

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

Кваліфікаційна робота

другий магістерський

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження ефективності використання сонячної енергії на базах відпочинку Приморського узбережжя

Виконав: студент 2 курсу, групи ТЕ-18-2мз
спеціальності 144 Теплоенергетика

(код і назва спеціальності)

освітньої програми 144 Теплоенергетика

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

Прядко Сергій Анатолійович

(ініціали та прізвище)

Керівник Чейлитко А.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)



Запоріжжя
2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій
Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 144 Теплоенергетика
(код та назва)
Освітня програма Теплоенергетика
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
« 26 » 12 20 19 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Прядко Сергій Анатолійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Дослідження ефективності використання сонячної енергії на базах відпочинку Приморського узбережжя

керівник роботи Чейлитко А.О.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 10 » 09 2019 року № 1537

2 Строк подання студентом роботи 26 грудня 2019р.


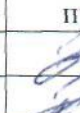
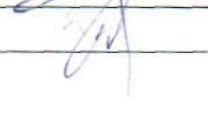


3 Вихідні дані до роботи м. Приморськ, середня швидкість вітру 4,5-6,4 м/с, навантаження бази відпочинку 200 койко/діб, навантаження дитячого табору 300 койко/діб.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розрахунок навантажень типового дитячого табору та бази відпочинку м.Приморськ, визначення параметрів для розрахунку геліосистеми, знаходження необхідної площі колекторів для покриття навантаження, оптимізація ССК методом золотого перетину, розрахунок комбінованої системи сонячного колектора з тепловим насосом, розрахунок NPV, охорона праці і техніка безпеки.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Принципова схема роботи сонячного колектору, принципова схема баку








аккумулятора, характеристика сонячних колекторів, показники насосу, NPV ССК SintSolar без теплового насосу з оптимальною пл ССК SintSolar з тепловм насосом.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	за щ
1	Чейлитко А.О. зав. Каф. ТГЕ		
2	Чейлитко А.О. зав. Каф. ТГЕ		
3	Куріс Ю.В. професор		
Нормокон троль	Каюков Ю.М. доц. каф. ТГЕ		

7 Дата видачі завдання 10.09.2019р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	І
1	Аналіз літературних джерел	10 жовтня	
2	Характеристика об'єкту дослідження	20 жовтня	
3	Знаходження необхідної площі ССК та її оптимізація	15 листопада	
4	Розрахунок системи альтернативної Енергії з тепловим насосом	25 листопада	
5	Охорона праці	1 грудня	
6	Оформлення графічного матеріалу	15 грудня	
7	Оформлення магістерської роботи	26 грудня	

Студент



Прядко С.А.

(підпис)

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)



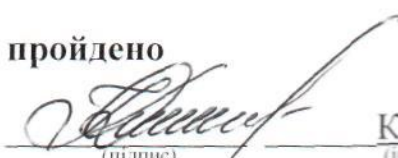
Чейлитко А.О.

(підпис)

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер



Каюков Ю.М.

(підпис)

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Ключові слова: СОНЯЧНИЙ КОЛЕКТОР, ТЕПЛОВИЙ НАСОС, НАВАНТАЖЕННЯ НА ГАРЯЧЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ, СОНЯЧНА РАДІАЦІЯ, КОМБІНОВАНА СИСТЕМА, ВІТРОГЕНЕРАТОР.

Прядко С.А. Дослідження ефективності використання сонячної енергії на базах відпочинку Приморського узбережжя.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник докт. техн. наук, доцент А.О.Чейлитко. Інженерний інститут Запорізького національного університету. Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій, кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2019.

В роботі наведено порівняння ефективності використання альтернативних джерел енергії на базах відпочинку Приморського узбережжя.

ABSTRACT

Keywords: SOLAR COLLECTOR, HEAT PUMP, LOADING FOR HOT WATER SUPPLY, SOLAR RADIATION, COMBINED SYSTEM, WATER GENERATOR

Pryadko S.A. Research on the efficiency of solar energy sources at the seaside rest areas.

Qualifying final work for obtaining a master's degree in higher education by specialty 144 - Heat power engineering, scientific supervisor of the Doctor of Sciences, associate professor A.O. Cheilytko. Engineering Institute of Zaporizhzhya National University. Faculty of Energy, Electronics and Information Technologies, Department of Thermal Power Engineering and Hydroenergy, 2019.

The paper compares the efficiency of using alternative energy sources at the seaside resort recreation bases.

АННОТАЦИЯ

Ключевые слова: СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР, ТЕПЛОВОЙ НАСОС, НАГРУЗКА ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ, СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ, КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА, ВЕТРОГЕНЕРАТОРЫ.

Прядко С.А. Исследование эффективности использования солнечной энергии на базах отдыха Приморского побережья.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 144 - Теплоэнергетика, научный руководитель докт. техн. наук, доцент А.А.Чейлитко. Инженерный институт Запорожского национального университета. Факультет энергетика, электроники и информационных технологий, кафедра теплоэнергетики и гидроэнергетики, 2019.

В работе приведено сравнение эффективности использования альтернативных источников энергии на базах отдыха Приморского побережья.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ	10
1.1 Розрахунок навантажень типового дитячого табору та бази відпочинку у м. Приморськ	11
1.2 Теоретичні відомості про колектори	14
1.3 Визначення параметрів для розрахунку геліосистеми	19
1.4 Параметри необхідні для розрахунку енергетичних характеристик	22
1.5 Знаходження необхідної площі колекторів для покриття навантаження	26
1.6 Оптимізація ССК методом золотого перетину	34
2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ З ТЕПЛОВИМ НОСОСОМ	39
2.1. Розрахунок економічних показників ССТ	39
2.2 Розрахунок комбінованої системи сонячного колектора з тепловим насосом	40
2.3 Розрахунок холодопродуктивності і затрат енергії компресором, вибір устаткування	53
2.4 Розрахунок NPV	55
3 ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	70
3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів при експлуатації сонячних систем	70
3.2 Заходи з поліпшення умов праці	71
3.3 Виробнича санітарія	71
3.4 Електробезпека	74
3.5 Пожежна безпека	76
3.6 Засоби індивідуального захисту	78
3.7 Розрахунок сили струму, що проходить через тіло людини	79
ВИСНОВОК	81
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	83

ВСТУП

Актуальність роботи. Полягає в порівняння ефективності використання альтернативних джерел енергії на базах відпочинку Приморського узбережжя. Використання сонячної енергії в світі набирає темпи і масовий характер. Це насамперед зв'язано з подорожанням електроенергії, та зменшення кількості корисних копалин, які використовуються в енергетиці. Використання сонячної енергії саме на базах відпочинку, що працюють тільки у літній період, на Приморському узбережжі Запорізької області є актуальним та економічно виправданим завданням.

Об'єкт дослідження – є типова база відпочинку Приморського узбережжя.

Предмет дослідження – є теплові процеси та технологічні схеми сонячних колекторів, а також техніко-економічні показники комбінованих альтернативних джерел енергії.

Мета роботи – виконати порівняння ефективності використання сонячної енергії на базах відпочинку Приморського узбережжя.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- аналіз літературних джерел за тематикою досліджень;
- розрахунок площі сонячних колекторів;
- виконати розрахунок комбінованої системи енергопостачання;
- виконати порівняння ефективності комбінованої системи енергопостачання в порівнянні з системою сонячних колекторів.

Методи та засоби дослідження. Методи дослідження аналітичний, статистичний, енергетичний та техніко-економічний аналізи.

Наукова новизна отриманих результатів. Проведено аналіз ефективності використання сонячної енергії на базах відпочинку

Приморського узбережжя та побудовано математичну модель вибору площі систем сонячного тепло споживання.

Практична цінність роботи полягає в наступному – отриманні методи розрахунку показників енергетичної та економічної ефективності дають змогу ефективно використовувати альтернативні джерела енергії на базах відпочинку Приморського узбережжя. Запропонований метод розрахунку економічних показників дозволяє оцінити рентабельність когенераційного проекту. Виконано порівняння ефективності когенераційної комбінованої системи енергопостачання.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні дослідження виконанні безпосередньо автором спільно із співробітниками Інженерного інституту Запорізького національного університету. Автору належать основні ідеї роботи, постановка завдання, обґрунтування основних припущень, теоретичні викладки та аналіз отриманих результатів і формулювання висновків за результатами проведених досліджень.

Апробація результатів дослідження. Результати дослідження докладалися на конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2019» та на XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів Інженерного інституту ЗНУ.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота включає вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилань з позиції. Загальний обсяг складає 84 сторінок у тому числі 14 таблиць.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Сонячна радіація є практично невичерпним і екологічно чистим джерелом енергії. Потужність потоку сонячної енергії на поверхні Землі становить $1,2 \cdot 10^{14}$ кВт. Загальна річна кількість поступає на Землю сонячної енергії оцінюється величиною в $1,05 \cdot 10^{18}$ кВт·год, з яких на поверхню суші припадає $2 \cdot 10^{17}$ кВт·год.

Середньодобова інтенсивність потоку сонячного випромінювання на Україні дорівнює 130-210 Вт/м² або 10,8-18 МДж / (м²· добу) .

На підставі численних спостережень і розрахунків встановлено, що за допомогою геліотехнічних пристроїв при сучасному рівні розвитку техніки може бути корисно використано 10-50% цієї енергії.

До числа факторів, що визначають економічну доцільність застосування систем сонячного теплопостачання можна віднести наступні:

1) висока вартість теплової енергії, що відпускається традиційними джерелами;

2) сезонне теплопостачання та значну кількість об'єктів, що працюють в режимі теплоспоживання з максимальними навантаженнями в літній період (санаторії, будинки відпочинку, дитячі оздоровчі табори і т.д.);

3) високі середньорічні значення інтенсивності надходить сонячної радіації і велика кількість сонячних днів;

4) постійно зростаючі вимоги до чистоти навколишнього середовища;

5) наявність площ для розміщення колекторів, відсутність їх затінення ;

Враховуючи перераховані фактори, використання геліосистем на Україні можна визнати перспективним напрямком розвитку енергетики.

У дипломі вирішується можливість впровадження альтернативних джерел енергії для забезпечення нормальної функціональності пансіонату. Можливість доцільною заміни ГВП на геліосистеми.

Так як пансіонат працює тільки в літній період, то використання альтернативних джерел енергії є дуже перспективною справою. Також це дає можливість використовувати практичні безмежний ресурс сонця, а саме безкоштовний нагрів води після закінчення терміну окупності геліосистеми.

Теоретичною та методологічною основою дослідження послужили праці вітчизняних і зарубіжних учених у галузі економіки промислової енергетики, економічного аналізу, законодавча і нормативно-правова база в галузі енергозбереження, матеріали науково-практичних конференцій, монографії, дисертації та публікації в періодичній пресі, статистична інформація .

Основні цілі полягають в:

- розробці комплексу енергозберігаючих заходів дозволяє раціонально знизити енергоспоживання пансіонату;
- розробка математичної моделі, що дозволяє оптимізувати площа сонячних колекторів в даному окремому випадку .

1.1 Розрахунок навантажень типового дитячого табору та бази відпочинку у м. Приморськ

Використання альтернативних джерел енергії в світі набирає темпи і масовий характер. Це насамперед зв'язано з подорожанням електроенергії, та зменшення кількості корисних копалин, які використовуються в енергетиці.

За літній період на одній базі відпочинку Приморського узбережжя відпочиває 1200 чоловік, які кожного дня відвідують душеві кабінки. На нагрів води для душу потрібна велика кількість електроенергії.

Як і в будь-якому заводі, організації, передумовами впровадження чого то нового являються: економічна вигідність, безпечність. Тому для пошуку найбільш вигідного впровадження альтернативних джерел енергії було розраховано два способи нагріву води.

Перший спосіб полягав в використанні тільки сонячних колекторів.

При виборі колектора увага приділялася ККД, ціні, а також наявність захисту поверхні колектора від солей.

Якщо брати норми витрат гарячої води, то на одного чоловіка потрібно 30 літрів гарячої води на добу. Виходячи з цього літнє навантаження на гаряче водопостачання для душових кабін складає близько 56 ГДж, тобто 15575 кВт·год електроенергії.

При використанні альтернативних джерел, і з ціною 1 кВт·год - 2,75 грн., одна база економить за літній період 42 831,25 грн.

Табори мають вихід до моря, тому потрібно враховувати підвищену вологість і солеміст повітря в розрахунках.

Для клімату Азовського моря характерні дуже тепле літо і помірно м'яка похмура зима. Оскільки азовське море розташоване на південній периферії помірних широт, провідну роль у формуванні клімату моря грає радіаційний фактор. Річна кількість сумарної радіації складає 4850 МДж/м². Тільки чверть цієї суми становить розсіяна, основне ж кількість припадає на частку прямої сонячної радіації.

В осінньо-зимовий період радіаційний баланс від'ємний, проте його величина незначна. Тепловий баланс в середньому за рік більше нуля в центральній частині азовського моря і менше нуля в прибережній мілководній частині моря.

За даними берегових гідрометстанцій, середньорічна швидкість вітру становить 4,5-6,4 м / с і зростає до 7,5 м / с в центральному районі Азовського моря.

Мінімум швидкості вітру припадає на липень - серпень, максимум на грудень- березень. Сезонний хід температур повітря в північній частині моря 22 °С в липні. У таблиці 1.1 наведено метеоданні по літніх місяцях для м. Приморськ.

В оздоровчому таборі відпочивають діти та дорослі по сезонах. Кількість відпочиваючих на одній базі відпочинку за місяць - 285 дітей або 200 дорослих (повне завантаження).

Період роботи баз відпочинку м. Приморськ складає з червня по серпень, тобто 3 місяці.

Таблиця 1.1 - Метеоданні по місяцях для м. Приморськ

Місяць	Червень	Липень	Серпень
Н	27,64	28,7	25,28
Нд	6,55	5,58	4,68
Кт	0,67	0,72	0,73
п ^с	315	345	318
Тв	23,4	26,5	26,3

Розрахунок навантаження водопостачання, ГДж

$$Q_{\text{ГВП}} = \rho C_p V_{\text{Г.В.}} (T_{\text{Г.В.}} - T_{\text{Х.В.}}) N n_{\text{Д}},$$

де ρ – щільність води $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$;

C_p – теплоємність води $C_p = 4187 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$;

$V_{\text{г.в.}}$ – добова витрата гарячої води на людину, м³ [1];

$T_{\text{г.в.}}$ – температура гарячої води $T_{\text{г.в.}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$;

$T_{\text{х.в.}}$ – температура холодної води, для літніх місяців $T_{\text{х.в.}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$;

N – кількість відпочиваючих;

$n_{\text{Д}}$ – кількість днів.

Навантаження гарячого водопостачання здійснимо з розрахунку 30 л/люд.

Розрахунок навантаження водопостачання для бази відпочинку за липень місяць, ГДж

$$Q_{\text{ГВП}} = \rho C_p V_{\text{Г.В.}} (T_{\text{Г.В.}} - T_{\text{Х.В.}}) N n_{\text{д}},$$

$$Q_{\text{ГВП}} = 1000 \cdot 4187 \cdot 0,03 \cdot (55 - 15) \cdot 200 \cdot 31 / 1000000000 = 31,1513$$

Результати розрахунку наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Середня потреба у ГВП за один місяць на одну базу відпочинку у м. Приморськ

Місяці роботи	Кількість діб	Максимальна кількість відпочиваючих, люд		Середня потреба у ГВП (душ), ГДж	
		діти	дорослі	діти	дорослі
червень	30	300	200	45,2196	30,1464
липень	31	300	200	46,7269	31,1513
серпень	31	300	200	46,7269	31,1513
Сума	92	900	600	138,67	92,45

Річне навантаження однієї бази на $\sum Q_{\text{зеп}} = 92,45$ ГДж, одного дитячого табору 138,67 ГДж.

1.2 Теоретичні відомості про колектори

Сонячна енергія може бути використана для отримання низько потенційної теплоти або електроенергії. Для вироблення теплової енергії застосовуються сонячні плоскі колектори. Які встановлюють на даху нерухомо, під кутом до горизонту рівним широті місцевості мінус 150 град.

Сонячні колектора бувають двох видів: вакуумні трубчасті і плоскі.

1.2.1 Вакуумний колектор

В основі конструкції вакуумного сонячного колектора закладена трубчаста система ізоляції мідного абсорбера. Тут кожна мідна трубка вставлена в запаяний по кінцях скляну посудину циліндричної форми і має

свою власну ізоляцію. Причому, як видно з назви, теплоізоляційним матеріалом в такому колекторі служить вакуум. Він зовсім не проводить тепла, тому повністю виключає втрати на конвекцію і теплопровідність і, таким чином, зводить загальні теплові втрати колектора до мінімуму.

Це дозволяє забезпечити високий і стабільний ККД колектора навіть при слабкому розсіяному сонячному випромінюванні в хмарний день, а також при негативній температурі зовнішнього повітря. Тому вакуумні сонячні колектори виробляють в середньому на 30-40 % більше теплової енергії на протязі року в порівнянні з іншими колекторами.

