лабораторний стенд «Лабораторний стенд з дослідження раціонального використання енергії Сонця колектором сонячної енергії» (ЛС ВЕС КС);
- випромінювач.

1.1 Підготовчий етап лабораторної роботи

Підготовчий етап включає вивчення теоретичного матеріалу з джерел, представлених наприкінці методичних рекомендацій.

1.2 Загальні відомості

Сонячна енергія є одним з видів відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), яка може бути перетворена у теплову, механічну або електричну енергію. Серед існуючих ВДЕ сонячна радіація за своїм потенціалом найбільш значуща, тому розвиток геліоенергетики є найбільш перспективним. На сучасному етапі розвитку геліоустановки використовуються у системах обігріву та охолодження приміщень різного призначення все більш інтенсивно. Саме тому дуже важливим є розуміння процесів, що протікають в установках такого типу, та вміння налаштувати їх роботу найбільш раціонально.

Лабораторна установка «Лабораторний стенд з дослідження раціонального використання енергії Сонця колектором сонячної енергії» (ЛС ВЕС КС) має зовнішній вигляд та комплектацію, які наведені на рисунку 1.1.

Схема стенду з дослідження раціонального використання енергії Сонця колектором сонячної енергії представлена на рисунку 1.2.

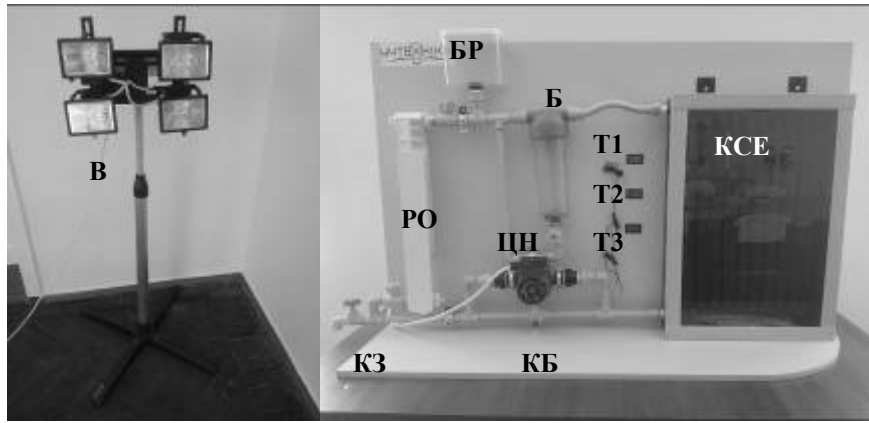


Рисунок 1.1 – Комплектація стенду з дослідження раціонального використання енергії Сонця колектором сонячної енергії (ЛС ВЕС КС):

КСЕ – колектор сонячної енергії; РО – радіатор опалення; Б – бак акумулятор; ЦН – циркуляційний насос; БР – бак розширювач; КБ – кран байпас; КЗ – кран зливу теплоносія; Т1, Т2, Т3 – термометри; В – випромінювач (імітує Сонячне випромінювання)

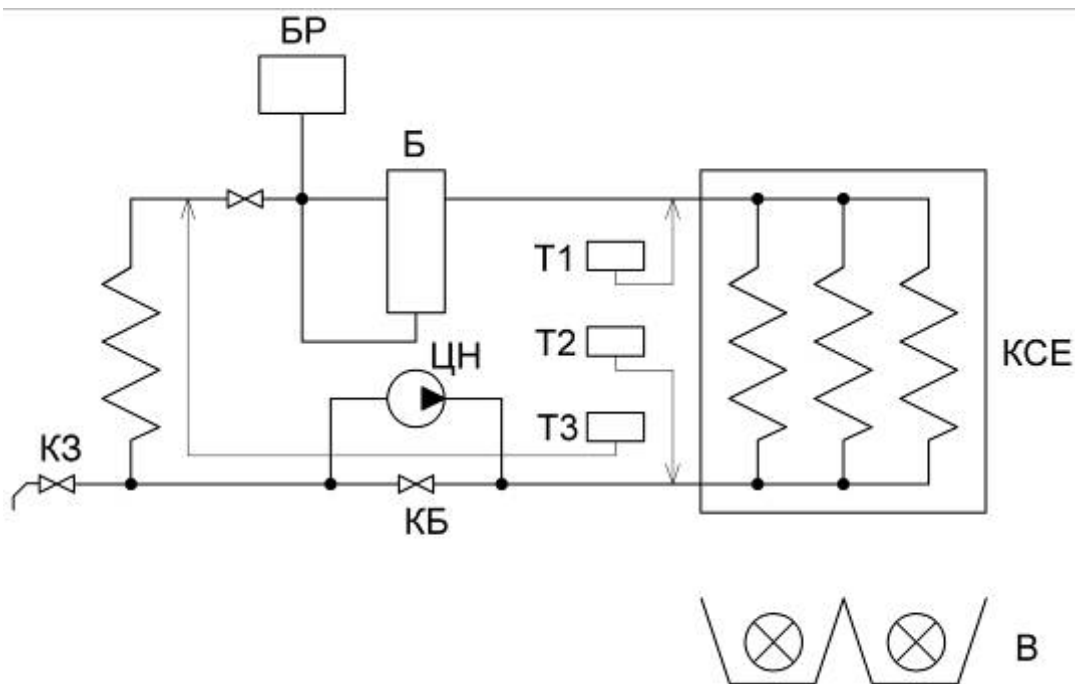


Рисунок 1.2 – Схема стенду з дослідження раціонального використання енергії Сонця колектором сонячної енергії (ЛС ВЕС КС)