Переваги вакуумних колекторів:

- 1) низькі тепловтрати ;
- 2) працездатність в холодну пору року до -30°C ;
- 3) здатність генерувати високі температури;
- 4) тривалий період роботи протягом доби;
- 5) зручність монтажу;
- 6) низька парусність;
- 7) відмінне співвідношення ціна / продуктивність для помірних широт і холодного клімату.

Недоліки вакуумних колекторів:

- 1) нездатність до самоочищення від снігу;
- 2) відносно висока початкова вартість проекту;
- 3) робочий кут нахилу не менше 20° .

1.2.2 Плоский колектор

Плоскі колектори характеризуються максимальною простотою і надійністю конструкції, термін їх експлуатації досягає 50 років. Це незначної товщини прямокутного вигляду панелі з розміром близько двох квадратних метрів. Це найдемократичніші в ціновому плані прилади. Але дешево не означає погано. За рахунок своїх великих поглинаючих площ їх коефіцієнт корисної дії (ККД) досить високий, щоб задовольнити наші потреби .

На практиці сучасний ефективний плоский сонячний колектор з високоселективним покриттям поглинаючої панелі працює із середнім ККД близько 50 %. Більш ранні моделі з поглинаючими панелями, просто пофарбованими в чорний колір, працювали з ККД не більше 20-30 %. Як вже було сказано, показник нестабільний і визначається тільки для конкретних умов експлуатації в певний момент часу - чим нижче температура, до якої потрібно нагріти рідину, тим вище ККД сонячного колектора.

Переваги плоского колектора:

- 1) Здатність очищатися від снігу та інею;
- 2) Висока продуктивність влітку;
- 3) Відмінне співвідношення ціна / продуктивність для південних широт і теплого клімату;

4) Можливість установки під будь-яким кутом;

5) Менша початкова вартість;

Недоліки плоских колекторів:

1) високі тепловтрати;

2) висока парусність;

3) низька працездатність у холодну пору року;

4) складність монтажу пов'язана з необхідністю доставки на дах зібраного колектора.

На ряду з достоїнствами вакуумний колектор позначений і низкою недоліків які не увійшли до вище перераховані. Наприклад трубки сприйнятливі до граду, трубки можуть потьмяніти, також колектор не здатний самоочищатися від снігу на відміну від плоский колекторів. Все це погіршує прийом сонячної енергії м в цілому знижує ККД.

Тому було запропоновано взяти для розрахунків плоский сонячний колектор фірми SintSolar .

1.2.3 Опис колектора SintSolar

Сонячний колектор SintSolar складається з теплоізольованого анодованого алюмінієвого корпусу, всередині якого розташована мідна поглинаюча панель з високоселективним поглинаючим покриттям.

Поглинаюча панель складається з мідної стрічки з високоселективним покриттям і припаяних до неї мідних тепловідвідних трубок, через які прокачується рідкий теплоносій. Зверху поглинаюча панель закрита прозорою, для сонячного випромінювання, ізоляцією. Високоселективне покриття поглинаючої панелі, а так само велика площа контакту мідних трубок з мідною стрічкою забезпечує високу ефективність роботи колектора.

Під впливом сонячного випромінювання (інфрачервоної складової) в поглинаючої панелі відбувається перетворення сонячної енергії в теплову, у результаті, мідна стрічка розігрівається, а прокачується через мідні трубки рідкий теплоносій відбирає отримане тепло. Високоселективне покриття прозоро для інфрачервоного випромінювання, але є дзеркалом для теплового, у зв'язку з цим, перетворена енергія практично не випромінюється поглинаючою панеллю. Прозора ізоляція і теплоізоляційний шар зменшують втрати теплової енергії.

Нагріта рідина потрапляє в бак акумулятор. Потім охолоджений теплоносій повертається в колектор і знову нагрівається - цикл замикається. Теплоносій безупинно циркулює між колекторами і баком до тих пір, поки достатньо сонячної енергії, щоб нагрівати воду.

В якості теплоносія в системах ми рекомендуємо використовувати тільки нетоксичні спеціальні антифризи, це дозволить експлуатувати систему цілий рік і продовжить термін її служби.

Колектор є елементом системи і не може ефективно функціонувати, якщо неправильно підібрані інше обладнання і комплектуючі. Якість монтажу, а також кількість колекторів, вбрання для конкретної системи, значно впливає на ефективність і надійність роботи сонячних колекторів і системи в цілому.

1.2.4 Загальна будова сонячного колектора

Принцип роботи систем з природною циркуляцією теплоносія (термосифонні системи): розігрітий теплоносій (має більш низьку щільність) спрямовується у верхню частину колектора, в результаті чого виникає різниця гідростатичних тисків; якщо колектор підключити до бака, що знаходиться вище нього, то виникне мимовільна циркуляція теплоносія, швидкість якої залежить від конструкції колектора, інтенсивності сонячного випромінювання і швидкості охолодження в теплообміннику.

У системах з примусовою циркуляцією в контур колекторного кола встановлюється малопотужний циркуляційний насос, що змушує циркулювати теплоносій. Його роботою керує спеціальний контролер. Споживана потужність насоса, незрівнянно мала з тепловою енергією, що виробляється системою (рис. 1.2).

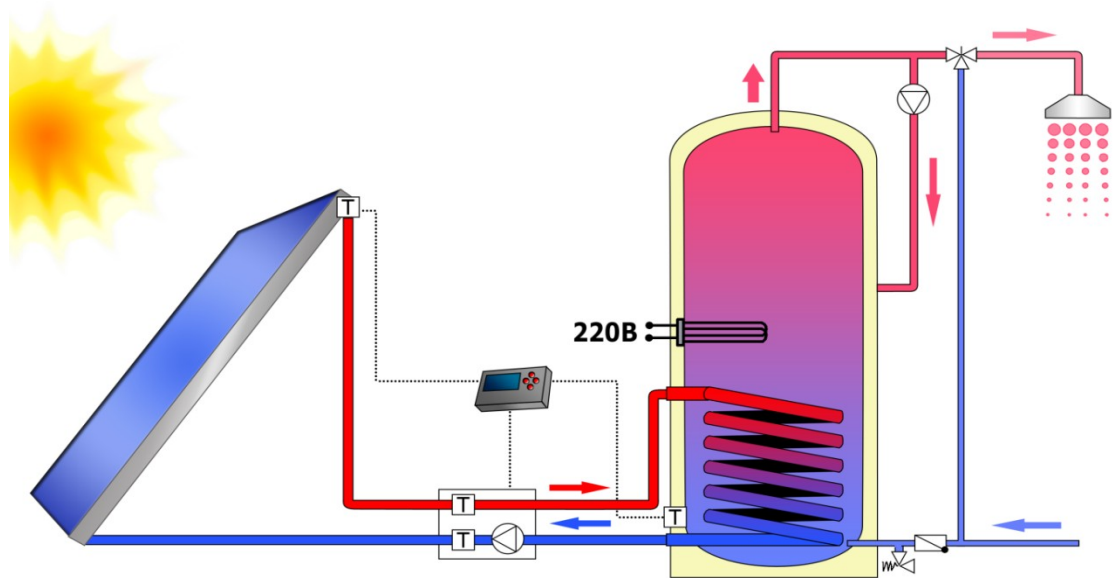


Рисунок 1.2 - Принципова схема системи сонячного колектора

На всій території України рекомендується використовувати геліосистеми з примусовою циркуляцією теплоносія, тому що досить велика кількість хмарних днів призводить до значного зниження ефективності термосифонних систем (на 30 %).

1.3 Визначення параметрів для розрахунку геліосистеми

Метод розрахунку сонячного колектора SintSolar CB-V3R (мідна поглинаюча панель з покриттям селективна чорна фарба) наступний. Користуючись нормативною документацією фірми-виробника SintSolar, знаходимо значення $F_R(\tau\alpha)_n = 0,73$ та $F_R U_L = 3,168$.

У сонячних колекторах даного типу використовують як теплоносії спеціальну речовину, антифриз на основі гліцерину, що витримує температури до -31°C . Тому бак-акумулятор був обраний з додатковим теплообмінником, для поділу робочого тіла всередині самого бака і робочого тіла всередині системи сонячних колекторів. Вважається, що даний бак-акумулятор погіршує роботу системи на 1%.

Тому приймаємо $\frac{F'_R}{F_R}$, виражає поправку на бак-акумулятор:

$$\frac{F'_R}{F_R} = 0,99$$

Розрахунок приходу радіації на похилу поверхню наступний.

Середні місячні значення денних приходів сонячної радіації на горизонтальну поверхню відомі для багатьох географічних пунктів, тоді як таких даних для похилій поверхні немає. Порівняння розрахункових і експериментальних даних вченими дозволило зробити висновок про можливість застосування цього методу для розрахунку парафій радіації на похилі поверхні, орієнтовані в південно-східному або південно-західному напрямку.

Вплив орієнтації колектора на довгострокові характеристики розраховується наступним чином. Відношення середньомісячного приходу прямої радіації на похилу і горизонтальну поверхні

$$\bar{R}_B = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \sin\{\omega + \omega' \sin(\phi - \beta) \cdot \sin\delta\}}{\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega + \omega \cdot \sin\phi \cdot \sin\delta} \cdot i$$

Теоретично R_b є функцією пропускання здатності атмосфери. Однак цю величину можна визначити як відношення позаатмосферної радіації на похилу і горизонтальну поверхні

$$\bar{R} = \left(1 - \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} \right) \bar{R}_B + \frac{\bar{H}_D}{\bar{H}} \cdot \frac{1 + \cos\beta}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos\beta}{2}$$

Середньомісячний денний прихід сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню, МДж/(м²·доб)

$$\bar{H}_T = \bar{R} \cdot \bar{H} \cdot K_3 = 0,936 \cdot 27,64 \cdot 0,97 = 25,106$$

де K_3 - коефіцієнт враховує вплив запиленості прозорого покриття і затінення корпусом колектора на теплову потужність геліоустановки.

Розрахунок довгострокових характеристик ССТ наступний.

Один з підходів до визначення параметрів системи сонячного теплопостачання полягає в моделюванні їх роботи на ЕОМ. Математичне моделювання зберігає важливе значення при проектуванні великих і нестандартних систем, проте широке поширення сонячних нагрівальних установок вимагає спрощеного методу їх розрахунку. Це особливо стосується стандартних систем, для яких вартість детальних машинних розрахунків не

може бути виправдана. З цих причин було розроблено так званий f - метод розрахунку.

Обраний підхід передбачає встановити важливі безрозмірні параметри системи сонячного теплопостачання і використовувати результати детального математичного моделювання їх роботи для отримання кореляцій між цими параметрами і довгостроковими характеристиками системи.

Безрозмірний комплекс X

$$X = F_R U_L \cdot \frac{F'_R}{F_R} \cdot (T_{\sigma} - \bar{T}_B) \cdot \Delta\tau \cdot \frac{A}{Q_H}$$

Безрозмірний комплекс Y

$$Y = F_R \cdot (\tau\alpha)_n \cdot \frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} \bar{H}_T N \cdot \frac{F'_R}{F_R} \cdot \frac{A}{Q_H}$$

Коефіцієнт заміщення

$$f = 1,029 Y - 0,065 X - 0,245 Y^2 + 0,0018 X^2 + 0,0215 Y^3$$

Фактичне навантаження гарячого водопостачання (тобто кількість тепла, необхідного для нагрівання води, в нашому випадку на базі відпочинку), сильно залежить від кількості споживаної гарячої води.

Місячне навантаження гарячого водопостачання, ГДж

$$Q_{г.в.} = \rho C_p V_{г.в.} (T_{г.в.} - T_{х.в.}) N n_D$$

1.4 Параметри необхідні для розрахунку енергетичних характеристик

Один з основних параметрів сонячного колектора це його поглинаюча здатність або оптичний ККД сонячного колектора $(\overline{\alpha\tau})$. Відношення $(\overline{\alpha\tau})$ залежить від кута падіння сонячного випромінювання (прямого і розсіяного), який може мінятися протягом дня від 0 до 90 град, що призводить до зміни значення від 0 до 1. При розрахунку енергетичних характеристик геліоустановки з метою спрощення методики ми нехтували цією залежністю і користувалися усередненими значеннями $(\overline{\alpha\tau})$.

Залежно від орієнтації колектора і часу року середньомісячне значення $(\overline{\alpha\tau})$ може бути значно нижче, ніж у випадку, коли сонячна радіація падає нормально до поверхні колектора. Спрощений метод визначення середньомісячного значення $(\overline{\alpha\tau})$ полягає в наступному. Коли колектор звернений своєю поверхнею на південь з відхиленням від південного напрямку в межах $\pm 15^\circ$ при куті нахилу до площини горизонту, рівному ширині місцевості $\pm 15^\circ$, то $(\overline{\alpha\tau})_0 = (\overline{\alpha\tau}) / (\overline{\alpha\tau})_{\text{норм}} = 0,96$ для сонячного колектора з одношаровим прозорим покриттям і $(\overline{\alpha\tau})_0 = 0,94$ для колектора з двошаровим прозорим покриттям (для всіх місяців року).

У разі, якщо кут нахилу сонячного колектора до горизонтів відхиляється від значення широти більш, ніж на 15° , то значення $(\overline{\alpha\tau})_0$ може бути обчислено як функція середньовиважених значень прямого, дифузійного і відбитих компонентів радіації.

Визначення $F_R' \bar{U}$, $F_R'(\overline{\alpha\tau})$ зробимо по [7]. У формули для розрахунку усереднених характеристик систем сонячного тепlopостачання входять $F_R' \bar{U}$, $F_R'(\overline{\alpha\tau})$, які можуть бути визначені за виразами:

$$F_R' \bar{U} = F_R \bar{U} F_R' / F_R,$$

$$F_R'(\overline{\alpha\tau}) = F_R(\overline{\alpha\tau})_{\text{норм}} (F_R' / F_R) [(\overline{\alpha\tau}) / (\overline{\alpha\tau})_{\text{норм}}],$$

де $(\bar{\alpha\tau})_o$ визначається як було зазначено раніше; F_R' / F_R , $F_R \bar{U}$,
 $F_R (\bar{\alpha\tau})_{\text{норм}}$ — за результатами випробувань колектора.

Визначення $\bar{T}_{об}$, \bar{T}_x здійснимо по [8]. Температуру зворотної води, яка поступає в бак-акумулятор з системи тепlopостачання потрібно приймати:

для геліоустановок, що забезпечують навантаження гарячого водopостачання, рівною температурі водopровідної води (залежно від пори року)

$$\bar{T}_{cp} = (1 - \beta) \bar{T}_{об} + \beta \bar{T}_x ,$$

де β — частка теплового навантаження гарячого водopостачання.

Поглинена сонячна енергія акумулюється у вигляді нагрітої води в бакy-акумуляторі. Для підвищення ефективності рекомендується виконати бак-акумулятор з окремих пов'язаних один з другим секцій. Оптимальна кількість секцій дві-три.

Для моделювання процесу акумулювання можливо скласти модель одного бака, місткість якого дорівнює сумі місткості основного та витратності баків. Основні закономірності процесів масо- і теплообміну, що відбуваються в бакy, у край складні через наявність різності температур теплоносія по висоті бака. Для оцінки впливу теплової стратифікації рідини на характеристики систем сонячного тепlopостачання були зіставлені результати розрахунків численних моделей роботи баків як при існуванні температурного градієнта в рідині, так і при повному перемішуванні рідини. Результати моделювання показали, що використання різниці температур рідини в бакy дає можливість підвищити коефіцієнт заміщення на 1-3 %.

Оскільки вплив теплової стратифікації вельми незначна, то в описаних дослідженнях застосовувалася модель з повністю перемішаної середовищем.

Середньомісячну температуру повітря протягом світлового дня \bar{T}_0 , можна знайти за формулою

$$\bar{T}_0 = 0,7 \bar{T}_C + 0,3 \bar{T}_{MAX},$$

де \bar{T}_C , \bar{T}_{MAX} — середньодобова температура повітря і середовищ, максимальна добова температура для даного місяця.

Перепад температур теплоносія в системі тепlopостачання ΔT розрахуємо по [9]. Значення ΔT залежить від умов експлуатації і визначається: для систем гарячого водopостачання

$$\Delta T = \Delta T_{Г.В.} = \bar{T}_{Г.В.}^{\max} - \bar{T}_X.$$

де $\bar{T}_{Г.В.}^{\max}$ — максимальна температура гарячої води, що поступає до споживача;

де \bar{T}_{OT}^{\max} — температура теплоносія, що надходить в систему опалення від джерела тепла.

Орієнтація сонячного колектора і кут нахилу його до горизонту також впливають на характеристики геліоустановки. Під оптимальною орієнтацією розуміють умови, що забезпечують максимальну теплову потужність за весь період роботи. Аналіз наявних результатів показав, що оптимальним варіантом є орієнтування площині колектора по напрямку до екватора. Від нахилу в межах $\pm 15^\circ$ від напрямку на південь не робить істотного впливу на теплову потужність геліоустановки. Оптимальний кут нахилу сонячного нагрівача

дорівнює широті місцевості в даній точці; відхилення від цього значення в межах $\pm 15^\circ$ не змінить помітно теплову потужність геліоустановки. Для геліоустановок, призначених для систем опалення, оптимальний кут нахилу дорівнює широті місцевості плюс $10\text{—}15^\circ$, для систем гарячого водопостачання-широті місцевості, де розташована установка.

Вплив запиленості прозорого покриття і затінення корпусом колектора на теплову потужність геліоустановки розраховуємо по [10].

У процесі роботи сонячного колектора прозоре покриття покривається пилом, що призводить до зменшення щільності потоку сонячної радіації, що досягає поглинаючої поверхні. Коефіцієнт світлопропускання шару пилу залежить від товщини цього шару і може змінюватися від 0,5 до 0,96.

Коефіцієнт затінення K_3 сонячної радіації корпусом колектора залежить від його геометричних розмірів і конструктивних особливостей. Згідно з результатами експериментальних досліджень при розрахунках систем сонячного тепlopостачання в умовах періодичного чищення прозорих покриттів рекомендується приймати значення $K_{пл}K_3 \approx 0,95\text{--}0,97$. Цю поправку слід помножити на значення сумарною щільності потоку сонячної радіації в формулах.

Втрати теплоти пов'язані з прогріванням колектора розраховуємо по [11]. Початок роботи сонячного колектора залежить від того, як швидко він прогривається до робочої температури після охолодження вночі або в похмуру погоду. Момент початку роботи колектора визначається умовою $\bar{T}_P \geq \bar{T}_{ВХ}$, де \bar{T}_P — рівновага температура поглинаючої поверхні колектора, а $\bar{T}_{ВХ}$ — температура теплоносія на вході в колектор. З цього моменту часу колектор починає виробляти теплоту. Частина енергії потоку сонячної радіації витрачається на прогрів колектора і, отже, зменшується його теплова потужність. Кількість теплоти, що йде на нагрів, залежить від конструкції сонячного колектора, властивостей застосовуваних матеріалів, теплоносія та місткості колектора. За даними різних авторів ці втрати можуть становити від 5 до 25 % сумарної

щільності потоку сонячної радіації. Для добре спроектованого колектору втрати теплоти не перевищують 5-10%

1.5 Знаходження необхідної площі колекторів для покриття навантаження

Для максимально економічної організації впровадження геліосистеми на базі Гагаріна необхідно підібрати певну площу сонячних колекторів, яка буде покривати 100% навантаження на Q_{ГВП}.

Щільності потоку сонячної радіації, Вт/м²

$$I_a = \frac{\bar{H}_T}{n_{mic}^{cc} \cdot 3600} \cdot \Delta\tau$$

Розрахунок теплової потужності сонячної системи, Дж

$$Q_{ГВП} = \frac{Q_H \cdot 10^9}{n_{mic}^{cc} \cdot 3600}$$

Ефективність сонячних колекторів, %

$$\eta_{ск} = F_R (\tau\alpha)_n - F_R U_L (T_i - T_b) / I_T$$

Розрахунок необхідної площі, м²

$$F_{ск} = \frac{Q_{ГВС}}{I_a \cdot \eta_{ск}}$$

Період окупності ССТ, рік

Результати розрахунків для різних сонячних колекторів занесемо до таблиць 1.3 – 1.11.

Терміни окупності сонячних нагрівальних систем - це один з найбільш важливих питань який слід вивчити для прийняття рішення про купівлю та встановлення геліосистеми. На основа зроблених розрахунків можна зробити висновок, чи доцільна установка геліосистем, або буде більш економно витрачати електроенергію на підігрів води. Але на ряду з можливо великим терміном окупності, сонячна енергетика має радий переваг описаних вище, а це, в свою чергу, вносить додаткові важелі при вирішенні встановлення системи сонячних колекторів.

Термін окупності визначається за формулою

$$\tau = \frac{KB}{E},$$

де KB – капітальні витрати до проекту, грн;

E – економія коштів, грн.

Розрахунок безрозмірного комплексу X											
червень	0,0135	0,0676	0,1352	0,2028	0,2704	0,3379	0,4055	0,4731	0,5407	0,6083	0,6759
липень	0,0274	0,1372	0,2744	0,4117	0,5489	0,6861	0,8233	0,9605	1,0977	1,2350	1,3722
серпень	0,0116	0,0581	0,1162	0,1743	0,2324	0,2905	0,3486	0,4067	0,4648	0,5229	0,5810
Розрахунок безрозмірного комплексу Y											
червень	0,0390	0,1952	0,3904	0,5856	0,7808	0,9760	1,1712	1,3664	1,5616	1,7568	1,9520
липень	0,0931	0,4656	0,9313	1,3969	1,8625	2,3282	2,7938	3,2595	3,7251	4,1907	4,6564
серпень	0,0332	0,166	0,3319	0,4978	0,6637	0,8297	0,9956	1,1615	1,3274	1,4934	1,6593
Розрахунок долі теплового навантаження f											
червень	0,0389	0,1873	0,3569	0,5098	0,6469	0,7691	0,8776	0,9731	1,0567	1,1293	1,1919
липень	0,0919	0,4193	0,7455	0,9915	1,1704	1,2953	1,3791	1,4348	1,4756	1,5144	1,5642
серпень	0,0331	0,1603	0,3078	0,4429	0,5663	0,6786	0,7804	0,8722	0,9547	1,0284	1,0939

Таблиця 1.6 - Розрахунок приходу сонячної радіації на колектор СПК-F2 Atmosfera

Місяць	H кДж/ M^2	H_d	H_d/H	$1-(H_d/H)$	R_b	$1-(H_d/H) \cdot R_b$	$H_d/H-((1+\cos\beta)/2)$	R	H_t МДж/($m^2 \cdot$ сут)	H_t мес. МДж/ m^2	ω	ω'
Червень	27,64	6,55	0,2369	0,763	1,549	1,1823	0,2192	1,41652	37,9781	1139,343	2,04 1	1,685
Липень	28,7	5,58	0,1944	0,805	1,520	1,225	0,1798	1,4198	39,5274	1225,352	1,99 5	1,674
Серпень	25,28	4,68	0,1851	0,814	1,446	1,178	0,1712	1,3647	33,4667	1037,47	1,82 8	1,635

7 - Необхідна площа для покриття повного навантаження
Таблиця 1.

Місяць	$Q_{гвп}, ГДж$	I_a	ККД	$Q_{гвп}, Вт$	F
червень	22,232	1004,711	0,711	19605,793	27,433
липень	10,023	986,595	0,721	8070,594	11,343
серпень	23,815	906,245	0,717	20803,333	31,978
Σ	56,072				

Таблиця 1.8 - Розрахунок f-методу СПК-F2 Atmosfera

Площа, м ²	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Розрахунок безрозмірного комплексу X											
червень	0,0143	0,0715	0,1429	0,2144	0,2859	0,3574	0,4288	0,5003	0,5718	0,6432	0,7147
липень	0,0290	0,1451	0,2902	0,4353	0,5804	0,7255	0,8706	1,0157	1,1608	1,3059	1,4510
серпень	0,0123	0,0614	0,1229	0,1843	0,2457	0,3072	0,3686	0,4300	0,4915	0,5529	0,6144
Розрахунок безрозмірного комплексу Y											
червень	0,0384	0,1922	0,3843	0,5765	0,7687	0,9609	1,1530	1,3452	1,5374	1,7295	1,9217
липень	0,0917	0,4584	0,9168	1,3753	1,8337	2,2921	2,7505	3,2090	3,6674	4,1258	4,5842
серпень	0,0327	0,1634	0,3267	0,4901	0,6534	0,8168	0,9802	1,1435	1,3069	1,4702	1,6336
Розрахунок долі теплового навантаження f											
червень	0,0383	0,1842	0,3513	0,5021	0,6375	0,7586	0,8662	0,9611	1,0444	1,1170	1,1797
липень	0,0904	0,4129	0,7353	0,9797	1,1585	1,2841	1,3689	1,4254	1,4660	1,5031	1,549

											2
серпень	0,0326	0,1577	0,3028	0,4361	0,5579	0,6690	0,7697	0,8608	0,9428	1,0162	1,081 6

Таблиця 1.9 - Розрахунок приходу сонячної радіації на колектор Sunsystem PK ST NL

Місяць	H кДж/ М ²	Hd	Hd/H	1-(Hd/ H)	Rb	1-(Hd/ H)·Rb	Hd/H- (1+cosβ)/2	R	Ht МДж/(м ² · сут)	Ht мес. МДж/м ²	ω	ω'
Червень	27,640	6,550	0,237	0,763	1,55 0	1,182	0,219	1,417	37,978	1139,343	2,042	1,685
Липень	28,700	5,580	0,194	0,806	1,52 1	1,225	0,180	1,420	39,527	1225,352	1,996	1,675
Серпень	25,280	4,680	0,185	0,815	1,44 6	1,179	0,171	1,365	33,467	1037,470	1,829	1,635

10 Необхідна площа для покриття повного навантаження
Таблиця 1.

Місяць	Q _{гвп} , Г	Ia	ККД	Q _{гвп} , Вт	F
--------	----------------------	----	-----	-----------------------	---

	Дж				
червень	22,233	1004,712	0,703	19605,794	27,748
липень	10,024	986,596	0,715	8070,594	11,439
серпень	23,816	906,245	0,711	20803,333	32,281
Σ	56,072				

Таблиця 1.11 - Розрахунок f-методу Sunsystem PK ST NL

Площа, м ²	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Розрахунок безрозмірного комплексу X											
червень	0,0173	0,0864	0,1728	0,2592	0,3456	0,4320	0,5184	0,6048	0,6912	0,7777	0,864 1
липень	0,0351	0,1754	0,3508	0,5263	0,7017	0,8771	1,0525	1,2279	1,4034	1,5788	1,754 2
серпень	0,0149	0,0743	0,1485	0,2228	0,2971	0,3714	0,4456	0,5199	0,5942	0,6685	0,742 7
Розрахунок безрозмірного комплексу Y											
червень	0,0384	0,1922	0,3843	0,5765	0,7687	0,9609	1,1530	1,3452	1,5374	1,7295	1,921 7
липень	0,0917	0,4584	0,9168	1,3753	1,8337	2,2921	2,7505	3,2090	3,6674	4,1258	4,584

											2
серпень	0,0327	0,1634	0,3267	0,4901	0,6534	0,8168	0,9802	1,1435	1,3069	1,4702	1,633 6
Розрахунок долі теплового навантаження f											
червень	0,0381	0,1832	0,3493	0,4992	0,6337	0,7539	0,8605	0,9545	1,0369	1,1086	1,170 4
липень	0,0900	0,4110	0,7315	0,9740	1,1509	1,2747	1,3577	1,4125	1,4514	1,4868	1,531 2
серпень	0,0324	0,1568	0,3012	0,4336	0,5546	0,6649	0,7648	0,8552	0,9363	1,0090	1,073 6

1.6 Оптимізація ССК методом золотого перетину

Оптимізація - в математиці це знаходження екстремуму (мінімуму або максимуму) цільової функції в деякій області конечномерного векторного простору, обмеженою набором лінійних та / або нелінійних рівностей і/ або нерівностей .

У нашому випадку знаходження мінімуму функції, а саме оптимальний термін окупності.

На підставі системного аналізу досліджуваного процесу створюють його математичну модель, параметри якої оптимізують. Під оптимізацією системи розуміють розробку схеми і відшукування параметрів незалежних змінних, відповідних глобального екстремуму функції мети, що визначається прямим пошуком або методом градієнта.

Отримання цільової функції - початковий етап. Обмеження на аргументи впливають з фізичного змісту задачі і можуть бути накладені у формі нерівностей і рівнянь. Коли цільова функція отримана, вибирають стратегію оптимізації - математичний метод розв'язання відповідної задачі, алгоритм реалізації обчислювального процесу на персональному комп'ютері (ПК) з використанням підпрограм, функцій і операторів функцій.

Вибір методу реалізації обчислювального процесу на ПК залежить від складності математичної моделі і наявності обчислювальних засобів. Основні критерії, що визначають вибір обчислювального алгоритму - збіжність ітераційного процесу та затрата машинного часу, необхідного для досягнення результату необхідної достовірності.

Рішення оптимізаційної задачі полягає у знаходженні на проміжку $[a,b]$ стаціонарних точок, тобто точки x , в якій градієнт функції дорівнює нулю: $f'(x)|_{x=x^*} = 0$

У нашому дослідженні було обрано метод золотого перетину.

Метод золотого перерізу - метод пошуку екстремуму дійсної функції однієї змінної на заданому відрізку. В основі методу лежить принцип

розподілу відрізка в пропорціях золотого перетину. Є одним з найпростіших обчислювальних методів розв'язання задач оптимізації.

Поділ відрізка на дві частини відбувається таким чином, що відношення довжини всього відрізка до довжини більшої його частини дорівнює відношенню більшої частини до меншої.

Запишемо це умова для відрізка одиничної довжини

$$\frac{1}{\tau} = \frac{\tau}{1-\tau}$$

де τ - більша частина відрізка;

$1-\tau$ - менша частина відрізка.

Отже, квадратне рівняння

$$\tau^2 + \tau - 1 = 0$$

має позитивний корінь

$$\tau = (\sqrt{5} - 1)/2,$$

званий дробом Фібоначі. Це число і образім золотий перетин відрізка. використання дроби Фібоначі дозволяє визначити координати точок C і G , рівновіддалених від центру відрізка:

$$C = a + (b-a) \cdot (1-\tau);$$

$$G = b - (b-a) \cdot \tau.$$

Якщо $f(C) > f(G)$, то виключаєм відрізок $[a, C]$, приймаю $a = C$. В протилежному випадку приймають що $b = G$.

За допомогою Pascal запишемо алгоритм вирішення задачі з оптимізації.

```

var const
n=3;
{$R-}
var KZ1,KZ2,E1,E2,FrUl,Frtayalpha,a,b,e,c,zsk,zel,t,g,z1,z2:real;
i:byte;
x1,x2,y1,y2,f1,f2,day,Tv,Qn,deltatay,Ht,q:array[1..n] of real;
begin
E1:=0;
E2:=0;
    writeln ('vvedite Frtayalpha .Srednee znachenie 0.75');
    readln (Frtayalpha);
    writeln (' vvedite FrUl . Srednee znachenie 3-4');
    readln (FrUl);
for i:=1 to n do
begin
    writeln ('vvedite srednyy temperatyry i-go meciatsa');
    readln (Tv[i]);
end;
for i:=1 to n do
begin
    writeln('vvedite kolichestvo dney v i-om meciatce');
    readln (day[i]);
end;
    deltatay[i]:=day[i]·24·3600;
for i:=1 to n do
begin
    writeln (' vvedite Ht dlia i-go meciatcia,jouley');
    readln (Ht[i]);

```

```

end;
  for i:=1 to n do
    begin
      writeln ('Vvedite nagryzky i-go mesacia jouley');
      Readln (Qn[i]);
    end;
q[i]:=Qn[i]/(3600·1000);
a:=0;
b:=50;
e:=1;
  writeln ('vvedite stoimost elektro-energii');
  Readln (zel);
  writeln ('vvedite stoimost 1 m^2 kolektora');
  readln (zsk);

t:=(sqrt(5)-1)/2;
repeat
c:=a+(b-a) · (1-t);
g:=a+(b-a) · t;
  for i:=1 to n do
    begin
      x1[i]:=(c·FrUl· (60-Tv[i]) ·deltatay[i])/Qn[i];
      y1[i]:=(c·Frtayalpha·Ht[i])/Qn[i];
      x2[i]:=(g·FrUl· (60-Tv[i]) ·deltatay[i])/Qn[i];
      y2[i]:=(g·Frtayalpha·Ht[i])/Qn[i];
      f1[i]:=1.029·y1[i]-0.065·x1[i]-0.245·y1[i]·y1[i]+0.0018·x1[i] ·x1[i]
+0.0215·y1[i] ·y1[i] ·y1[i];
      if f1[i]>1 then f1[i]:=1;
      f2[i]:=1.029·y2[i]-0.065·x2[i]-0.245·y2[i]·y2[i]+0.0018·x2[i] ·x2[i]
+0.0215·y2[i] ·y2[i] ·y2[i];

```

```

        if f2[i]>1 then f2[i]:=1;
        end;
KZ1:=(zsk·c+7500+7150);
KZ2:=(zsk·g+7500+7150);
    for i:=1 to n do
        begin
            E1:=q[i] ·f1[i] ·zel+E1;
            E2:=q[i] ·f2[i] ·zel+E2;
        end;
z1:=KZ1/E1;
z2:=KZ2/E2;

if z1>z2 then a:=c
else b:=g
until abs(a-b)<e;
writeln(a:2:1,',',b:2:1,z1,z2);
readln;
end.