Складові стенду виконують такі функції:

– колектор сонячної енергії (КСЕ) – основний елемент стенду, який перетворює променисту енергію Сонця (випромінювача) в теплову енергію та накопичує її в теплоносії, що циркулює по трубах гідравлічної системи стенду; в лабораторну установку входить плоский сонячний колектор, як найбільш пошире-

ний тип сонячних колекторів, застосовуваних для підігріву води і підтримки опалення;

- радіатор опалення (РО) призначений для розсіяння теплової енергії, яка була отримана в КСЕ, в атмосферу приміщення, чим здійснює його опалення;

- бак акумулятор (Б) призначений для акумуляції теплової енергії та можливого гарячого водопостачання житлового будинку; на практиці є теплоізованим баком, який сполучений з сонячним колектором; за добу вода з баку може кілька разів проходити через колектор, нагріваючись до розрахункового рівня температури, залежного від співвідношення між об'ємом бака і площею сонячного колектора, а також від кліматичних умов;

- циркуляційний насос (ЦН), який має три швидкості роботи, здійснює циркуляцію теплоносія по трубах гідравлічної системи стенду, тобто в замкнутому контурі сонячний колектор – бак – радіатор опалення – сонячний колектор;

- бак розширювач (БР) призначений для створення тиску теплоносія в гідравлічній системі та компенсації зміни обсягів теплоносія в результаті зміни його температури; через розширювальний бачок відбувається також наповнення колектора рідиною теплоносія;

- кран байпас (КБ) відповідно до стану роботи насоса створює обвідний шлях циркуляції теплоносія в разі зупинки насоса; якщо він відкритий, то маємо систему з природною циркуляцією теплоносія, а якщо він закритий (4 лабораторна робота) – систему з примусовою циркуляцією теплоносія;

- кран зливу теплоносія (КЗ), який відкривається при зливів його;

- термометри здійснюють фіксацію температури в характерних точках гідравлічної системи стенду (T_1 – на виході колектора сонячної енергії, T_2 – на вході в колектор сонячної енергії, T_3 – на радіаторі опалення);

- випромінювач (В) створює випромінювання за своїм спектром максимально наближене до спектру випромінювання Сонця.

Сонячний колектор складається з сукупності елементів, які пов'язані між собою. На першому етапі дуже важливим є визначення цілісності теплової схеми шляхом перевірки наявності теплоносія у системі та відсутності його витікання через можливі нещільності у місцях з'єднання елементів. Після візуального огляду, який показав цілісність системи, необхідно наочно перевірити працездатність відсічних засувок (кранів). Перед запуском ЦН упевнитися, що засувки у термодинамічному циклі відімкнені та не перешкоджають переміщенню теплоносія по системі. На наступному етапі перевіряється робота циркуляційного насоса шляхом його включення, якщо насос працює без сторонніх

звуків, це говорить про його нормальне функціонування. При включеному ЦН знову проводиться огляд на можливу наявність протікань, при їх відсутності роботу можна продовжувати.

Важливим є те, що перед запуском систем теплопостачання необхідно упевнитися про щільність системи шляхом проведення гідравлічних випробувань. В залежності від вимог, теплову схему на одну-дві доби ставлять під тиск, що перевищує номінальний в 1,1–1,3 рази. Це дозволить усунути можливі недоліки перед запуском системи та працювати їй без пошкоджень у подальшому для забезпечення гарячого водопостачання влітку та/або опалення в зимовий період.

1.3 Порядок виконання роботи

1.3.1 Ознайомитися з конструкцією плоского колектора сонячної енергії простої конструкції. Визначити його переваги та недоліки. Обрахувати геометричні розміри колектора, визначити його технічні характеристики.

1.3.2 Ознайомитися з конструкцією та характеристиками випромінювача, визначити його технічні характеристики.

1.3.3 Ознайомитися з конструкцією та принципом дії системи теплопостачання житлового будинку та системи гарячого водопостачання, визначити технічні характеристики елементів системи теплопостачання та гарячого водопостачання.

1.3.4 Запустити стенд в тестовому режимі та впевнитись, що усі елементи працюють відповідно свого призначення.

1.3.5 За результатами роботи заповнити технічний формуляр елементів стенду (табл. 1.1) та накреслити в звіті з лабораторної роботи схему стенду з дослідження раціонального використання енергії Сонця колектором сонячної енергії (рис. 1.2).

Таблиця 1.1 – Технічний формуляр елементів лабораторного станду

Елемент	Технічні характеристики		
Колектор сонячної енергії	Геометричні розміри В×Ш×Г, мм	Об'єм теплоносія, л	
	66 × 46 × 11	4,5	
Випромінювач	Споживана потужність, Вт	Потужність випромінювання, Вт	
	500–2 000	250–1 000	
Насос	Споживана потужність, Вт	Продуктивність м ³ /год	Тиск, МПа
	46; 67; 93	0,1–3	0,15
Радіатор опалення	Геометричні розміри В×Ш×Г, мм	Потужність тепловіддачі, Вт	
	45 × 7 × 7	≈200	
Гідравлічна система	Об'єм теплоносія, л	Тип теплоносія	
	4,5	Тосол	

ВИСНОВКИ

За результатами виконаних досліджень зробити висновки щодо цільності теплової схеми та можливості її подальшого функціонування. Дати обґрунтування щодо необхідності проведення заходів з техніки безпеки та можливих наслідків недотримання їх.