```

Результатом оптимізації за допомогою методу золотого перетину був отриманий оптимальний термін окупності і площа колектора:

$$F=11,5 \text{ м}^2. \tau=10 \text{ років}$$

2 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ

2.1. Розрахунок економічних показників ССТ

Для $F_{\max} = 31,38 \text{ м}^2$, беручи до уваги, що площа поглинаючої поверхні колектора SintSolar CS - $1,88 \text{ м}^2$, то

$$\frac{31,38}{1,88} = 16,7 \approx 17 \text{ шт.}$$

Економія на забезпечення підігріву води для душових кабін бази відпочинку коштуватиме, грн

$$E = \frac{56072300}{3600} \cdot Z_{\text{ел.ен}} = 15575 \cdot 1,77 = 19044,33,$$

де $Z_{\text{ел.ен}}$ - ціна на електричну енергію рік, грн.

Об'єм бака акумулятора, м^3

$$V_6 = 40 \cdot 0,075 = 3.$$

Так як проектується літня установка, то теплоносієм являється вода, і необхідність бака акумулятора з теплообмінником відсутня.

Обираємо бак "Galmet SG(B) Vufor (Польща), об'ємом 3 м^3 за ціною [3], грн

$$Z_6 = \frac{28600}{4} = 7150.$$

Капітальні витрати на придбання систем сонячних колекторів площею $31,38 \text{ м}^2$, грн. складуть, грн

$$KB = (17 \cdot 43890) \cdot 1,2 + 7500 + 7150 = 910006.$$

Період окупності, рік

$$\tau = \frac{KB}{E} = \frac{867630}{19044,334} = 12,89$$

Розрахунки зведені до таблиць 2.1- 2.3.

2.2 Розрахунок комбінованої системи сонячного колектора з тепловим насосом

Принцип дії теплового насоса відомий вже більше 100 років. Уперше в Європі потужний тепловий насос для опалювання будівлі був застосований в Цюріху в 1938 р. Випробування теплового насоса проводилися в 50-і роки у Вищому технічному училищі, м. Дрезден. У ГДР перші теплові насоси виконані по системі повітря - повітря. Вони були випробувані на початку 70-х років в Інституті повітряної і холодильної техніки, м. Дрезден, в якості кімнатних агрегатів і в Інституті енергопостачання в якості теплових насосів з декількома конденсаторами для безпосереднього опалювання житла, за розчленованою схемою. Після завершення експериментальної розробки комплексної системи використання енергії в Інституті повітряної і холодильної техніки, м. Дрезден, в 1978-1979 рр. в ГДР почалося широке застосування теплових насосів.

Тепловий насос здійснює передачу внутрішньої енергії від енергоносія з низькою температурою до енергоносія з більш високою температурою. Оскільки, відповідно до другого основного закону термодинаміки, тепла енергія без яких-небудь зовнішніх дій може переходити тільки з високого температурного рівня на нижчий, для здійснення теплонасосного циклу

необхідно використати приводну енергію. Тому процес передачі енергії в напрямі, протилежному до природного температурного натиску, здійснюється в круговому циклі. Як приклад приведена схема парової холодильної машини, де робочою речовиною служить кипляча при низькій температурі рідина, названа хладагентом, оскільки вона вже впродовж багатьох років застосовується в холодильних установках.

Енергоносії, що поставляють теплову енергію з низькою температурою для здійснення тепло насосного циклу, називають джерелами теплоти. Вони віддають теплову енергію шляхом теплопередачі, конвекції і (чи) випромінювання. Енергоносії, що сприймають в теплонасосному циклі теплову енергію підвищеного потенціалу, називають приймачами тепла. Вони сприймають теплову енергію шляхом теплопередачі, конвекції та випромінювання. Енергоносій, що служить джерелом теплоти, поступає у випарник, де випаровується рідкий хладагент. Теплота випару, необхідна для цього, відбирається від джерела тепла, оскільки випар у хладагенту відбувається при низькій температурі.

У круговому циклі пари у хладагенту, що випарувалися, всмоктуються компресором і стискаються до високого тиску. При стискуванні їх температура підвищується, що створює можливість віддачі теплової енергії теплоприймачу.

Пари у хладагенту при підвищеному тиску поступають в конденсатор, через який протікає енергоносій, що служить приймачем тепла. Його температура нижче температури пари хладагенту при підвищеному тиску. При конденсації пари виділяється теплова енергія, сприймана теплоприймачем. З конденсатора рідкий хладагент через регулюючий вентиль (дросельний клапан) поступає назад у випарник, і круговий цикл замикається. У регулюючому вентилі високий тиск, при якому знаходиться хладагент на виході з конденсатора, знижується до тиску у випарнику. Одночасно знижується його температура.

Таким чином, за допомогою теплового насоса можлива передача теплової енергії від джерела теплоти з низькою температурою до приймача теплоти з високою температурою при підводі ззовні механічній енергії для приводу компресора(приводній енергії). Схема холодильної машини і теплового насоса відрізняється тільки призначенням.

До холодильних машин відноситься устаткування, яке дозволяє здійснити відбір теплової енергії від тіл з температурою нижче температури довкілля (тобто виробництво холоду). Якщо вимагається отримати певну кількість теплоти з високою температурою або одночасно і теплоти, і холоду, таке устаткування відносять до теплових насосів.

Тепло продуктивність (теплова потужність) теплового насоса складається з двох складових: теплоти, отриманої випарником від джерела теплоти (холодовиробництво Q_0), і приводної потужності P , за допомогою якої отримана теплова енергія піднімається на більш високий температурний рівень.

Звідси можна дати наступне визначення тепловим насосам:

"Тепловий насос є пристроєм, що сприймає тепловий потік при низькій температурі(на холодній стороні), а також необхідну для приводу енергію і що використовує обидва потоки енергії при підвищеній (в порівнянні з холодною стороною) температурі у вигляді теплового потоку".

Це визначення дійсне для компресійних теплових насосів, а також для абсорбційних і термоелектричних насосів, що використовують ефект Пельтьє.

У абсорбційному тепловому насосі механічний компресор замінений термічним у вигляді додаткового циркуляційного контуру розчину з генератором (кип'ятильником) і абсорбером. Замість електричної приводної енергії, що підводиться до компресійних теплових насосів з електроприводом, до генератора підводять теплову енергію. Проте, для обох процесів використовуються за допомогою випарника джерела енергії у вигляді відпрацьованої теплоти або енергії довкілля.

Зазвичай в процесі перетворення енергії енергія довкілля є кінцевим етапом процесу. Енергія, що виділяється при спалюванні твердого палива або в ядерних реакторах, проходить велике число перетворень, поки набуває необхідної для споживача форми, повністю використовується і, нарешті, практично завжди переходить в енергію довкілля.

Теплові насоси вимагають абсолютно іншого теоретичного підходу. Тут на початку процесу в якості джерела теплоти разом з приводною енергією використовується також і енергія довкілля.

Принцип дії теплонасосної установки заснований на тому, що при підводі низькопотенційної теплоти у випарник відбувається процес кипіння робочого тіла, пари якого стискаються в компресорі з підвищенням ентальпії і температури. В конденсатор теплота фазового переходу робочого тіла передається технологією, теплоносію. У дросель - клапан знижується температура та тиск робочого тіла, що знаходить назад у випарник. Теплонасосні установки класифікують: за принципом роботи - на термомеханічні, що використовують процеси підвищення та пониження тиску робочого тіла; електромагнітні, використовують постійні або змінні електричні або магнітні поля.

Принципова схема подібної системи представлена на рисунку 2.1 [6]. Її робота полягає в наступному. Рідина, що подається насосом 1 і нагріта в СК 2 за рахунок сонячної радіації до температури трохи вищої, ніж температура зовнішнього повітря, служить джерелом теплоти для ТН. Рідину спрямовують у випарник 3, де вона охолоджується, віддаючи теплоту холодоагенту, який випаровується. Пари, що утворилися, перегріваються в теплообміннику-переохолоджувачу 4 на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ для забезпечення надійної і безпечної роботи компресора 5. Засмоктувані компресором перегріті пари піддаються стискуванню. При цьому підвищуються тиск і температура холодоагенту. Гарячі пари поступають в конденсатор 6, де охолоджуються і конденсуються, нагріваючи водопровідну воду (ХВ) до необхідної температури. Конденсат холодоагенту переохолоджується в 4 і дроселює в 7.

Через це знижується тиск і температура холодоагенту, а волога пара, що утворилася, знову поступає у випарник 3 і цикл замикається. Нагріта водопровідна вода акумулюється в баку 8.

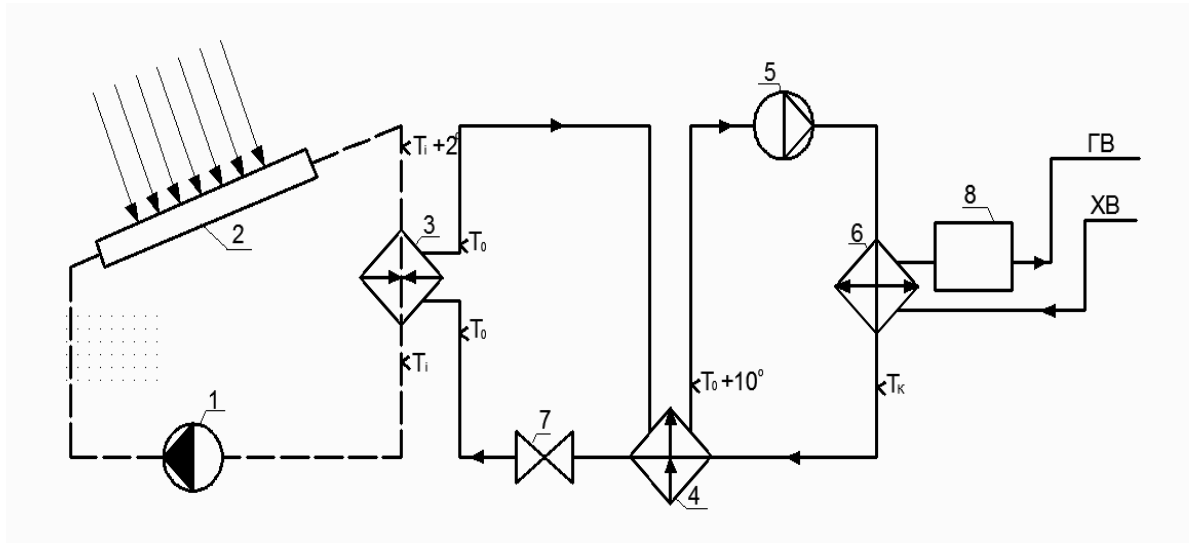


Рисунок 2.1 - Схема роботи теплового насосу з СК

В запропонованій комбінованій системі температура рідини в СК близька до температури навколишнього середовища, і тому колектор працює при ефективності, близькій до максимальної. Найбільша ефективність ССТ з тепловим насосом для даного типу СК забезпечується при ефективності СК 0,74.

Температура рідини на вході в СК, °С

$$T_i = T_0 - \frac{\eta_{СК}^{ТН} - F_R(\tau\alpha)_n}{F_R U_L} \cdot I_a = 23,4 - \frac{0,74 - 0,7618}{4,455} \cdot 1004,7119 = 28,32$$

Температура випаровування холодоагенту у випарнику ТН, °С

$$T_0 = T_i - 5 = 28,32 - 5 = 23,32$$

Аналогічно виконується розрахунок значення T_0 для інших місяців.

Температура конденсації, °С

$$T_k = T_{Г.В} + 5 = 55 + 5 = 60$$

де $T_{Г.В}$ - температура гарячої води для потреб ГВП, °С.

Температура холодоносія на вході у випарник, °С

$$T_x = T_i + 2 = 28,32 + 2 = 30,32.$$

Аналогічно виконується розрахунок значення T_x для інших місяців.

Розрахунок коефіцієнта перетворення (КОП) ТН наведемо для квітня.

За допомогою програми CoolPack, прийняв перегрів пари на вході у компресор 10 °С, будуюмо цикл ТН на р-h діаграмі фреону R410а, де визначаємо КОП.

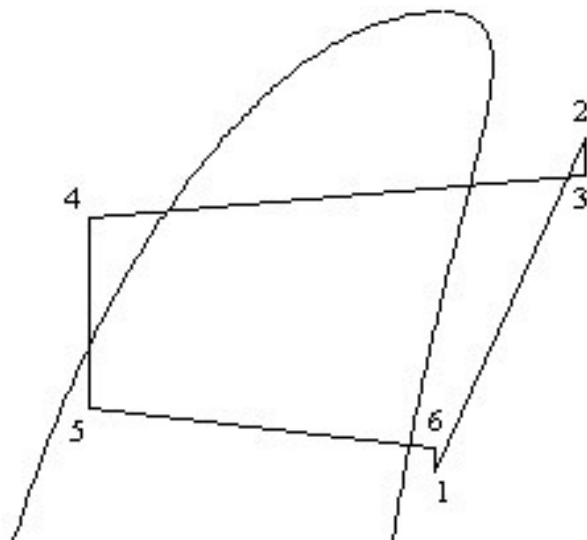


Рисунок 2.2- Принципова Ph діаграма роботи теплового насосу

Найбільш зручним засобом розрахунку КОП, а також інших параметрів циклу, є прикладна програма Coolpack [6]. Це застосування дозволяє робити різні розрахунки, у тому числі з використанням діаграм. Опишемо лише найнеобхідніші процедури, що дозволяють розраховувати КОП теплового насоса.

Після завантаження Coolpack вибираємо вкладку Refrigeration utilities (кнопка, на якій намальована сніжинка). Потім у вікні, що відкрилося, на панелі інструментів натискаємо кнопку із змальованою Log(p)-h діаграмою (при наведенні курсора з'являється найменування кожної кнопки). У вікні, що відкрилося, вибираємо холодоагент, що цікавить, – з'являється зображення діаграми Log(p)-h. Щоб ввести параметри циклу натискаємо кнопку Cycle. У вікні, що відкрилося, вводимо температури випару (Evaporating temperature), конденсації (Condensing temperature), перегріву після випарника (Superheat), переохолодження після конденсатора (Subcooling) і ізоентропійний ККД компресора (Isentropic efficiency).

Всі перераховані параметри мають бути або прийняті, або розраховані перед побудовою циклу. Якщо перегрів пари після випарника здійснюється за рахунок теплоти охолодження рідини після конденсатора (що часто використовується в теплових насосах), то величина переохолодження має бути визначена за допомогою Coolpack, що буде пояснене нижче.

Для більшої точності розрахунку циклу можна вказати, хоч би орієнтовно, втрати тиску у випарнику і конденсаторі, а також в трубопроводах (перші з перерахованих можна прийняти 0,15 бара, другі – 0,05 бара).

Коли всі вказані параметри введені, потрібно натиснути кнопку Draw cycle – накреслити цикл. Для збереження цього циклу можна використовувати пункт Save Image меню File, і вказати дорогу до носія, на який буде записаний цей цикл у вигляді картинки. Якщо натиснути кнопку Show info панелі інструментів, буде виведена інформація про навантаження випарника, конденсатора, роботу компресора і значення КОП. Необхідно відзначити, що приведені значення КОП - це КОП холодильного циклу, а КОП теплового насоса, як вказано вище, приблизно на 1,0 більше. Відмінність цієї різниці від 1,0 пов'язана з тим, що при розрахунку КОП холодильного циклу переохолодження конденсату враховується, а в КОП теплового насоса - ні. Механічний ККД компресора в цьому значенні не

врахований. Натиснув тепер кнопку *Coordinates of points*, ми побачимо значення параметрів в деяких характерних точках циклу. Нумерацію цих точок можна побачити, натиснув кнопку *Help*. Натиснув у вказаних вікнах кнопку *Copy*, можна зберегти дані в буфер, звідки вони можуть бути записані, наприклад, в Блокнот.

Відзначимо ще дві важливі функції, представлені на панелі інструментів. Кнопка *Saturation table* дозволяє вивести на екран параметри точок пограничної лінії (наприклад, закінчення випару або початку і кінця конденсації). Натиснув її, потрібно у вікні, що відкрилося, вказати холодоагент, максимальну і мінімальну температури, а також крок по температурі, з яким буде виведена на екран таблиця параметрів.

Кнопка *Table* дозволяє вивести параметри будь-якої точки діаграми. Для цього у вікні, що відкрилося, потрібно вказати для даного холодоагенту нижні і верхні межі зміни температури і тиску, що цікавлять, а також крок їх варіювання. Потім в таблиці, що з'явилася, в третій незаповненій колонці потрібно вибрати в падаючому меню параметр, що цікавить. Відзначимо, що слово *saturated* означає насичений, *varour* – пара, *liquid* – рідина, *gas* відноситься до перегрітої пари.

Знаходження в програмі *CoolPack* для фреону R410a ентальпії та температури випаровування холодоагенту у випарнику, для цього обираємо команду *Saturation table* і інтерполюємо h_g для температури червня місяця $h_g = 431,86$ кДж/кг, для липня $h_g = 432,38$ кДж/кг, для серпня $h_g = 432,29$ кДж/кг.

Знаходження ентальпію в кінцевій точці перегріву фреону за допомогою команди *Show info/Coordinates of points* - 443,127 кДж/кг.

Величина ентальпії перегріву на 10 °С, дорівнює величині переохолодження в теплообміннику, кДж/кг

$$h_{\text{перегр.}} = 443,127 - 431,8,$$

$$h_{\text{перегр.}} = 11,27.$$

Знаходження ентальпії температури конденсації 60 °C .

За допомогою програми CoolPack, обираємо команду Saturation table, маємо h_i 318,64 кДж/кг.

Знаходимо ентальпію кінцевої точки переохолодження в теплообміннику-переохолоджувачу, кДж/кг

$$h_{\text{охол.}} = 318,64 - 10,837,$$

$$h_{\text{охол.}} = 307,37.$$

Для знайденої ентальпії h_i в попередньому корці шукаємо температуру за допомогою команди Saturation table 56,2 °C.

Температура переохолодження в теплообміннику, °C

$$\Delta t = 60 - 56,2 = 3,8.$$

Результати розрахунків програми CoolPack для червня місяця наступні (рис.2.3).

$$T_e \text{ [}^\circ\text{C]} = 28,32;$$

$$T_c \text{ [}^\circ\text{C]} = 60,00;$$

$$DT \text{ subcooling [K]} = 3,80;$$

$$DT \text{ superheat [K]} = 10,00;$$

$$Dp \text{ condenser [Bar]} = 0,00;$$

$$Dp \text{ liquid line [Bar]} = 0,00;$$

$$Dp \text{ evaporator [Bar]} = 0,00;$$

$$Dp \text{ suction line [Bar]} = 0,00;$$

$$Dp \text{ discharge line [Bar]} = 0,00;$$

$$\text{Isentropic efficiency} = 0,77;$$

Calculated:

$$Q_e \text{ [kJ/kg]} = 135,253;$$

$$\begin{aligned}
 Q_c \text{ [kJ/kg]} &= 162,211; \\
 W \text{ [kJ/kg]} &= 26,958; \\
 \text{COP [-]} &= 5,02; \\
 \text{Pressure ratio [-]} &= 2,117.
 \end{aligned}$$

Розрахунковий КОП по отриманим даним для червня місяця

$$\text{КОП} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_1} = \frac{470,084 - 318,64}{470,084 - 443,127} = 5,6.$$

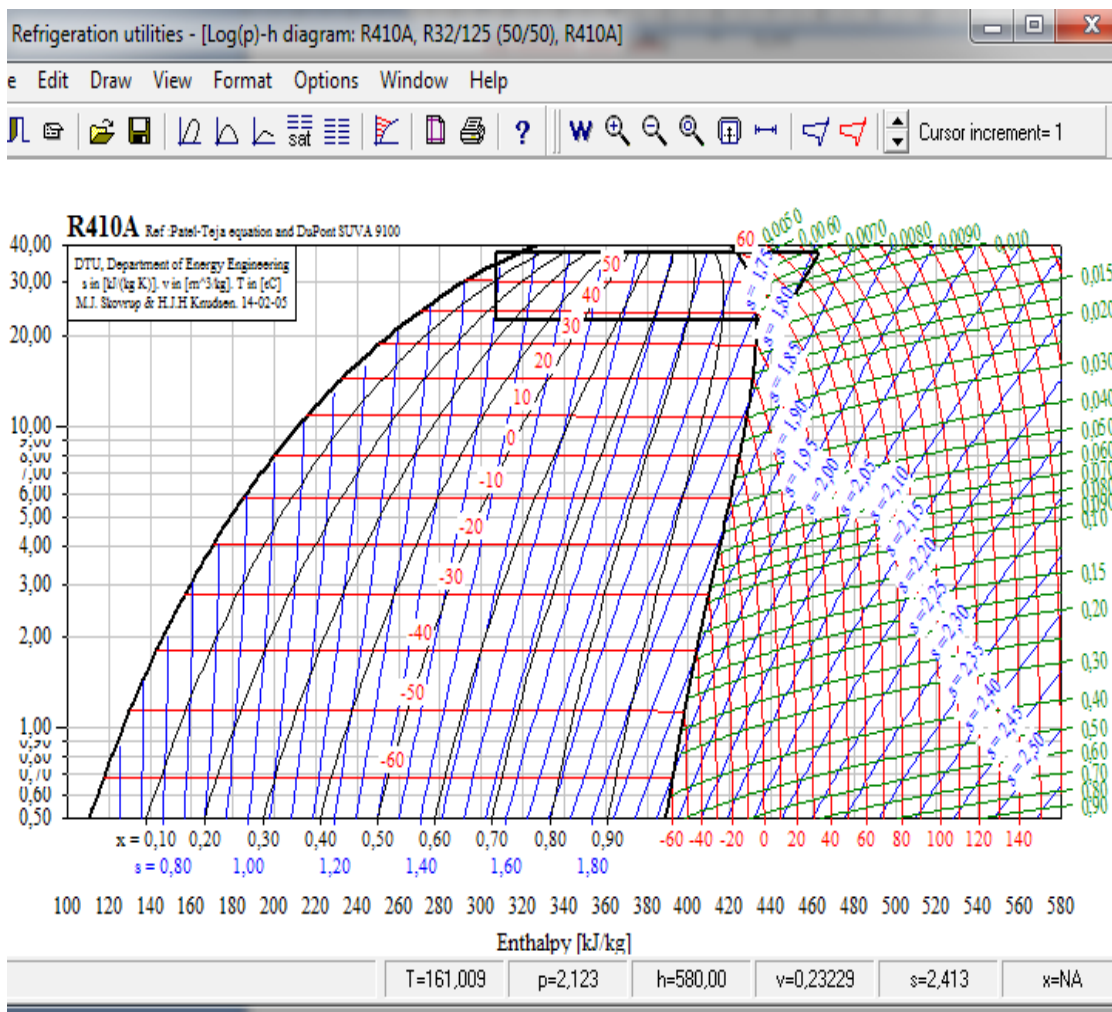


Рисунок 2.3 - hs -діаграма теплового насосу для червня місяця

Результати розрахунків програми CoolPack для липня місяця (рис. 2.4).

Refrigerant: R410A.

$$T_e [^{\circ}\text{C}] = 26,32;$$

$$T_c [^{\circ}\text{C}] = 60,00;$$

$$DT \text{ subcooling [K]} = 3,70;$$

$$DT \text{ superheat [K]} = 10,00;$$

$$Dp \text{ condenser [Bar]} = 0,00;$$

$$Dp \text{ liquid line [Bar]} = 0,00;$$

$$Dp \text{ evaporator [Bar]} = 0,00;$$

$$Dp \text{ suction line [Bar]} = 0,00;$$

$$Dp \text{ discharge line [Bar]} = 0,00;$$

$$\text{Isentropic efficiency} = 0,77.$$

Calculated:

$$Q_e \text{ [kJ/kg]} = 134,532;$$

$$Q_c \text{ [kJ/kg]} = 163,550;$$

$$W \text{ [kJ/kg]} = 29,019;$$

$$\text{COP [-]} = 4,64;$$

$$\text{Pressure ratio [-]} = 2,230.$$

Розрахунковий КОП по отриманим даним для липня місяця

$$КОП = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_1} = \frac{471,694 - 318,64}{471,694 - 442,675} = 5,2$$

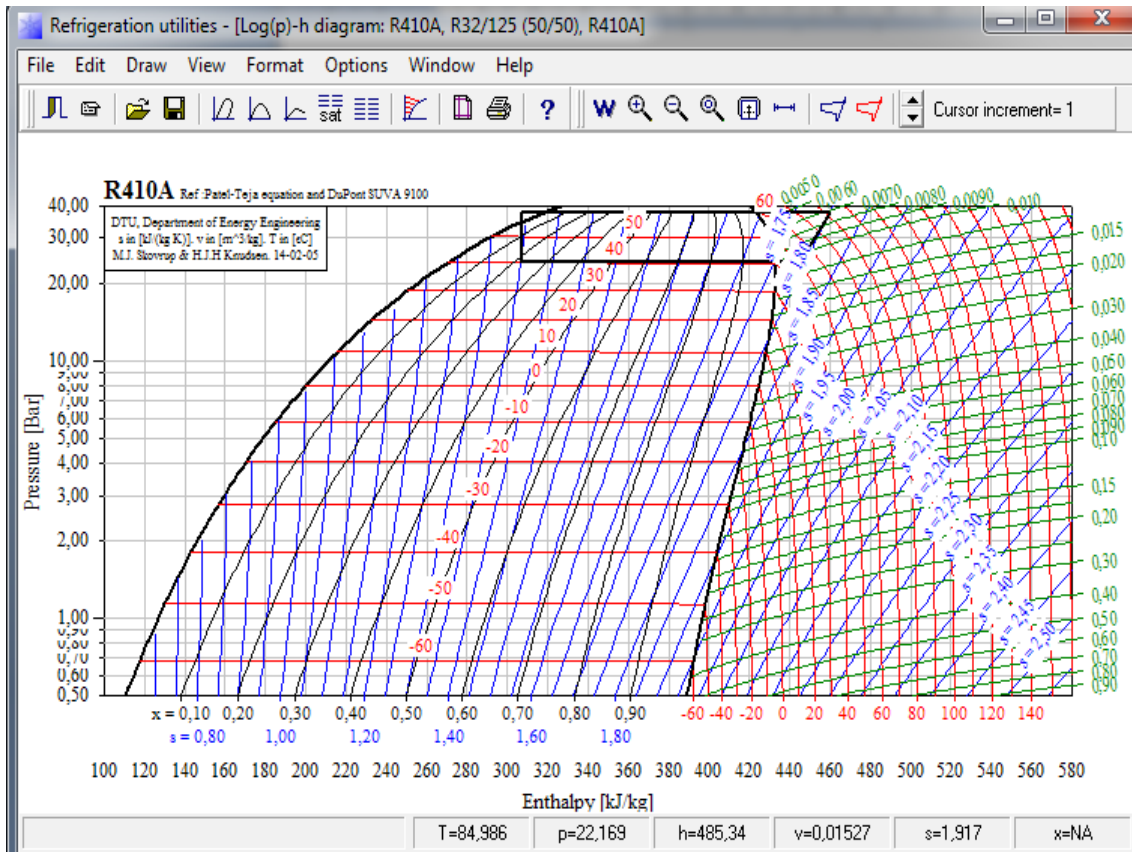


Рисунок 2.4 - hs -діаграма теплового насосу для липня місяця

Результати розрахунків програми CoolPack для серпня місяця (рис. 2.5).

Refrigerant: R410A

Data:

T_e [°C] = 25,73;

T_c [°C] = 60,00;

DT subcooling [K] = 3,90;

DT superheat [K] = 10,00;

D_p condenser [Bar] = 0,00;

D_p liquid line [Bar] = 0,00;

D_p evaporator [Bar] = 0,00;

D_p suction line [Bar] = 0,00;

D_p discharge line [Bar] = 0,00;

Isentropic efficiency = 0,77.

Calculated:

$$Q_e \text{ [kJ/kg]} = 134,929;$$

$$Q_c \text{ [kJ/kg]} = 164,564;$$

$$W \text{ [kJ/kg]} = 29,634;$$

$$\text{COP [-]} = 4,55;$$

$$\text{Pressure ratio [-]} = 2,265.$$

Розрахунковий КОП по отриманим даним для серпня

$$\text{КОП} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_1} = \frac{472,168 - 318,64}{472,168 - 442,534} = 5,18$$

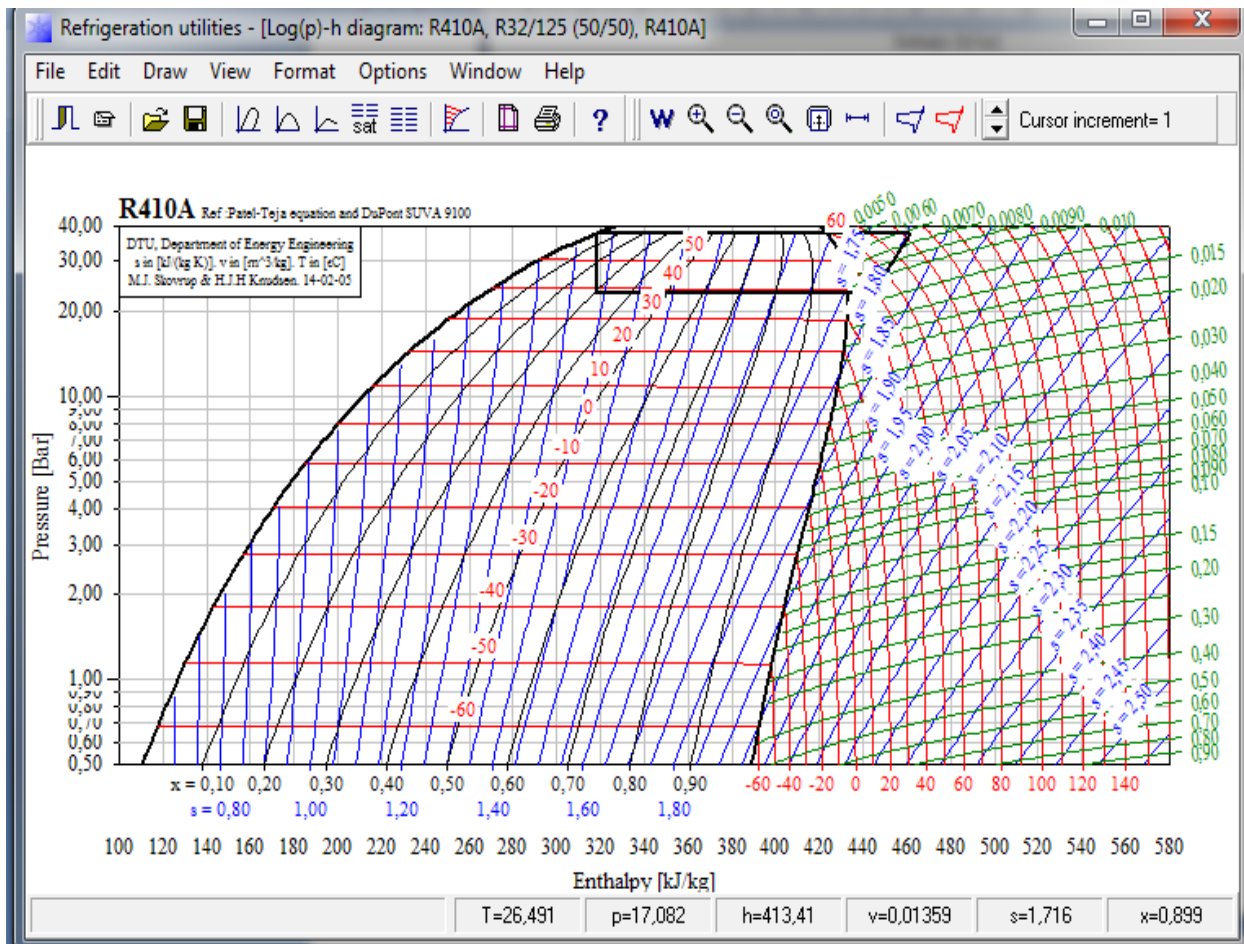


Рисунок 2.5 - hs -діаграма теплового насосу для серпня місяця

2.3 Розрахунок холодопродуктивності і затрат енергії компресором, вибір устаткування

Компресори для теплових насосів Copeland ZH обладнані системою поліпшеного вприскування пари. Ця технологія дозволяє замінити традиційні бойлери, використовувані для нагріву водопровідної води та опалення, не вимагаючи при цьому заміни радіаторів.

Крім того, ці пристрої знижують температуру нагнітання і відрізняються більш широким робочим діапазоном при виробництві гарячої води.

Модельний ряд включає дві конфігурації: для роботи з холодоагентами R407C або R410A. Обидві конфігурації пропонуються на платформах трьох розмірів. Серія включає компресори потужністю від 4 кВт до 38 кВт.

Моделі, що працюють з R410A, можуть застосовуватися виробниками обладнання для побудови ефективних і компактних комплексних систем.

Компресори серії Copeland ZH оптимізовані для нових будівель, де для опалювання використовується вода з температурою 50°C.

Компресори Copeland Scroll для опалювальних систем забезпечують високу продуктивність при низькій температурі кипіння (джерела тепла) і тому краще підходять для систем опалення, ніж поршневі компресори.

Спеціальна конструкція спіралі дозволяє досягти високої ефективності в системах теплових насосів, особливо в умовах, коли джерело тепла має невисоку температуру.

Крім того, це дозволяє застосовувати менше додаткового опалення в холодний сезон. Тривалість роботи компресорів Copeland Scroll до того ж підвищує ефективність компресорів ZH.