Контрольні запитання

1. Від чого залежить розмір колектора сонячної енергії?
2. Яка рідина використовується у якості теплоносія і чому?
3. Для чого призначений бак-акумулятор?
4. Для чого призначений бак-розширювач?
5. Що таке візуальний огляд і для чого він потрібен?
6. З якою метою проводиться гідравлічне випробовування системи?
7. Для чого потрібен циркуляційний насос?

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОЛЕКТОРА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІД ІНТЕНСИВНОСТІ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мета роботи:

- дослідити ефективність роботи колектора сонячної енергії при різних значеннях сонячного випромінювання;
- побудувати характерні залежності.

Обладнання та прилади:

- навчально-дослідницький лабораторний стенд «Лабораторний стенд з дослідження раціонального використання енергії Сонця колектором сонячної енергії» (ЛС ВЕС КС);
- випромінювач.

2.1 Підготовчий етап лабораторної роботи

Підготовчий етап включає вивчення теоретичного матеріалу з джерел, представлених наприкінці методичних рекомендацій.

2.2 Загальні відомості

Сонце безперервно випромінює значну кількість енергії, але тільки мала частина його досягає Землі. Цієї частини енергії сонячного випромінювання може бути достатньо для покриття потреб людства в енергії на цілий рік. Частина сонячної енергії, що надходить до Землі поглинається атмосферою або відбивається назад до космосу, тому вона не може бути використана у повному обсязі.

Щільність потоку сонячної енергії, що потрапляє на сприймаючу поверхню, має досить змінний характер. Це залежить від району розташування сонячного колектору, пори року, зміни кліматичних умов на протязі доби та інше.

Інтенсивність сонячного випромінювання – потужність випромінювання Сонця на одиницю площі поверхні, вимірюється у ватах на квадратний метр ($\text{Вт}/\text{м}^2$). Цей показник, як було сказано раніше, змінюється у досить широкому діапазоні значень (від $50 \text{ Вт}/\text{м}^2$ за умови сильної хмарності до $1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$ при ясному небі). З метою підрахунку кількості сонячного випромінювання, яке перетворюється в теплову енергію, необхідно також враховувати його тривалість. Тому сумарною енергією сонячного випромінювання є потужність за обраний період (проміжок) часу, вимірюється як ват-година ($\text{Вт}\cdot\text{год}$). За період часу обирають, наприклад, – день, місяць, рік, і т. д. Для України максимальне добове сумарне сонячне випромінювання становить близько $8 \text{ (кВт}\cdot\text{год)}/\text{м}^2$ в лі-

тній період. У зимовий період, в сонячний день, сумарне сонячне випромінювання іноді може сягати значення до 3 (кВт·год)/м².

Що стосується території України, то сумарне середньорічне сонячне випромінювання, за даними тривалих спостережень, варіюється від 1000 (кВт·год)/м² в північній і центральній частині країни до 1350 (кВт·год)/м² на Кримському півострові та південній частині Одеської області. Реальний розподіл сумарної енергії сонячного випромінювання за різними місяцями може відрізнятися від середнього значення на 50 % в залежності від року. Саме тому впровадження сонячних колекторів потребує попереднього детального аналізу інтенсивності сонячного випромінювання для місцевості, що розглядається, за останні роки. Такий підхід дозволить максимально ефективно використовувати теплотехнічне устаткування протягом усіх наступних років та максимально швидко окупити встановлене обладнання.

2.3 Порядок виконання роботи

2.3.1 Підготувати формуляр (табл. 2.1), необхідний для реєстрації результатів експерименту.

2.3.2 Виконати візуальний огляд стенду на наявність підтікань та наповненості теплоносієм, наявності показань на термометрах.

2.3.3 Увімкнути одну лампу випромінювача та спрямувати його під прямим кутом падіння променів на колектор.

2.3.4 Впродовж 20 хвилин кожні дві хвилини знімати показання термометрів T_1 , T_2 , T_3 . Результати занести до таблиці 2.1.

2.3.5 По завершенні двадцятихвилинного циклу вимірювань увімкнути ще одну лампу випромінювача та подовжити цикл вимірювань аналогічним чином впродовж наступних 20 хвилин.

2.3.6 Аналогічно провести цикл вимірювання температури для трьох, а потім для чотирьох ламп випромінювача. Результати занести до таблиці 2.1.

2.3.7 За даними таблиці 2.1 розраховувати значення різниці температур на виході та вході колектора $\Delta T = T_1 - T_2$. Отримані результати занести до таблиці 2.1.

2.3.8 За даними таблиці 2.1 побудувати характерні залежності при поступовому збільшенні інтенсивності випромінювання (кількості ввімкнених ламп):

– зміни температури теплоносія на виході $T_1 = f(t)$ колектора сонячної енергії;

– зміни температури теплоносія на вході $T_2 = f(t)$ колектора сонячної енергії;

– зміни температури на радіаторі $T_3 = f(t)$;

– зміни різниці температур на виході та вході колектора $\Delta T = f(t)$.