Робота виконана компресором, Вт

$$P_K = \frac{Q'_{ГВП}}{КОП} = \frac{19605,8}{5,6} = 3501,034$$

Результати розрахунку по літнім місяцям занесене до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Значення P_k для кожного місяця

Потужність\Місяць	червень	Липень	серпень
$P_k, \text{Вт}$	3501,034	1552,037	4016,087

Холодопродуктивність (навантаження випарника ТН), Вт

$$Q_e = Q'_{ГВП} - P_k = 19605,8 - 3501,034 = 16104,759$$

Значення холодопродуктивності для літніх місяців наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Значення Q_e для кожного місяця

Місяць	червень	липень	серпень
$Q_e, \text{Вт}$	16104,75	6518,55	16787,24

Площа колектора в системі з ТН, м^2

- для червня

$$F_{ск}^{mn} = \frac{Q_e}{I_a \cdot \eta_{ск}^{mn}} = \frac{16104,759}{1004,712 \cdot 0,74} = 21,66 ;$$

- для серпня

$$F_{ск}^{mn} = \frac{Q_e}{I_a \cdot \eta_{ск}^{mn}} = \frac{16787,24}{906,245 \cdot 0,74} = 24,69$$

Електрична потужність на привід компресора, Вт

$$N_k = \frac{P_k}{\eta_{\text{мех}}} = \frac{3501,034}{0,95} = 3685,3.$$

де $\eta_{\text{мех}}$ – механічний ККД компресора, приймається рівним 0,95

Значення потужності по літнім місяцям наведено у таблиці 2.3.

Табл. 2.3 Значення N_k для кожного місяця

Місяць	червень	липень	серпень
$N_k, \text{Вт}$	3685,30	1633,72	4227,46

Значення потужності компресора для найхолоднішого місяця є вихідною інформацією для вибору ТН; а значення $F_{\text{СК}}^{\text{ТН}}$ для цього ж місяця визначає площу сонячного колектора в системі з ТН.

2.4 Розрахунок NPV

Як відомо, термін окупності – це відношення капітальних витрат до річної економії. Метод, в якому враховується тимчасова вартість грошей, є розрахунком чистої дисконтованої вартості (ЧДВ). В такому методі оцінювання враховуються вигоди від проекту на всьому протязі його дії. Він дозволяє приводити майбутні вигоди до поточної вартості грошей (тобто перераховувати їх на теперішній момент).

$$\text{ЧДВ} = \text{ПВВ} - \text{ПВК},$$

де ПВВ - приведена вартість вигод;

ПВК – приведена величина капітальних вкладень. (Відмітимо, що коли треба вибрати між впровадженням енергозберігаючого проекту і

традиційного, в якості капітальних вкладень при розрахунку ЧДВ беруть різницю між затратами на енергозберігаючий проект і традиційний, тобто додаткові вкладення на енергозбереження).

$$ПВВ = \sum_{j=1}^n ПВ_j = \sum_{j=1}^n (E \times K_j),$$

де $ПВ_j$ – приведені вигоди в j -м році;

E – річна економія енергії;

K_j – коефіцієнт дисконтування.

$$K_j = \frac{1}{(1+i)^j},$$

де i – рівень дисконту у формі десяткового числа (дисконтна ставка);

j – номер року.

Метод розрахунку ЧДВ показує, чи заробляє інвестиція більше (позитивна ЧДВ) або менше (негативна ЧДВ), ніж відповідно до наміченого темпу повернення. Іншими словами, енергозберігаючий проект вважається вигідним, якщо ЧДВ більше нуля.

Значення дисконтної ставки, при якій ЧДВ рівно нулю називається внутрішньою нормою прибутку (ВНП).

Поточні затрати на роботу компресора ТН визначаються як сума добутків потужностей компресора, розрахованих для кожного місяця, помножених на число годин роботи в даному місяці, яке рівне числу годин сонячного світіння, кВт·год

$$\begin{aligned} W &= \sum N_{ki} \cdot n_i^{cc} \cdot 10^{-3} = \\ &= (3685.299 \cdot 315 + 1633.723 \cdot 345 + 4227.46 \cdot 318) \cdot 10^{-3} = 3068,83 \end{aligned}$$

$$S_{ел.ен2} = W \cdot Z_{ел.ен2} = 3068,83 \cdot 1,75 = 5370,45$$

де $Z_{ел/ен}$ – вартість електричної енергії, грн/кВт-год.

Витратами на роботу насоса можна нехтувати, так як вони малі в порівнянні з витратами на роботу компресора.

Капітальні витрати на тепловий насос, включаючи проектні роботи та роботи по впровадженню системи, можна прийняти рівними 500\$ на 1 кВт електричної потужності, грн

$$S_{ТН} = 500 \cdot N_K \cdot 10^{-3} = 500 \cdot 24,5 \cdot 4227,46 \cdot 10^{-3} = 51786,38,$$

Розрахунок економічних показників комбінованої системи для $F_{max} = 28,9 \text{ м}^2$, беручи до уваги, що площа поглинаючої поверхні колектора SintSolar CS - $1,88 \text{ м}^2$, то

$$\frac{24,69}{1,88} = 13,13 \approx 14 \text{ шт}$$

Економія для ГВП, грн

$$E = \left(\frac{56072300}{3600} - S_{ел.ен2} \right) \cdot Z_{ел.ен} = (15575 \cdot 1,2227) - 3752,26$$

$$E = 15292,069.$$

де $Z_{ел.ен}$ - ціна на електричну енергію взята.

Обсяг бака акумулятора м^3

$$V_6 = 24,69 \cdot 0,075 = 1,85.$$

Так як проектується літня установка, то теплоносієм являється вода, і необхідність бака акумулятора з теплообмінником відсутня. Обираємо бак "Galmet SG(B) Vufor (Польща) , об'ємом 2 м³ за ціною, грн

$$Z_6 \frac{19400}{4} = 4850$$

Ціна баку акумулятору, в залежності від обсягу, наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Ціна бака акумулятора вітчизняного виробництва, грн

Vба. м ³	Z ба, грн
0,3	12250
0,4	14750
0,5	16500
0,8	19750
1	25450
1,5	39250
2	48500
2,5	62500
3	71500

Капітальні втрати на придбання ССК с ТН площею 28,9 м²

$$KB = (14 \cdot 43890) \cdot 1,03 + 75000 + 183890,45 + 4850,$$

$$KB = 940280,83.$$

Період окупності, рік

$$\tau = \frac{KЗ}{Э} = \frac{940280,83}{154790,68} = 6,149$$

Результати розрахунків для різних фірм систем сонячних колекторів

зведено до таблиць 2.5-2.7.

Таблиця 2.5 - Комбінована система ССК SintSolar з тепловим насосом

Місяць	Ti	To	КОП(cool)	КОП	Рк,Вт	Qв,Вт	Nk
червень	28,318	23,318	5,020	5,600	3501,035	16104,759	3685,300
липень	31,329	26,329	4,640	5,200	1552,037	6518,557	1633,724
серпень	30,736	25,736	4,550	5,180	4016,088	16787,246	4227,461

Продовження таблиці 2.5

W,кВт	s ел.ен.	Стн	F	Е,грн	КЗ	τ
3068,83	3752,26	18389,45	21,661	159290,06	921850,45	6,028
6	6	3	8,809			
			24,699			

Таблиця 2.6 - Комбінована система ССК Atmosfera з тепловим насосом

	Ti	To	КОП(cool)	КОП	Рк,Вт	Qв,Вт	Nk
червень	26,399	21,399	3,880	4,580	4280,741	15325,053	4506,043
липень	29,445	24,445	4,320	4,990	1617,354	6453,241	1702,477
серпень	29,005	24,005	4,250	4,920	4228,320	16575,014	4450,863

Продовження таблиці 2.6

W,кВт	s ел.ен.	Стн	F	Е,грн	КЗ	τ
3422,13	4184,24	19361,25	20,612	148600,09	903010,25	6,077
3	2	4	8,721			
			24,386			

Таблиця 2.7 - Комбінована система ССК Sunsystem з тепловим насосом

	Ti	To	КОП(cool)	КОП	Рк,Вт	Qв,Вт	Nk
червень	25,881	20,881	3,800	4,520	4337,565	15268,229	4565,858
липень	28,936	23,936	4,230	4,910	1643,706	6426,889	1730,216
серпень	28,538	23,538	4,150	4,860	4280,521	16522,812	4505,812

Продовження таблиці 2.7

W,кВт	s ел.ен.	Стн	F	Е,грн	КЗ	τ
3468,81	4240,34	19600,28	20,536	148030,98	924500,28	6,245
2	6	2	8,686			
			24,310			

Навантаження гарячого водопостачання на червень місяць, кВт·год

$$Q_{\text{Г.В.}} = \rho C_p V_{\text{Г.В.}} \left(T_{\text{Г.В.}} - T_{\text{Х.В.}} \right) N_{\text{п}},$$

$$Q_{\text{Г.В.}} = 1000 \cdot 4187 \cdot 0,03 \cdot (55 - 15) \cdot (200 \cdot 15 + 285 \cdot 5) / 10^9 = 22,23 \text{ ГДж} = 6175,$$

- розрахунок навантаження водопостачання за липень місяць, кВт·год

$$Q_{\text{Г.В.}} = \rho C_p V_{\text{Г.В.}} \left(T_{\text{Г.В.}} - T_{\text{Х.В.}} \right) N_{\text{п}},$$

$$Q_{\text{Г.В.}} = 1000 \cdot 4187 \cdot 0,03 \cdot (55 - 15) \cdot 285 \cdot 7 / 10^9 = 10,02 \text{ ГДж} = 2784,$$

- розрахунок навантаження водопостачання на серпень місяць, кВт·год

$$Q_{\text{Г.В.}} = \rho C_p V_{\text{Г.В.}} \left(T_{\text{Г.В.}} - T_{\text{Х.В.}} \right) N_{\text{п}},$$

$$Q_{\text{Г.В.}} = 1000 \cdot 4187 \cdot 0,03 \cdot (55 - 15) \cdot (285 \cdot 4 + 200 \cdot 18) / 10^9 = 23,81 \text{ ГДж} = 6615,$$

- річне навантаження на $Q_{\text{г.в.}}$, кВт·год

$$\sum Q_{\text{г.в.}} = 56,07 \text{ ГДж} = 15575,$$

де ρ – щільність води $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$;

C_p – теплоємність води $C_p = 4187 \text{ Дж/(кг·К)}$;

$V_{\text{г.в.}}$ – добова витрата гарячої води на людину, м^3 ;

$T_{\text{г.в.}}$ – температура гарячої води $T_{\text{г.в.}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$;

$T_{x.v.}$ – температура холодної води , для літніх місяців $T_{x.v.}=15$
°C ;

N – кількість відпочиваючих;

n_D – кількість днів.

Знаходження об'єму баку акумулятора, м³

$$V_6 = A \cdot F_{ск} \cdot 0,075,$$

$$V_6 = 1 \cdot 1,88 \cdot 0,075 = 0,141,$$

A - кількість колекторів, шт ;

$F_{ск}$ - площа абсорбації (активна площа колектора), м²;

0,075 - безрозмірний коефіцієнт , для розрахунку необхідного об'єму бака акумулятора [2].

У зв'язку з тим, що система працює тільки в літній період, необхідності в баці з теплообмінником немає. Ціна розраховувалась як $Z_{бак.т.}$ (бак з теплообмінником необхідної ємності)·0,25 [2]

$$Z = Z_{бак.т.} \cdot 0,25,$$

$$Z_{бак} = 35000 \cdot 0,25 = 8750,$$

$Z_{бак.т.}$ 3500 - ціна бака з теплообмінником V -0,2 м³ , найближча до розрахованої ємності , грн;

Кількість теплової енергії яку отримає теплоносій за серпень, найхолодніший місяць літа місяць, кВт·год

$$Q_{ск1} = A \cdot F_{ск} \cdot \eta_{ск} \cdot H_{T.міс.}$$

$$Q_{CK} = 17 \cdot 1,88 \cdot 0,7314 \cdot \left(\frac{1037,47 \cdot 10^3}{3600} \right) = 6736,5,$$

$$H_{T, \text{міс.}} - \text{Прихід сонячної радіації на поверхність} \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$$

Навантаження на серпень місяць складає $Q_{г.в.}$ - 6615 кВт·год, отже кількість колекторів підібрана правильно.

Сумарна кількість теплової енергії за літній період яку може прийняти сонячний колектор, кВт·год

$$\begin{aligned} \Sigma Q_{CK} &= Q_{CK1} + Q_{CK2} + Q_{CK3}, \\ \Sigma Q_{CK} &= 7335,5 + 7990,34 + 6736,42 = 22062,26. \end{aligned}$$

Сумарна кількість теплової енергії за літній період яку прийняв сонячний колектор, в зв'язку з непотрібністю в більшій кількості, кВт·год

$$\begin{aligned} \Sigma Q_{CK} &= Q_{CK1} + Q_{CK2} + Q_{CK3}, \\ \Sigma Q_{CK} &= 6175 + 2784 + 6615 = 15575. \end{aligned}$$

Капітальні витрати на придбання сонячної системи, грн

$$\begin{aligned} KB &= A \cdot Z_{CK} + Z_{ба} + Z_{дод.об.}, \\ KB &= 1 \cdot 43890 + 8750 + 50000 = 102640, \end{aligned}$$

$Z_{дод.об.}$ - додаткове обладнання (циркуляційний насос та теплоізоляція труб), грн;

Економія грошових коштів з урахуванням відмови від електрокотла, грн

$$Z_{зес.} = \sum Q_{г.в.} \cdot Z_{ел},$$

$$Z_{\text{звс.}} = 15575 \cdot 1,85 = 28813,75.$$

Період окупності системи з розрахунку забезпечення ГВП на 100% від
ССК, рік

$$\tau = \frac{KЗ}{E},$$

Таблиця 2.8 - Оптимізація по площі сонячних колекторів SintSolar

А шт.	F, м ²	Vб, м ³	Z б, грн	Q ск, кВт·час			Σ, кВт· час	E, грн	Z ел.ен.грн	КВ,грн	Т,рік
				червень	липень	серпень					
1	1,88	0,141	8750	431,50	470,02	396,26	1297,78	5606,41	17457,54	102640	18,31
2	3,76	0,282	12250	863,01	940,04	792,52	2595,57	11212,86	15870,74	150030	13,38
3	5,64	0,423	16500	1294,51	1410,05	1188,78	3893,35	16819,27	14283,94	198170	11,78
4	7,52	0,564	19750	1726,02	1880,07	1585,04	5191,13	22425,68	12697,14	245310	10,94
5	9,4	0,705	19750	2157,52	2350,09	1981,30	6488,91	28032,09	11110,34	289200	10,32
6	11,28	0,846	19750	2589,02	2784,36	2377,56	7750,94	33484,06	9567,26	333090	9,95
7	13,16	0,987	19750	3020,53	2784,36	2773,82	8578,71	37060,03	8555,15	376980	10,17
8	15,04	1,128	25450	3452,03	2784,36	3170,09	9406,47	40635,95	7543,04	426570	10,50
9	16,92	1,269	25450	3883,54	2784,36	3566,35	10234,24	44211,92	6530,93	470460	10,64
10	18,8	1,41	25450	4315,04	2784,36	3962,61	11062,00	47787,84	5518,82	514350	10,76
11	20,68	1,551	39250	4746,54	2784,36	4358,87	11889,77	51363,81	4506,72	572040	11,14
12	22,56	1,692	39250	5178,05	2784,36	4755,13	12717,53	54939,73	3494,61	615930	11,21
16	30,08	2,256	62500	6175,83	2784,36	6340,17	15300,35	66097,51	336,60	814740	12,33
17	31,96	2,397	71500	6175,83	2784,36	6615,46	15575,64	67286,76	0,00	867630	12,89

Таблиця 2.9 - Оптимізація по площі сонячних колекторів Atmosfera

А шт.	F, м ²	Vб, м ³	Z б, грн	Q ск, кВт·час			Σ, кВт· час	E, грн	Z ел.ен.грн	КВ,грн	Т,рік
				червень	липень	серпень					

1	1,85	0,26085	875	416,48	454,10	382,71	1253,29	5414,21	17457,54	100600	18,58
2	3,7	0,5217	1225	832,95	908,19	765,42	2506,57	10828,38	15870,74	145950	13,48
3	5,55	0,78255	1650	1249,43	1362,29	1148,14	3759,86	16242,60	14283,94	192050	11,82
4	7,4	1,0434	1975	1665,90	1816,39	1530,85	5013,14	21656,76	12697,14	237150	10,95
5	9,25	1,30425	1975	2082,38	2270,48	1913,56	6266,43	27070,98	11110,34	279000	10,31
6	11,1	1,5651	2545	2498,86	2724,58	2296,27	7519,71	32485,15	9567,26	326550	10,05
7	12,95	1,82595	2545	2915,33	2784,36	2678,98	8378,67	36195,85	8555,15	368400	10,18
8	14,8	2,0868	3925	3331,81	2784,36	3061,70	9177,86	39648,36	7543,04	424050	10,70
9	16,65	2,34765	3925	3748,29	2784,36	3444,41	9977,05	43100,86	6530,93	465900	10,81
10	18,5	2,6085	3925	4164,76	2784,36	3827,12	10776,24	46553,36	5518,82	507750	10,91
12	22,2	3,1302	4850	4997,71	2784,36	4592,55	12374,62	53458,36	4506,72	600700	11,24
13	24,05	3,39105	4850	5414,19	2784,36	4975,26	13173,80	56910,82	3494,61	642550	11,29
15	27,75	3,91275	6250	6175,83	2784,36	5740,68	14700,86	63507,72	336,60	740250	11,66
18	33,3	4,6953	7150	6175,83	2784,36	6615,46	15575,64	67286,76	0,00	874800	13,00

Таблиця 2.10 - Оптимізація по площі сонячних колекторів Sunsystem PK ST NL

А шт.	F, м ²	Vб, м ³	Z б, грн	Q ск, кВт·час			Σ, кВт· час	E, грн	Z ел.ен.грн	КВ,грн	T,рік
				червень	липень	серпень					
1	2,41	0,18075	875	536,38	586,61	493,89	1616,88	6984,92	17457,54	113750	16,29
2	4,82	0,3615	1475	1072,76	1173,21	987,79	3233,76	13969,84	15870,74	174750	12,51
3	7,23	0,54225	1975	1609,14	1759,82	1481,68	4850,64	20954,76	14283,94	234750	11,20
4	9,64	0,723	1975	2145,52	2346,42	1975,57	6467,52	27939,69	12697,14	28975	11,04
5	12,05	0,90375	2545	2681,90	2784,36	2469,46	7935,72	34282,31	11110,34	350450	10,22

6	14,46	1,0845	3925	3218,28	2784,36	2963,36	8965,99	38733,08	9567,26	419250	10,82
7	16,87	1,26525	3925	3754,66	2784,36	3457,25	9996,27	43183,89	8555,15	474250	10,98
8	19,28	1,446	3925	4291,04	2784,36	3951,14	11026,54	47634,65	7543,04	529250	11,11
9	21,69	1,62675	4850	4827,42	2784,36	4445,04	12056,81	52085,42	6530,93	593500	11,39
10	24,1	1,8075	4850	5363,80	2784,36	4938,93	13087,09	56536,23	5518,82	648500	11,47
11	26,51	1,98825	4850	5900,18	2784,36	5432,82	14117,36	60987,00	4506,72	703500	11,54
12	28,92	2,169	6250	6175,83	2784,36	5926,71	14886,89	64311,36	3494,61	772500	12,01
15	36,15	2,71125	7150	6175,83	2784,36	6615,46	15575,64	67286,76	336,60	946500	14,07
22	53,02	3,9765	7150	6175,83	2784,36	6615,46	15575,64	67286,76	0,00	1331500	19,79

Таблиця 2.11 - NPV ССК SintSolar без теплового насосу оптимальною площею

№ року	К, грн	К _{п-ва} =10%	Е, грн	ПН, грн	К _д	ППН, грн	К _д	ППН, грн
0	333090	1	0	-333090	1	-333090,0	1	-333090,00
1	0	1,100	36832,47	36832,47	0,870	32028,2	0,86	31697,69
2	0	1,210	40515,71	40515,71	0,756	30635,7	0,74	30006,63
3	0	1,331	44567,28	44567,28	0,658	29303,7	0,64	28405,79
4	0	1,464	49024,01	49024,01	0,572	28029,6	0,55	26890,35
5	0	1,611	53926,41	53926,41	0,497	26811,0	0,47	25455,75
6	0	1,772	59319,05	59319,05	0,432	25645,3	0,41	24097,70
7	0	1,949	65250,96	65250,96	0,376	24530,3	0,35	22812,09
8	0	2,144	71776,06	71776,06	0,327	23463,7	0,30	21595,07
9	0	2,358	78953,66	78953,66	0,284	22443,6	0,26	20442,98
10	0	2,594	86849,03	86849,03	0,247	21467,8	0,22	19352,35

11	0	2,853	95533,93	95533,93	0,215	20534,4	0,19	18319,91
12	0	3,138	105087,3 2	105087,32	0,187	19641,6	0,17	17342,55
13	0	3,452	115596,0 6	115596,06	0,163	18787,6	0,14	16417,33
14	0	3,797	127155,6 6	127155,66	0,141	17970,7	0,12	15541,47
15	0	4,177	139871,2 3	139871,23	0,123	17189,4	0,11	14712,34
Кп-ва=10 %					NPV= 25392,46		NPV= 0,00	
Дисконтна ставка, %					15,00 %		16,20 %	

Таблиця 2.12 - NPV ССК SintSolar з тепловим насосом

№ року	К, грн	К _{п-ва} =10%	Е, грн	ПН, грн	К _д	ППН, грн	К _д	ППН, грн
0	940281	1	0	-940280,8	1	-940280,8	1	-940280,83
1	0	1,100	74015,44	74015,44	0,870	64361,2	0,90	66687,38
2	0	1,210	81416,98	81416,98	0,756	61562,9	0,81	66093,34
3	0	1,331	89558,68	89558,68	0,658	58886,3	0,73	65504,59
4	0	1,464	98514,55	98514,55	0,572	56326,0	0,66	64921,08
5	0	1,611	108366,00	108366,00	0,497	53877,1	0,59	64342,77
6	0	1,772	119202,60	119202,60	0,432	51534,6	0,53	63769,61

7	0	1,949	131122,86	131122,86	0,376	49293,9	0,48	63201,56
8	0	2,144	144235,15	144235,15	0,327	47150,7	0,43	62638,57
9	0	2,358	158658,66	158658,66	0,284	45100,7	0,39	62080,60
10	0	2,594	174524,53	174524,53	0,247	43139,8	0,35	61527,59
11	0	2,853	191976,98	191976,98	0,215	41264,2	0,32	60979,51
12	0	3,138	211174,68	211174,68	0,187	39470,1	0,29	60436,31
13	0	3,452	232292,14	232292,14	0,163	37754,0	0,26	59897,95
14	0	3,797	255521,36	255521,36	0,141	36112,5	0,23	59364,39
15	0	4,177	281073,50	281073,50	0,123	34542,4	0,21	58835,58
Кп-ва= 10 %					NPV= -219904,52		NPV= 0,00	
Дисконтна ставка, %					15,00 %		10,99 %	

Таблица 2.13 - NPV ССК Atmosfera без теплового насосу з оптимальною площею ССК

№ року	К, грн	К _{п-ва} =10%	Е, грн	ПН, грн	К _д	ППН, грн	К _д	ППН, грн
0	326550	1	0	-326550	1	-326550,0	1	-326550,00
1	0	1,100	35733,67	35733,67	0,870	31072,8	0,86	30798,04
2	0	1,210	39307,03	39307,03	0,756	29721,8	0,74	29198,55
3	0	1,331	43237,73	43237,73	0,658	28429,5	0,64	27682,13
4	0	1,464	47561,51	47561,51	0,572	27193,4	0,55	26244,46
5	0	1,611	52317,66	52317,66	0,497	26011,1	0,48	24881,46

6	0	1,772	57549,42	57549,42	0,432	24880,2	0,41	23589,24
7	0	1,949	63304,37	63304,37	0,376	23798,5	0,35	22364,14
8	0	2,144	69634,80	69634,80	0,327	22763,7	0,30	21202,66
9	0	2,358	76598,28	76598,28	0,284	21774,0	0,26	20101,51
10	0	2,594	84258,11	84258,11	0,247	20827,3	0,23	19057,54
11	0	2,853	92683,92	92683,92	0,215	19921,8	0,19	18067,79
12	0	3,138	101952,32	101952,32	0,187	19055,6	0,17	17129,44
13	0	3,452	112147,55	112147,55	0,163	18227,1	0,14	16239,83
14	0	3,797	123362,30	123362,30	0,141	17434,6	0,12	15396,41
15	0	4,177	135698,53	135698,53	0,123	16676,6	0,11	14596,80
Кп-ва= 10 %					NPV= 21238,07		NPV= 0,00	
Дисконтна ставка, %					15,00 %		16,03 %	

Таблиця 2.14 - NPV ССК Atmosfera з тепловим насосом

№ року	К,грн	К _{п-ва} =10%	Е, грн	ПН, грн	К _д	ППН, грн	К _д	ППН, грн
0	945327	1	0	-945327	1	-945327,0	1	-945327,00
1	0	1,100	74015,44	74015,44	0,870	64361,2	0,90	66732,92
2	0	1,210	81416,98	81416,98	0,756	61562,9	0,81	66183,65
3	0	1,331	89558,68	89558,68	0,658	58886,3	0,73	65638,89
4	0	1,464	98514,55	98514,55	0,572	56326,0	0,66	65098,62

5	0	1,611	108366,00	108366,00	0,497	53877,1	0,60	64562,79
6	0	1,772	119202,60	119202,60	0,432	51534,6	0,54	64031,38
7	0	1,949	131122,86	131122,86	0,376	49293,9	0,48	63504,34
8	0	2,144	144235,15	144235,15	0,327	47150,7	0,44	62981,64
9	0	2,358	158658,66	158658,66	0,284	45100,7	0,39	62463,24
10	0	2,594	174524,53	174524,53	0,247	43139,8	0,35	61949,10
11	0	2,853	191976,98	191976,98	0,215	41264,2	0,32	61439,20
12	0	3,138	211174,68	211174,68	0,187	39470,1	0,29	60933,50
13	0	3,452	232292,14	232292,14	0,163	37754,0	0,26	60431,96
14	0	3,797	255521,36	255521,36	0,141	36112,5	0,23	59934,54
15	0	4,177	281073,50	281073,50	0,123	34542,4	0,21	59441,22
Кп-ва= 10 %					NPV= -224950,69		NPV= 0,00	
Дисконтна ставка, %					15,00 %		10,91 %	

3 ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів при експлуатації сонячних систем

Для запобігання аварій та нещасних випадків, пов'язаних з експлуатацією устаткування, потрібне систематичне проведення комплексних заходів технічного і організаційного характеру.

У цьому дипломному проекті проектується система плоских сонячних колекторів, направлених на потреби ГВП, на базі відпочинку у м. Кирилівка.

Серйозною проблемою є корозія теплообмінників, яка забруднює водопровідну воду, що користуються споживачі та може нанести непоправну шкоду організму людини. Для захисту від корозії застосовується газотермічне напилення трубних дощок, труб пароперегрівачів. Це відноситься тільки до кожухотрубних теплообмінників, виготовлених з вуглецевої сталі.

Електрокотел, який працює під напругою 250-380 В є резервним джерелом у системі. Електричний струм та напруга під якою він знаходиться можуть служити небезпечним та шкідливим фактором для життя людини. Тому для попередження шкоди організму людини треба дотримуватись правил користування електричним устаткуванням.

Не дивлячись на ефективну теплоізоляцію бака-акумулятора , трубопроводів гарячої води в приміщенні виділяється тепло ($>23 \text{ Вт/м}^3$), що створює в теплий період роки в залі котельні підвищену температуру до ($28 \pm 30 \text{ }^\circ\text{C}$), що заважає віддачі тепла людським тілом при фізичній роботі в даному приміщенні.

Шум створюється циркуляційним насосом , який не перевищує 45 дБА, що є допустимою нормою. Гранично допустимий рівень шуму при обслуговуванні обладнання складає 80 дБА.

Рівень шуму циркуляційного насосу незначний і не потребує захисту від нього.

3.2 Заходи з поліпшення умов праці

Щоб уникнути виникнення аварійної ситуації при роботі, систему сонячних колекторів та гарячого водопостачання оснащують приладами контролю, захисту, сигналізації і блокувань. Для запобігання витoku фреону R12 через зварні і болтові з'єднання і запірну арматуру газопровід в зборі проходить випробування на відповідність вимогам правил безпеки в газовому господарстві України.

Трубопроводи гарячої води підлягають гідравлічним випробуванням в зібраному вигляді під тиском $1,25 \cdot P_{\text{робоче}} = 1,25 \cdot 0,7 = 0,875$ МПа.

Для захисту персоналу від поразки електричним струмом в мережі трифазної напруги застосовується захисне заземлення, опір якого не більше 4 Ом. Всі струмоведучі частини і дроти ізольовані. Опір ізоляції на ділянці не менше 500 кОм. Ізоляція устаткування (нового або встановленого після ремонту) перевіряється перед пуском. Приймається захисне блокування, тобто відключення електроланцюга при аварійній ситуації з повним часом спрацьовування 0,2 секунди.

Для зменшення дії надмірних тепловиділень на людей, що працюють в котельному залі, особливо в теплу пору року, в приміщенні котельні застосовується загальнообмінна механічна припливна вентиляція по схемі «знизу-вгору», продуктивністю 7 об'ємів на годину.

3.3 Виробнича санітарія

3.3.1 Природне і штучне освітлення

Гігієнічні вимоги до виробничого освітлення, засновані на психофізичних особливостях сприйняття світла і його впливу на організм людини, можуть міститися в наступному:

- спектральний склад світла, яке створене штучно повинен наближатися до сонячного;

- рівень освітленості повинен бути достатнім і відповідати гігієнічним нормам, які враховують умови зорової роботи;

- повинні бути забезпечені рівномірність і стійкість рівня освітленості в приміщенні, щоб запобігти частій переадаптації і втоми очей.

Природне освітлення в цеху здійснюється через віконні отвори. У світлий час доби одночасно використовують природне і штучне світло, таким чином, в приміщенні передбачають поєднане освітлення.

Види електроосвітлення:

- у приміщеннях розподільних пристроїв і ГВП – робоче і переносне;

- на майданчиках обслуговування електрокотла – робоче, переносне;

Напруга мережі освітлення ~ 220 В, переносного ~ 12 В ~ 36 В.

Освітленість робочих поверхонь при штучному освітленні складає 200 лк. Як джерела світла при штучному освітленні використані наступні світильники:

- з лампами розжарювання марок Б 215-225-100, НСП11 і 100-23443;

- з люмінесцентними лампами марок ПСПО2-2 і 40 и ЛБ- 40-1.

Передбачено аварійне освітлення, яке включається у разі аварії і живиться від автономної електростанції потужністю 4 кВт. Під час обслуговування обладнання, яке знаходиться в окремому приміщенні, необхідно пильно слідкувати за дотриманням технологічних параметрів роботи установки. Розряд зорової роботи для цих умов приймаємо 4 [4]. Нормоване значення коефіцієнта природної освітленості з урахуванням характеру зорової роботи і світлового клімату в районі розташування будівлі визначається по формулі %:

$$E_n = e \cdot m \cdot c = 1 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = 0,855 \approx 0,9\%$$

де e – коефіцієнт природної освітленості (к.е.о.), $e=1\%$;

m – коефіцієнт світлового клімату (без урахування прямого сонячного світла), визначається залежно від району розташування будівлі, $m=0,9$;

c – коефіцієнт сонячності клімату (з урахуванням прямого сонячного світла), $C=0,95$.

3.3.2 Вентиляція

Таблиця 3.1 – Мікроклімат виробничих приміщень для літнього періоду року і категорії роботи 2-а [5]

Нормований параметр	Одиниці вимірювання	Допустимі значення	Фактичне значення
Температура	°C	21-23	18-27
Відносна вологість	%	40-60	50
Швидкість руху повітря	м/с	0,3	0,14
Інтенсивність теплового випромінювання	Вт/м ²	до 100	390

Роботи, що проводяться обслуговуючим персоналом в окремому приміщенні по енерговитратам можна віднести до другої категорії робіт, тобто фізична робота середньої тяжкості – пов'язана з ходьбою, така, що не вимагає перенесення тяжкості, або перенесенням невеликої тяжкості (до 10 кг). Допустимі параметри навколишнього середовища приведені в таблиці 4.2.

У приміщеннях з надлишками явного тепла температура повітря допускається не більше ніж на 3 °C вище за середню зовнішню температуру найжаркішого місяця, але не більше 28 °C.

За допомогою вентиляції усувається шкідлива дія надмірного тепла на організм людини. Застосовується змішана (природна і механічна) загальнообмінна припливна вентиляція.

3.4 Електробезпека

Як засоби індивідуального захисту від поразки електричним струмом в електромережах з напругою до 1000 В використовують: діелектричні рукавички, інструмент з ізольованими рукоятками, покажчики напруги, діелектричні калоші, гумові килимки, ізольовані підставки. Для захисту людини від поразки електричним струмом використовують захисне заземлення. Котельня відноситься до 1 категорії по надійності електропостачання. Обладнання, яке може бути небезпечним для життя людини при неправильному його використанні - це електрокотел, що є резервним джерелом для підігріву води у ГВП, підпиточний, циркуляційний насос, який прокачує рідину по системі. Також небезпечним джерелом можуть бути металеві труби, що з'єднують систему СК, які знаходяться на даху будинку.

Захист устаткування від короткого замикання здійснюється за допомогою автоматів, а від перенавантаження – тепловими реле. Система зовнішнього і внутрішнього освітлення живиться від внутрішніх мереж електропостачання.

По ступеню безпеки поразки людей електричним струмом технічне приміщення, де встановлений електрокотел, відноситься до приміщень з підвищеною безпекою.

Воно характеризується наявністю в ньому умов, що створюють підвищену безпеку: можливість одночасного дотику людини до металоконструкцій, що мають з'єднання із землею, технологічних апаратів, механізмів, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншого.

Безпека електроустаткування забезпечується:

- ізоляцією струмоведучих частин і їх закриттям;
- блокуванням апаратів для запобігання помилкових операцій за допомогою автоматичних вимикачів АЕ 2000, заземленням корпусів

електрообладнання і елементів установок, які можуть знаходитися під напругою.