На рисунку 2.1 представлений приклад графіку залежності зміни температури теплоносія на виході колектора від часу, $T_1 = f(t)$, при поступовому збільшенні інтенсивності випромінювання через кожні 20 хвилин. На графіку ці проміжки часу (20 хв) обмежені вертикальними лініями.

Таблиця 2.1 – Значення температури в контрольних точках гідравлічної системи стенду та різниці температур в залежності від інтенсивності сонячного випромінювання

Час, хв	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1 лампа	$T_1, ^\circ\text{C}$										
	$T_2, ^\circ\text{C}$										
	$T_3, ^\circ\text{C}$										
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$										
Час, хв	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
2 лампи	$T_1, ^\circ\text{C}$										
	$T_2, ^\circ\text{C}$										
	$T_3, ^\circ\text{C}$										
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$										
Час, хв.	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
3 лампи	$T_1, ^\circ\text{C}$										
	$T_2, ^\circ\text{C}$										
	$T_3, ^\circ\text{C}$										
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$										
Час, хв	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80
4 лампи	$T_1, ^\circ\text{C}$										
	$T_2, ^\circ\text{C}$										
	$T_3, ^\circ\text{C}$										
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$										

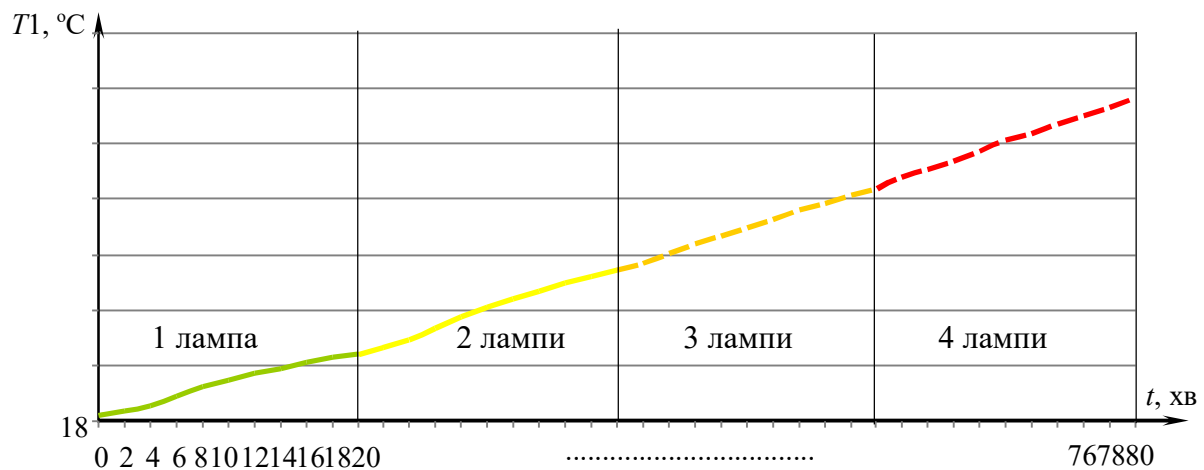


Рисунок 2.1 – Характерна залежність зміни температури теплоносія на виході колектора сонячної енергії від часу $T_1 = f(t)$ при поступовому збільшенні інтенсивності випромінювання

ВИСНОВКИ

За результатами виконаних досліджень зробити висновки щодо впливу інтенсивності випромінювання на ефективність роботи колектора сонячної енергії та визначення рівня температур, що досягаються при цьому.

Контрольні запитання

1. Що таке щільність потоку сонячної енергії?
2. Яким чином впливає щільність потоку сонячної енергії на потужність колектора сонячної енергії?
3. Від чого залежить інтенсивність сонячного випромінювання?
4. Який характер носить зміна температури на виході колектора сонячної енергії в залежності від потужності сонячного випромінювання та часу?
5. Під яким кутом повинен бути встановлений колектор сонячної енергії по відношенню до сонця для забезпечення його максимальної ефективності?
6. Чи впливає місцевість розташування колектора сонячної енергії на ефективність його роботи і яким чином?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОЛЕКТОРА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІД КУТА ПАДІННЯ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ

Мета роботи:

- дослідити ефективність роботи колектора сонячної енергії при різних значеннях куту падіння сонячного випромінювання;
- побудувати характерні графічні залежності.

Обладнання та прилади:

- навчально-дослідницький лабораторний стенд «Лабораторний стенд з дослідження раціонального використання енергії Сонця колектором сонячної енергії» (ЛС ВЕС КС);
- випромінювач.

3.1 Підготовчий етап лабораторної роботи

Підготовчий етап включає вивчення теоретичного матеріалу з джерел, представлених наприкінці методичних рекомендацій.

3.2 Загальні відомості

Встановлення колектора сонячної енергії вимагає дотримання певних умов та необхідних рекомендацій. При цьому можна не тільки отримати максимальну кількість теплової енергії, але і подовжити термін експлуатації всієї системи.

Одним з важливих чинників при впровадженні теплогенеруючої установки, що впливає на її продуктивність, є азимут, або кут нахилу сонячних колекторів по відношенню до сторони світу. В ідеальному випадку панелі повинні бути зорієнтовані на географічний південь.

Іншим найважливішим фактором є визначення оптимального кута встановлення сонячного колектора по відношенню до Сонця. Добове обертання Землі викликає зміну видимого розташування світила на небі протягом усього світлового дня. Влітку Сонце, яке переміщається зі сходу на захід, стоїть над горизонтом довше і вище, взимку – навпаки, тобто рухається по дузі різної довжини та висоти.

Для збереження точної та оптимальної орієнтації в режимі реального часу, вся група панелей повинна постійно повертатися за відповідною дугою переміщення Сонця (забезпечується спеціальними поворотними системами – трекерами). Такий підхід є економічно нераціональним для колекторів сонячної

енергії малої потужності, і тому найбільш доступним варіантом для приватного використання є варіант встановлення колекторів стаціонарно.

З урахування вище викладеного важливим є визначення характеристик сонячного колектора шляхом проведення натурного експерименту за умови потрапляння світлових променів на площину колектора під прямим кутом та з оцінкою можливої зміни кута падіння сонячних променів, що є характерним для умов сходу і заходу сонця та зміни його азимута щоденно. Це дозволить отримати коригувальний коефіцієнт кута падіння сонячних променів, та відповідно оцінити на скільки зміниться продуктивність колектора, коли сонячні промені потрапляють на його поверхню не під прямим кутом.

Такий підхід покаже, наскільки ефективно використовується теплотехнічне устаткування протягом року, та дозволить визначити окупність встановленого обладнання.

3.3 Порядок виконання роботи

3.3.1 Підготувати формуляр (табл. 3.1), необхідний для реєстрації результатів експерименту.

3.3.2 Виконати візуальний огляд стенду на наявність підтікань та наповненості теплоносієм, наявності показань на термометрах.

3.3.3 Увімкнути усі лампи випромінювача та спрямувати його під кутом падіння променів 30 градусів на колектор. Відстань від колектора до випромінювача повинна бути 80 см.

3.3.4 На часовому проміжку 20 хвилин кожні дві хвилини знімати показання термометрів T_1 , T_2 , T_3 . Результати занести до таблиці 3.1.

3.3.5 По завершенні двадцятихвилинного циклу встановити випромінювач під кутом 60 градусів та провести новий аналогічний цикл вимірювань. Результати занести до таблиці 3.1.

3.3.6 Аналогічно провести наступний цикл вимірювань температури для падіння променів під прямим кутом, 90°. Результати занести до таблиці 3.1.

3.3.7 За даними таблиці 3.1 розраховувати різницю температур $\Delta T = T_1 - T_2$ на кожному етапі, тобто при куті падіння сонячних променів 90°, 60°, 30°. Отримані значення занести до таблиці 3.1.

3.3.8 За даними таблиці 3.1 побудувати характерні залежності зміни температури теплоносія в контрольних точках гідравлічної системи стенду від часу та поступовій зміні кута падіння сонячних променів (30°, 60°, 90°), а також залежності різниці температур теплоносію від часу та від кута падіння сонячних променів, а саме – $T_1(t)$, $T_2(t)$, $T_3(t)$, $\Delta T(t)$.

На рисунку 3.1 представлений приклад графіку залежності зміни температури теплоносія на виході колектора від часу, тобто $T_1 = f(t)$, при послідовній зміні кута падіння сонячних променів – 90° , 60° , 30° .

Таблиця 3.1 – Значення температури в контрольних точках гідравлічної системи стенду та різниці температур в залежності від кута падіння сонячних променів

Час, хв.	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
30 градусів	$T_1, ^\circ\text{C}$										
	$T_2, ^\circ\text{C}$										
	$T_3, ^\circ\text{C}$										
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$										
Час, хв.	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
60 градусів	$T_1, ^\circ\text{C}$										
	$T_2, ^\circ\text{C}$										
	$T_3, ^\circ\text{C}$										
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$										
Час, хв.	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
90 градусів	$T_1, ^\circ\text{C}$										
	$T_2, ^\circ\text{C}$										
	$T_3, ^\circ\text{C}$										
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$										

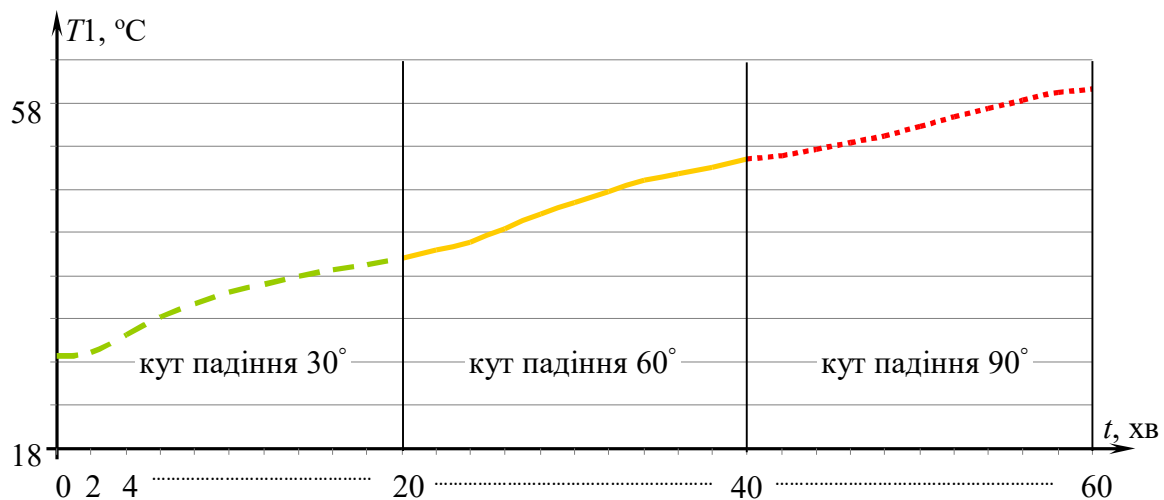


Рисунок 3.1 – Характерна залежність зміни температури теплоносія на виході колектора сонячної енергії від часу, $T_1 = f(t)$, при послідовній зміні кута падіння сонячних променів, а саме – 30° , 60° , 90°

ВИСНОВКИ

За результатами виконаних досліджень зробити висновки щодо впливу кута падіння сонячного випромінювання на ефективність роботи колектора сонячної енергії.

Контрольні запитання

1. Що таке кут падіння сонячних променів на колектор сонячної енергії?
2. Яким чином впливає кут падіння сонячних променів на потужність колектора сонячної енергії?
3. Від чого залежить кут падіння сонячних променів на колектор сонячної енергії?
4. Який характер носить зміна температури на виході колектора сонячної енергії в залежності від кута падіння сонячного випромінювання та часу?
5. Який кут падіння сонячного випромінювання вважається найбільш раціональним по відношенню до колектора сонячної енергії?
6. Чим відрізняються активні й пасивні колектори сонячної енергії та які є найбільш раціональними?

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОЛЕКТОРА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІД ШВИДКОСТІ ЦИРКУЛЯЦІЇ ТЕПЛОНОСІЯ

Мета роботи:

- дослідити ефективність роботи колектора сонячної енергії при різних значеннях швидкості циркуляції теплоносія;
- побудувати характерні графічні залежності.

Обладнання та прилади:

- навчально-дослідницький лабораторний стенд «Лабораторний стенд з дослідження раціонального використання енергії Сонця колектором сонячної енергії» (ЛС ВЕС КС);
- випромінювач.

4.1 Підготовчий етап лабораторної роботи

Підготовчий етап включає вивчення теоретичного матеріалу з джерел, представлених наприкінці методичних рекомендацій.

4.2 Загальні відомості

Для збільшення ефективності функціонування системи опалення, що базується на використанні колектора сонячної енергії, необхідно забезпечити належну швидкість теплоносія в системі. За умови недостатньої швидкості теплоносія обігрів приміщення буде дуже нерівномірний та повільний й внаслідок цього віддалені обігрівачі пристрої (радіатори) будуть значно холодніші за ближні. З іншого боку, при дуже значній швидкості теплоносія, теплоносій не встигатиме нагріватися в колекторі, тому температура у системі опалення буде нижче, що призведе до зниження температури у приміщеннях. Також при цьому підвищиться рівень шуму, а також виникнуть додаткові гідравлічні втрати та перевитрата електричної енергії на живлення насосу. Тому визначення раціональної швидкості теплоносія в системі опалення є дуже важливою задачею.

У системах опалення, де відбувається природна циркуляція, як правило, швидкість теплоносія порівняно низька. Перепад тиску в трубах досягається правильним розташуванням елемента, що приймає тепло, розширювального бачка і самих труб (прямої та зворотної). Рівномірний рух теплоносія досягається шляхом проведення проектних розрахунків перед реалізацією. Необхідно враховувати, що інерційність опалювальних систем з природною циркуляцією рідини дуже велика. Це призводить до повільного прогріву приміщень та зниження ефективності роботи системи в цілому. Головна перевага такої системи –

це максимальна незалежність від зовнішніх джерел електричної енергії (немає електричних насосів).

При будівництві сучасних будинків все більше використовують системи опалення з примусовою циркуляцією теплоносія. Одним з основних елементів такої системи є циркуляційний насос. Він дозволяє підвищити швидкість руху теплоносія, саме від його характеристик залежить швидкість рідини в системі опалення. Основні характеристики, що впливають на швидкість руху теплоносія в системі опалення:

- теплова схема колектора сонячної енергії;
- термодинамічні та хімічні характеристики теплоносія;
- потужність та продуктивність циркуляційного насоса;
- належний матеріал виготовлення труб та їх діаметр;
- відсутність повітряних пробок і засмічень в трубах та радіаторах.

Для приватних будинків найбільш оптимальною є швидкість теплоносія в межах 0,5–1,5 м/с, для адміністративно-побутових будівель – не більше 2 м/с, а для виробничих приміщень – не більше 3 м/с. Верхня межа швидкості теплоносія обирається, в основному, через рівень шуму в трубах. Більшість циркуляційних насосів мають регулятор швидкості потоку рідини і це дає змогу підібрати найбільш раціональне її значення для певної системи.

Задача вибору циркуляційного насоса потребує індивідуального підходу. Не має потреби обирати насос з великим запасом потужності у зв'язку з тим, що він буде працювати в розрахунковому режимі зі знизеним ККД та підвищеним споживанням електроенергії.

За умови великої протяжності системи опалення, великої кількості відгалужень, поверховості та інших ускладнень системи, кращим рішенням є встановлення декількох насосів меншої продуктивності. Наприклад, окремо встановлення насоса на теплу підлогу, на другий поверх тощо.

Вибір раціональної потужності циркуляційного насоса (або групи насосів) дозволить ефективно функціонувати системі опалення з мінімальними власними потребами.

4.3 Порядок виконання роботи

4.3.1 Підготувати формуляр (таблиця 4.1), необхідний для реєстрації результатів експерименту.

4.3.2 Виконати візуальний огляд стенду на наявність підтікань та наповненості теплоносієм, наявності показань на термометрах.

4.3.3 Увімкнути усі лампи випромінювача та спрямувати його під прямим кутом падіння променів на колектор.

4.3.4 На часовому проміжку 20 хвилин кожні дві хвилини знімати показання термометрів T_1 , T_2 , T_3 .

4.3.5 За даними таблиці 4.1 розраховувати різницю температур $\Delta T = T_1 - T_2$. Отримані значення занести до таблиці 4.1.

4.3.6 По завершенні двадцятихвилинного циклу вимірювань відкрити відсічні крани циркуляційного насоса та упевнитись у його працездатності шляхом увімкнення на першій швидкості. Наступним кроком перекрити кран байпас й провести новий цикл вимірювань, тобто кожні дві хвилини знімати показання термометрів T_1 , T_2 , T_3 .

4.3.7 За даними таблиці 2.1 розраховувати значення різниці температур теплоносія на виході та вході колектора $\Delta T = T_1 - T_2$. Отримані результати занести до таблиці 4.1.

4.3.8 Аналогічно чином провести цикл вимірювань температури в контрольних точках гідравлічної системи стенду (T_1 , T_2 , T_3), а також розрахунок різниці температур $\Delta T = T_1 - T_2$, для другої та третьої швидкостей насосу. Отримані значення занести до таблиці 4.1.

4.3.9 За даними таблиці 4.1 побудувати характерні залежності зміни температури теплоносія при поступовому збільшенні швидкості його циркуляції та часу, тобто $T_1(t)$, $T_2(t)$, $T_3(t)$, $T_4(t)$, а також залежність різниці температур $\Delta T(t)$ від швидкості циркуляції теплоносія та часу.

На рисунку 4.1 представлений приклад графіку залежності зміни температури теплоносія на виході колектора від часу, тобто $T_1 = f(t)$, при поступовому збільшенні швидкості руху теплоносія.

З рисунку 4.1 бачимо, що температура на виході сонячного колектору різко знижується при включенні циркуляційного насоса. Це пов'язано зі збільшенням швидкості руху теплоносія через сонячний колектор та відповідно з зростанням його витрат за умови збереження кількості підведеної теплоти сонячним випромінюванням. Але перехід на наступні швидкості циркуляційного насосу не чинить впливу на поступове підвищення температури теплоносія на виході з сонячного колектору.

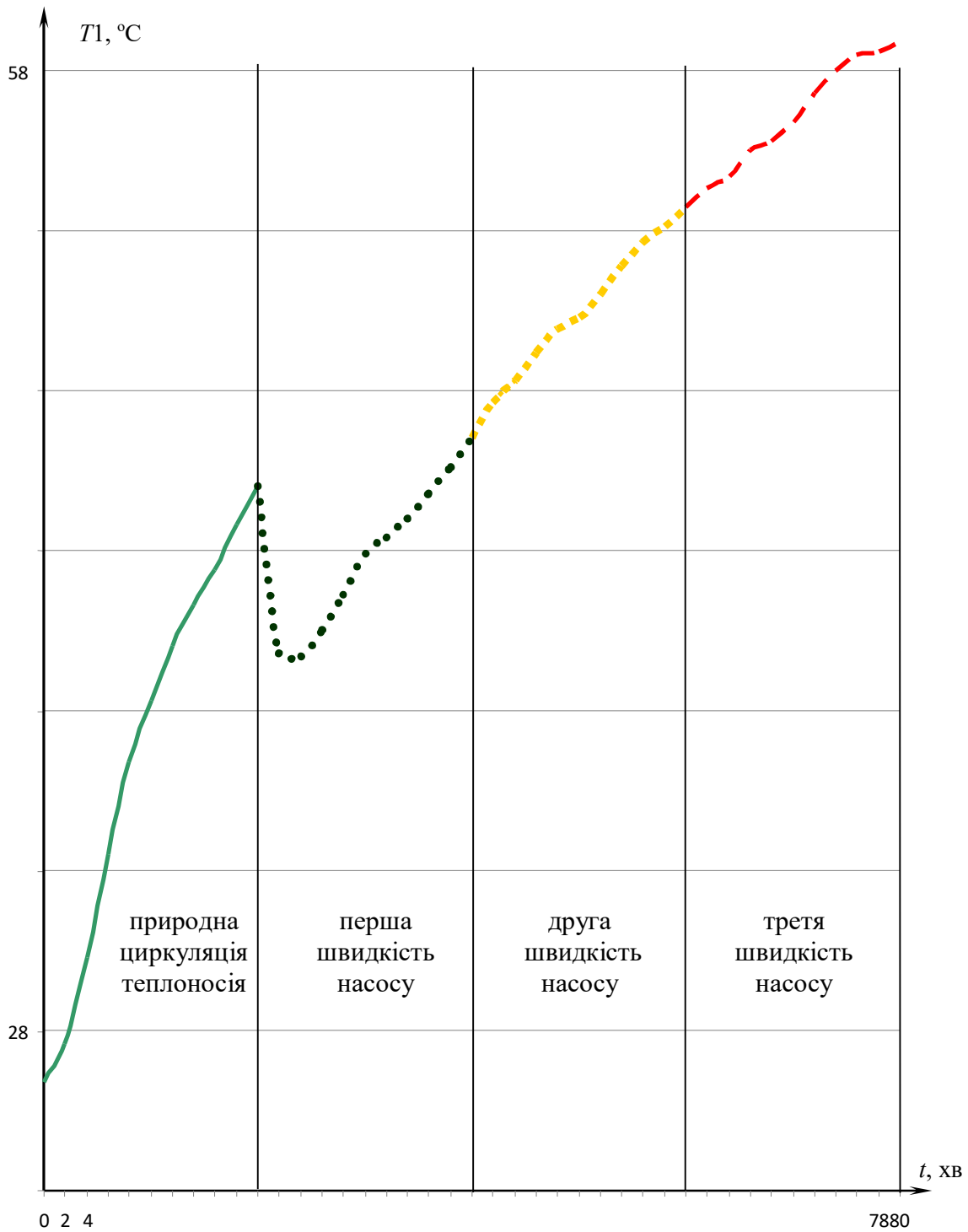


Рисунок 4.1 – Характерні залежності зміни температури теплоносія на виході колектора сонячної енергії від часу $T_1 = f(t)$ та поступовому збільшенні швидкості руху теплоносія

Таблиця 4.1 – Значення температури в контрольних точках гідравлічної системи стенду та різниці температур в залежності від швидкості руху теплоносія

Час, хв..		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Природна циркуляція	$T_1, ^\circ\text{C}$											
	$T_2, ^\circ\text{C}$											
	$T_3, ^\circ\text{C}$											
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$											
Час, хв.		20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
1 швидкість насосу	$T_1, ^\circ\text{C}$											
	$T_2, ^\circ\text{C}$											
	$T_3, ^\circ\text{C}$											
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$											
Час, хв.		40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
2 швидкість насосу	$T_1, ^\circ\text{C}$											
	$T_2, ^\circ\text{C}$											
	$T_3, ^\circ\text{C}$											
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$											
Час, хв.		60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80
3 швидкість насосу	$T_1, ^\circ\text{C}$											
	$T_2, ^\circ\text{C}$											
	$T_3, ^\circ\text{C}$											
	$\Delta T, ^\circ\text{C}$											

ВИСНОВКИ

За результатами виконаних досліджень зробити висновки щодо впливу швидкості циркуляції теплоносія на ефективність роботи колектора сонячної енергії.

Контрольні запитання

1. Яка різниця між примусовою та природною циркуляцією?
2. Які переваги примусової циркуляції перед природною?
3. Від чого залежить потужність циркуляційного насосу, що обирається для колектора сонячної енергії?
4. Який характер носить зміна температури на виході колектора сонячної енергії в залежності від швидкості насосу та часу?
5. Яка швидкість теплоносія у колекторі сонячної енергії вважається раціональною та від чого вона залежить?
6. Які основні характеристики впливають на швидкість руху теплоносія в системі опалення з використанням колектора сонячної енергії?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Городов Р. В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учеб. пособие / Р. В. Городов, В. Е. Губин, А. С. Матвеев. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 294 с.
2. Титко Р. Відновлювальні Джерела Енергії (досвід Польщі для України) : навч. посібник / Р. Титко, В. М. Калініченко. – Варшава : OWG, 2010. – 530 с.
3. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайделл, А. Уейр; [Пер с англ.]. – Москва : Энергоиздат, 1990. – 392 с. : ил.
4. Лабейш В. Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учеб. пособие / В. Г. Лабейш. – СПб. : СЗТУ, 2003. – 79 с.
5. Лукутин Б. В. Возобновляемые источники электроэнергии : учеб. пособие / Б. В. Лукутин. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 187 с.
6. Yegorov O. B. Analysis of structures and methods of calculation of solar collectors as an alternative source of heat energy [Text] / O. B. Yegorov, Ya. B. Forkun, O. Ju. Yegorova // Lighting engineering and power engineering. 2017. – Vol.3. P. 31–36.
7. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії / [О. І. Соловей Ю. Г. Лега, В. П. Розен та ін.] ; за ред. О. І. Солов'я. – Черкаси : Вид. ЧДТУ, 2007. – 642 с.
8. Сибикин Ю. Д. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии : учеб. издание / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – Москва : ИП РадиоСофт, 2008. – 338 с. : ил.
9. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : підручник / С. О. Кудря. – Київ : Національний технічний університет України «КПІ», 2012. – 495 с.
10. Форкун Я. Б. Сонячна теплоенергетика : конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньої програми – «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії») / Я. Б. Форкун, О. О. Шкурпела ; Харків нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 88 с.

ДОДАТОК А

**Зразок оформлення титульного аркуша зошита,
що містить звіти лабораторних робіт**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Кафедра альтернативної електроенергетики
та електротехніки

ЗВІТИ
лабораторних робіт
з дисципліни

«СОНЯЧНА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА»

Виконав
студент групи НВДЕ2017-1

Перевірив
доц. кафедри АЕЕ

Харків
2021

Виробничо-практичне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання лабораторних робіт
із навчальної дисципліни

«СОНЯЧНА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА»

*(для студентів усіх форм навчання спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
освітньої програми «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії»)*

Укладачі : **СЕНЕЦЬКИЙ** Олександр Володимирович,
ФОРКУН Яна Борисівна,
ШКУРПЕЛА Олександр Олександрович

Відповідальний за випуск *Я. Б. Форкун*

Технічний редактор О. В. Михаленко

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2021, поз. 259М.

Підп. до друку 09.03.2021. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 1,6.

Тираж 50 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.