Всі металеві частини електрообладнання, що не знаходяться під напругою, приєднуються до заземлюючого контуру. Як внутрішній контур заземлення використовуються металеві майданчики і сходи. Заземлення електроприймачів виконується сталевими трубами електропроводки, опір заземлюючого пристрою не повинен перевищувати 4 Ом [6]. На проводах комутаційних апаратів повинні бути чітко вказані положення «включено» і «відключено».

Спеціаліст, який обслуговує електроустановки, має кваліфікаційну групу не нижче 3-ої.

Йому слід чітко пам'ятати, що після зникнення напруги з обслуговуваної ними електроустановки, воно може бути подане знов без попередження, як в умовах нормальної експлуатації, так і в аварійних умовах. На місці роботи повинні бути відключені струмоведучі частини, на яких проводяться роботи, а також і ті, які можуть бути доступні дотику при виконанні роботи. Доступні дотику струмоведучі частини можна не відключати лише в тому випадку, якщо вони будуть захищені ізолюючими накладками. Відключення повинне проводитися так, щоб виділені для виконання роботи частини електроустановки були з усіх боків відокремлені від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, комутаційними апаратами або зняттям запобіжників. З фасадного і заднього боку щита шафи станції управління і шафи сигналізації повинні бути діелектричні гумові доріжки. Забороняється застосовувати невипробувані захисні засоби, термін чергового випробування яких закінчився.

На електроприводах, що мають автоматичне або дистанційне включення, є напис «Увага – включається автоматично!», «Увага – включається дистанційно!».

3.5 Пожежна безпека

Технічне приміщення, де встановлений електрокотел, відноситься до категорії Г – непожежобезпечне [7]. Причиною пожежі можуть бути недоліки в будівельних конструкціях, плануванні комунікацій і приміщень; дефекти обладнання; порушення режимів технологічних процесів; неправильне проведення роботи; необережність і недбалість персоналу.

Комплекс протипожежних заходів включає:

- обмеження розповсюдження вогню при виникненні пожежі;
- попередження виникнення пожеж;
- евакуація людей з будівлі, що горить;
- забезпечення умов для швидкого гасіння пожеж.

У разі потреби евакуації людей з будівлі, що горить, передбачено 2 евакуаційних виходи. У разі виникнення пожежі для зовнішнього пожежогасіння використовується пожежний гідрант, а для внутрішнього – вогнегасники. В окремому приміщенні, де встановлений електрокотел, є один щит в комплексі з: пожежним рукавом, багрою, відром і вогнегасником типу ОУ-5. В операторській технічному приміщенні є один вогнегасник типу ОПС-10 і один типу ОУ-5. Крім того, є по одному вогнегаснику типу ОУ-5 в кабінеті начальника технічного приміщення. Вогнегасники типу ОУ-5 застосовуються при гасінні електроустаткування під напругою; ОПС-10 – у будь-якому випадку.

Також у технічному приміщенні існує система пожежної сигналізації і автоматики. Для пожежної сигналізації використовують теплові датчики.

3.5.1 Умови, що сприяють виникненню пожежонебезпечних ситуацій на об'єкті

Причини пожеж:

а) наявність у запобіжних пристроях електричних установок завищеного перетину;

б) експлуатація електричних нагрівальних приладів, встановлених поблизу горючих матеріалів.

Застосування електричних нагрівальних приладів заборонено: у складських приміщеннях; у невстановлених місцях.

Куріння, розпалювання вогнищ, спалювання сміття і відходів виробництва:

а) спалювання сміття, сухої трави, відходів виробництва на території бази відпочинку та у виробничих приміщеннях не дозволяється.

Їх слід вивозити в певні місця утилізації.

Куріння заборонено (крім відведених місць) на території бази відпочинку та у виробничих приміщеннях.

При курінні в кабінетах і службових приміщеннях для збору недопалків необхідно мати попільнички або урни з негорючих матеріалів.

Застосування паяльних ламп і смолоскипів для відігрівання замерзлих трубопроводів в пожежонебезпечних приміщеннях і в будівлях зі спалимими конструкціями, в період знижених температур не дозволяється. Зварювальні і газорізальні роботи в пожежонебезпечних місцях повинні проводитися після очищення робочих місць від горючих матеріалів у радіусі 5 метрів від зварювання; наявність первинних засобів пожежогасіння та наряду - допуску встановленого зразка. Після закінчення робіт за місцем їх ведення має бути встановлено спостереження.

Пожежна сигналізація автономного характеру. Датчики виявлення загорянь реагують на підвищення температури в захищеному приміщенні. При спрацьовуванні датчика звуко-світлове табло видає звукові або світлові сигнали. Почувши сигнал, потрібно з'ясувати причину його появи. Якщо він з'явився в результаті спалаху, то необхідно підняти тривогу, зателефонувати в пожежну охорону по телефону 101 і начальнику охорони. До прибуття пожежних підрозділів необхідно стримувати розвиток пожежі

наявними засобами пожежогасіння - вогнегасниками, піском, відрами з водою та ін.

Будівля окремого технічного приміщення має захист від блискавки.

Дипломним проектом передбачено автоматичне відключення всіх систем при виникненні пожежі.

Витрата води на внутрішнє пожежогасіння прийнята два струмені по 2,5 л/с кожна.

Біля кожного пожежного щита слід встановити ящик з піском ємкістю не менше 0,5 м³ [7].

3.6 Засоби індивідуального захисту

Засоби захисту для інженерного технічного персоналу і робочих, що займаються експлуатацією і ремонтом тепловикористовуючих установок і теплових мереж наступні [8]:

- захисні окуляри типу ЗП (закриті захисні окуляри з прямою вентиляцією), брезентові рукавиці типу Ми, Мп, Тп 100, протигази промислові, запобіжні пояси, страхуючі канати;

- тимчасові огорожі, попереджувальні плакати;

- гумові діелектричні рукавички (ТУ 38-10659-79), боти (ГОСТ 12.4.065-79), калоші, килимки, що ізолюють підставки.

Захисні засоби, що знаходяться в експлуатації і в запасі, зберігаються в умовах, що забезпечують їх справність і придатність до використання без попереднього відновного ремонту, тому захисні засоби повинні бути захищені від зволоження, забруднення і механічних пошкоджень.

3.7 Розрахунок сили струму, що проходить через тіло людини

Людина доторкнулася до фазного проводу трифазної мережі 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю. Треба визначити струм I_h , який проходить через людину.

За технічним завданням:

$r_0 = 4$ [Ом] - опір електрообладнання;

$R_h = 1000$ [Ом] - опір заземлювача;

$r_{зм.} = 50$ [Ом] – землі.

Струм I_h , який проходить через людину визначаємо, мА [39]

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_0},$$

$$I_h = \frac{220}{1000 + 4} = 0,219 \text{ А} = 219.$$

Струм, що проходить через людину, доторкується до фази трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю в період нормальної її роботи, практично не змінюється зі зміною опору ізоляції та ємності проводів відносно землі, якщо зберігається умова, що повні провідності проводів відносно землі дуже малі в порівнянні з провідністю заземлення нейтралі.

При аварійному режимі, струм, що проходить через людину визначаємо за формулою, мА

$$I_a = I_h \cdot \frac{r_{зм.} + 4\sqrt{3}}{r_{зм.} \cdot r_0 + R_h \cdot (r_{зм.} + r_0)},$$

$$I_a = 219 \cdot \frac{50 + 4\sqrt{3}}{50 \cdot 4 + 1000 \cdot (50 + 4)} = 230.$$

При опорі землі, який дорівнює 50 Ом, струм буде дорівнює 232 мА. При цьому опорі, струм, що проходить через людину, перевищує допустиме значення 100 мА і є смертельним.

Висновок: в такому випадку за необхідності перебування людини біля токопровідних частин, необхідно виконувати заходи безпеки, а також стояти на гумовому килимку та одягнути гумові рукавиці. Необхідною мірою для запобігання смертельних випадків є захід по впровадженню заземлення на токопровідні елементи, такі як електродвигун для компресора теплового насосу.

ВИСНОВОК

Використання сонячної енергії на базах відпочинку дає можливість не тільки вирішити екологічну проблему, а також має економічний ефект.

1. Сонячну енергію можна направити на гаряче водопостачання. Це надасть можливість щорічно економити на приготуванні гарячої води до 60 ... 95% витрачених енергоносіїв. Додатково потрібно врахувати щорічне зростання тарифів на 10 ... 40 %, а також зниження теплотворної здатності закупаємого котельнями газу (іноді до 50%).

2. За рахунок використання сонячної енергії, відбувається зниження електричного навантаження на мережу. Нагрівання води за допомогою електричних бойлерів вимагає підведення додаткових електричних потужностей. Так, наприклад на 20 номерів, потрібно додатково підвести або вивільнити електричну потужність в 20 ... 40кВт. По-перше, це пов'язано зі значними додатковими витратами, а по-друге, в багатьох регіонах підстанції перевантажені, і отримати додаткові потужності не представляється можливим. Використання сонячних колекторів для приготування гарячої води замість традиційних електричних бойлерів, дозволяє скоротити підводиться потужності в 2 ... 3 рази.

3. Використання сонячної енергії для приготування гарячої води - це можливість постійно мати резерв і в значно меншій мірі залежати від надійності поставок традиційних енергоресурсів. На основі розрахунків можна зробити висновок що впровадження альтернативних джерел енергії на Приморському узбережжі є вигідним. Вигідність системи зросла б ще в 2-3 рази, якби її використовували весь рік, а не тільки літній період. Найбільш економічно вигідним є встановлення сонячних колекторів з розрахованою оптимальною площею. NPV встановлення оптимальної площі сонячних колекторів SintSolar за 15 років складе 25392,46 грн, при кредитуванні проекту кредитна ставка не повинна перевищувати 16,5 %.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Виссарионов В.И. Солнечная энергетика / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В. А. Кузнецова, Н.К. Малинин. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 276 с.
2. Агеев В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. — М. : КНОРУС, 2010. — 232 с.
3. Голицын М.В. Альтернативные энергоносители. — М.: Наука, 2004.-159 с.
4. C.Trinkl, W.Zorner: Vakuumrohren-und Flachkollektoren im Vergleich, Erneuerbare Energien1/2005, pp. 58-60
5. Потенціал України у відновлювальній енергетиці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://itc.ua/news/eurostat-ukraina-potentsialno-sposobna-proizvodit-74-elektroenergii-iz-vozobnovlyaemyih-istochnikov/>
6. Низькопотенційні та альтернативні джерела енергії. Навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА Енергетичного напрямку всіх форм навчання/ Уклали Бердищев М.Ю, Чейлитко А.О., Назаренко О.М. Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2015. – 270 с.
7. Валов М.И., Казанджан Б.И. Использование солнечной энергии в системах теплоснабжения: Монография. – М.: Изд-во МЭИ, 1991. – 140.:ил.
8. Качан Ю.Г., Бердишев М.Ю. Поновлювані та альтернативні джерела енергії. Методичні вказівки до курсового проекту для студентів ЗДІА спеціальності „Енергетичний менеджмент” всіх форм навчання. Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2004. – 28 с.
9. Бердишев М.Ю., Качан Ю.Г. Поновлювальні та альтернативні джерела енергії. Конспект лекцій для студентів ЗДІА спеціальності „Енергетичний менеджмент ” всіх форм навчання. – Запоріжжя,2005. – 152с.

10. Низкопотенциальные и альтернативные источники энергии. Методические указания к контрольной работе «Расчет системы солнечного теплоснабжения» для студентов дневной формы обучения специальности 7.090510 «Теплоэнергетика» А.В.Шперный, С.Е. Чижов, Н.Ю. Бердышев.- Запорожье: ЗГИА, 2003. - 36 с.: ил.

11. Расчет систем солнечного теплоснабжения. Пер.: с англ./ У.Бекман, С.Клейн, Дж. Даффи. – М.: Энергоиздат, 1982, 80с.

12. Флаксерман Ю.Н. Теплоэнергетика СССР. 1921-1980. М.: Наука,1985

13. Дикий М.О. Поновлювальні джерела енергії: Підручник. – К.: Вища шк., 1993. – 351 с.: іл.

14. Белоусов В.Н., Копытов Ю.В. Пути экономии энергоресурсов в народном хозяйстве. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 128с.: ил.

15. Бердышев Н.Ю. Энергосбережение в промышленной теплотехнике. Конспект лекций для студентов ЗГИА специальности «Теплоэнергетика» дневной и заочной форм обучения. – Запорожье: Изд-во ЗГИА,2003.-88с.

16. Використання вторинних енергоресурсів: навчально–методичний посібник для студентів ЗДІА напряму 6.050601 “Теплоенергетика” денної і заочної форми навчання / ЗДІА; уклад.: А.О.Чейлитко – Запоріжжя. : Вид–во ЗДІА, 2014. – 246 с.

17. Проектування та оптимізація систем тепlopостачання: навчально–методичний посібник для студентів ЗДІА напряму 144 “Теплоенергетика” денної і заочної форми навчання / ЗДІА; уклад.: А.О.Чейлитко – Запоріжжя. : Вид–во ЗДІА, 2016. – 200 с.

18. Математичне моделювання та оптимізація процесів тепломасообміну. Навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 144 “Теплоенергетика” денної та заочної форми навчання / Укл.: А.О.Чейлитко – Запоріжжя. Видавництво ЗДІА, 2018. - 146 с.

19. Дикий Н. А. Энергоустановки геотермальных электростанций. – К.: Вища шк., 1989. – 198с.
20. Ефимов А. П. Энергобалансы промышленных предприятий: Уч. пособие. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 84с.
21. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справочник: В 2 ч. / Под ред. С. Калверта и Г. М. Инглунда. – М.: Металлургия, 1988. –Ч.1. – 758 с.
22. Карп И. Н., Мхитарян Н. М. Децентрализованное теплоснабжение зданий и сооружений //Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – No 1. – С.5-17.
23. Кириллин В. А. Энергетика сегодня и завтра. – М.: Педагогика, 1983. – 128 с. 24. Кириллин В. А. Энергетика. Главные проблемы. – М.: Знание, 1990. – 128 с.
24. Маляренко В. А. Концептуальные положения развития муниципальной энергетики Украины. //Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техника, 2000. – Вып. 25. – С. 208-216.
25. Маляренко В. А. Энергетика и экологическая ситуация в Украине. //ІТЕ: Інтегровані технології та енергозбереження. – 2001– No 2. – С. 7–13.
26. Маляренко В. А., Охрименко В. В. Альтернативная энергетика и окружающая среда //Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка, 2001. – Вып. 27. – С. 263-269.
27. Маляренко В. А. Дмитриев И. Б. Эколого-энергетические факторы градостроительных решений //Труды 4-ой НПК “Новое в экологии и БЖД” 16-18 июня 1999, Санкт-Петербург, Россия. Балт. гос. техн. ун-т. – С-Петербург, 1999.– Т.1. – С. 85-88.
28. Маляренко В. А. Энергозбереження як діючий важіль реформування житлово-комунального господарства. //Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка, 2003. – Вып. 53. – С.7-14.

29. Маляренко В. А., Лысак Л. В. Реабилитация и развитие коммунальной теплоэнергетики на современном этапе //ІТЕ: Інтегровані технології та енергозбереження, 2004.– № 2. – С.48-57.

30. Маляренко В. А. Введение в инженерную экологию энергетики. – Х.: ХГАГХ, 2001. – 166 с

31. Білонога Ю. Л. Шляхи енергозбереження із використанням поверхнево-активних речовин (ПАР) при екстрагуванні гепарину у псевдозрідженому шарі / Ю. Л. Білонога, У. Р. Драчук // Інтегровані технології та енергозбереження. - 2009. - № 2. - С. 8-13.

32. Степ'юк, М. Д. Проблеми енергозбереження газотранспортних підприємств в умовах кризи / М. Д. Степ'юк, Л. Т. Гораль, В. І. Мілевська // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. - 2009. - № 3. - С. 136-139.

33. Бойко В.В. Щодо контролю за використанням коштів державного бюджету України при реалізації політики енергозбереження та енергоефективності в Україні / В.В. Бойко, О.О. Кульчій, Т.В. Підлісна // building innovations – 2019: зб. наук. пр. II Міжнародної укр.-азерб. конф., 23 – 24 трав. 2019 р. – Полтава: ПолтНТУ, 2019. – С. 436-438.

34. Досвід країн Євросоюзу з підвищення енергоефективності, енергоаудиту та енергоменеджменту з енергоощадності в економіці країн [Електронний ресурс] // Київ. –2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://ua.energy/wpcontent/uploads/2018/01/Pidvyshhennya-energoefektyvnosti-v-YES.pdf>

35. ДНС 3.3.6.042-99. Санітарні норми виробничих приміщень. Київ 1999.

36. ДБН В.2.5-27-2006 Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд-М: Мінбуд України. Київ 2006.

37. ДБН В.1.1.7–2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва -М: Держбуд України. Київ 2003.

38. ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека в будівництві -М:Держбуд України, Київ 2009.

39. ДСТУ 3008:2015. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення