

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ПОГОДЖЕНО

**Директор навчально-наукового
інституту енергетики, автоматики**

і енергозбереження

(назва ННІ)

_____ **Віктор КАПЛУН**
(підпис) (ПІБ)

“ ” _____ 2025_р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри
інженерії енергосистем**

_____ **Євген АНТИПОВ**
(підпис) (ПІБ)

“ ” _____ 2025 р. _

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

**Система теплопостачання тепличного господарства з
використанням енергії відновлюваних джерел**

Спеціальність

_____ **144 «Теплоенергетика»**

(код і назва)

Освітня програма

_____ **Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент**

(назва)

Орієнтація освітньої
програми

_____ **освітньо-професійна**

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

_____ **д.т.н., проф.**

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

_____ **Валерій ГОРОБЕЦЬ**

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ **к.т.н., доц.**

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

_____ **Євген АНТИПОВ**

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

_____ **Вадим МЕЛЬНИЧЕНКО**

(ПІБ студента)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри інженерії енергосистем

канд.техн.наук. доцент Є.О. Антипов
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
“ ” 2024 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Мельниченку Вадиму Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність

144 «Теплоенергетика»

(код і назва)

Освітня програма

Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент

(назва)

Орієнтація освітньої
програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Система теплопостачання тепличного господарства з використанням енергії відновлюваних джерел

затверджена наказом проректора НУБіП України від “18” листопада 2024 р. № 2060 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 14.11.2025 р.

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Загальна характеристика об'єкту проектування.
2. Тепловий розрахунок теплиці.
3. Розрахунок вентиляції теплиці.
4. Розрахунок системи досвічування рослин.
5. Розрахунок геліоколекторів та теплових насосів.
6. Техніко-економічне обґрунтування запропонованих інженерних рішень.

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання “20” листопада 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Є.О. Антипов

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

В.В. Мельниченко

(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 96 с., 5 розділів, 39 рис., 35 посилань.

Метою роботи є підвищення ефективності системи опалення зимових блочних теплиць з використанням альтернативних джерел енергії.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати:

- ✓ тепловий розрахунок тепличного господарства;
- ✓ розрахунок системи досвічування;
- ✓ розрахунок та вибір альтернативних джерел теплопостачання;
- ✓ техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень.

Об'єкт дослідження даної магістерської роботи – тепличне господарство площею 1,25 га у м. Христинівка Черкаської обл., яке є у філею Уманського тепличного комбінату.

Предмет дослідження – комплексне вирішення задачі по модернізації системи теплопостачання тепличного господарства.

Запропонована комбінована система опалення яка складається з геліоколекторів, теплового насосу та резервного електродкотла. Дане поєднання забезпечить ефективне використання системи опалення цілий рік: взимку – працює на опалення, а коли опалення не потрібне (літній період), то система працює на природне охолодження теплиці («natural cooling») та акумулювання теплоти в ґрунт. Така система опалення є екологічною та енергозберігаючою.

Проведений техніко-економічний розрахунок системи досвічування та використання теплових насосів і геліоколекторів.

ТЕПЛИЦЯ, ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК, ВЕНТИЛЯЦІЯ, СИСТЕМА ДОСВІЧУВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОЦЕСИ ТЕПЛО- І МАСООБМІНУ, СОНЯЧНИЙ КОЛЕКТОР, ТЕПЛОВИЙ НАСОС.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1	7
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	7
1.1. Аналіз теплицебудування в Україні.....	7
1.2. Загальні відомості про споруди захищеного ґрунту	8
1.3. Характеристика об’єкта проєктування	13
РОЗДІЛ 2	15
ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛИЦІ.....	15
2.1. Способи обігріву споруд захищеного ґрунту.....	15
2.2. Застосування сотового полікарбонату для огороження теплиці.....	24
2.3. Тепловий розрахунок теплиці.....	28
РОЗДІЛ 3	38
РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ДОСВІЧУВАННЯ РОСЛИН.....	38
3.1 Перспективи використання LED-світильників в спорудах захищеного ґрунту.....	38
3.2. Енергозберігаючі світлодіодні світильники УСС-БИО торгової марки «ФОКУС» в системі досвічування теплиць	43
3.3. Розрахунок LED світильників та впровадження їх в тепличне господарство	46
РОЗДІЛ 4	48
РОЗРАХУНОК ГЕЛІОКОЛЕКТОРІВ ТА ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ	48
4.1. Загальні відомості про геліоколектори	48
4.2. Загальні відомості про теплові насоси	64
4.3. Комплексне використання сонячних колекторів та теплових насосів.....	70
4.4. Вибір та розрахунок компонентів комбінованої ситеми теплопостачання	76
РОЗДІЛ 5	81

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК МОДЕРНІЗОВАНОГО ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	81
5.1. Техніко-економічний розрахунок світлодіодних світильників.....	81
5.2. Аналіз економічної ефективності використання альтернативних джерел енергії	82
5.3. Економічна ефективність застосування теплових насосів	85
5.4. Економічна ефективність застосування сонячних колекторів	87
5.5. Техніко-економічний розрахунок комбінованої системи теплопостачання: тепловий насос, геліоколектори та електрокотел.....	88
ВИСНОВКИ.....	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	94

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- Q_0 - розрахункова потужність системи опалення, Вт;
- K - коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²°С;
- t_n, t_e - розрахункова температура внутрішнього та зовнішнього повітря, °С;
- F_0 - площа поверхні огороження теплиці, м²,
- $\eta_{\text{инф}}$ - коефіцієнт інфільтрації;
- $\eta_{\text{огор}}$ - коефіцієнт огороження;
- v - середня швидкість вітру, м/с;
- h_p - висота ребра, м;
- D - діаметр ребра, м;
- d_3 - зовнішній діаметр гладкої труби, м;
- λ_p - теплопровідність ребер, Вт/м · °С;
- δ_p - товщина ребра, м;
- F_p^c - площа поверхні гладких труб ребристих приборів, м²;
- G_p^c - витрати теплоносія в ребристих опалювальних трубах, кг/с;
- A - площа вентиляційних люків, м²;
- $P_{\text{заг}}$ - загальна споживана електрична потужність системи досвічування теплиці, кВт;
- I_s, I_d - інтенсивність сонячної радіації, що падає на горизонтальну поверхню, і розсіяна, Вт/м²;
- P_s, P_d - коефіцієнт розміщення сонячного колектора відповідно для прямої і розсіяної радіації;
- k_1, k_2 - коефіцієнт теплових втрат плоского сонячного колектора;
- η_o, η - оптичний та теоретичний коефіцієнт корисної дії колектора;
- СОР - коефіцієнт перетворення теплової енергії;
- СК - сонячний колектор;
- ТН - тепловий насос.

ВСТУП

Однією з найважливіших світових проблем є проблема економії ресурсів. Використання природної енергії пов'язане з двома проблемами. Перша - запаси органічних викопних палив вичерпуються, друга - сучасні способи виробництва енергії завдають непоправної шкоди довкіллю та людині внаслідок шкідливих викидів. Все це спричиняє необхідність пошуків нових альтернативних способів енергопостачання.

Проблемою тепличних господарств, зазвичай, є невиправдано великі затрати на традиційні енергоресурси. Для забезпечення в холодний час року необхідного мікроклімату в спорудах захищеного ґрунту потрібна теплова енергія. Великі теплично овочеві комбінати, одинична площа яких досягає 60 га, а теплове навантаження 350 МВт, є найбільш концентрованими й енергоємними споживачами теплоти в сільськогосподарському виробництві. На виробництво в теплицях 1 кг сільськогосподарської продукції витрачається до 5 кг палива. Тому проблема економії енергоресурсів при теплопостачанні споруд захищеного ґрунту шляхом поліпшення систем їхнього обігріву, використання нетрадиційних джерел енергії - дуже актуальна.

Об'єкт дослідження – тепличне господарство площею 1,25 га у м. Христинівка Черкаської обл., яке є у філею Уманського тепличного комбінату.

Предмет дослідження – комплексне вирішення задачі по модернізації системи теплопостачання тепличного господарства.

Метою роботи є підвищення ефективності системи опалення зимових блочних теплиць з використанням альтернативних джерел енергії.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати:

- ✓ тепловий розрахунок тепличного господарства;
- ✓ розрахунок системи досвічування;
- ✓ розрахунок та вибір альтернативних джерел теплопостачання;
- ✓ техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз теплицебудування в Україні

Масове будівництво теплиць в Україні припало на період з 1965 по 1980 роки. У цей час під зимові теплиці (під склом) було зайнято 728 га й 2000 га – під весняні (під плівкою). На кожного мешканця республіки, таким чином, припадало близько 0,5 кв. м промислового захищеного ґрунту. Ця норма була найвищою серед республік колишнього СРСР.

З 1990 року Україна володіла 75 тепличними комбінатами, кожний з яких мав закритий ґрунт не менш 2 га. Більша частина продукції централізовано вивозилася в північні райони СРСР, на Урал і в Сибір. Після розвалу Союзу знайти нові ринки збуту самостійно практично жоден агрокомбінат не зміг, і галузь поступово почала знижувати обсяги виробництва. По оцінках фахівців, падіння обсягів виробництва й руйнування теплиць тривало до 1995 року.

З середини 90-х років більшість українських теплиць працювала на вже застарілому устаткуванні по енерговитратних технологіях. Тому після подорожчання “блакитного” палива рентабельність вирощування овочів у закритому ґрунті різко знизилася. Єдиним виходом для тепличників було проведення реконструкції із впровадженням нових енергозберігаючих технологій. Кошти на модернізацію змогли знайти далеко не всі підприємства.

У період з 1995 по 1998 роки зафіксована найнижча кількість промислових теплиць в Україні, згідно з експертними висловленнями в ЗМІ, площа зимових скляних теплиць, випускаючих тепличну продукцію, становила в ті роки всього 250 га. Загальний занепад тепличної галузі й різко зрослий обсяг імпорту змусив українські влади ужити заходів по законодавчому стимулюванню промислових теплиць.

Площі та місцезнаходження найбільших тепличних комплексів в Україні наведені в таблиці 1.1.

Дані найбільших тепличних комплексів в Україні

Підприємство	Регіон	Площа, га
ВАТ комбінат "Тепличний"	с. Калинівка Броварського району Київської області	48,5
«Уманський тепличний комбінат»	Черкаська обл.	35,15
«Зміївська овочева фабрика»	Харківська обл.	30,8

1.2. Загальні відомості про споруди захищеного ґрунту

Культиваційні споруди захищеного ґрунту – це виробничі приміщення, відгороджені від зовнішнього середовища світлопрозорими дахом і стінами. Культиваційні споруди призначені для вирощування овочів, розсади і квітів. Вони дозволяють забезпечити населення свіжими овочами в той період року, коли їх неможливо вирощувати на відкритому ґрунті.

Для забезпечення в холодний час року необхідного мікроклімату в спорудах захищеного ґрунту потрібна теплова енергія. Великі теплично овочеві комбінати (ТОК), одинична площа яких досягає 60 га, а теплове навантаження 350 МВт, є найбільш концентрованими й енергоємними споживачами теплоти в сільськогосподарському виробництві. Річне споживання теплоти в зазначених спорудах складає 290 млн. ГДж, на що витрачається 12 млн. т умовного палива. Зазначимо, що на виробництво в теплицях 1 кг сільськогосподарської продукції витрачається до 5 кг палива. Тому проблема економії енергоресурсів при теплопостачанні споруд захищеного ґрунту шляхом поліпшення систем їхнього обігріву, використання нетрадиційних джерел енергії – дуже актуальна.

Основними елементами, з яких складаються культиваційні споруди, є майданчики для вирощування рослин, огорож жувальні конструкції і пристрої для обігріву споруд.

Різноманітні конструкції споруд захищеного ґрунту можна розділити на три групи:

- малогабаритні надземні (утеплений ґрунт),

- малогабаритні заглиблені (парники);
- великогабаритні надземні (теплиці).

Малогабаритні надземні споруди – невеликі за розмірами (ширина 1,0...1,2 м, висота 0,4...0,7 м) і прості за конструкцією сезонні укриття, призначені для вирощування ранніх овочів і розсади. Вони складаються з полімерної світлопрозорої плівки, що натягається на легкий каркас зі сталевого дроту, пластмасових труб чи вербових гілок. Знаходять застосування укриття розбірно пересувні УРП 20 із плівковим покриттям. Їхня довжина – 6 м, ширина – 1,6 м.

Малогабаритні заглиблені споруди (парники) частково чи цілком заглиблені в ґрунт. Вони являють собою траншеї з дерев'яними чи залізобетонними коробами, закритими зверху заскленими рамами чи полімерною плівкою.

Найбільш поширене односхиле спорудження – це так званий російський заглиблений парник, розміри якого наступні: ширина – 1,6 м, довжина – 21,6 м, глибина траншеї – 0,2...0,3 м, площа 36 м². Короби виступають над рівнем ґрунту з північної сторони на 250...400 мм, а з південної – на 150...250 мм (рис. 1.1). У малогабаритних заглиблених спорудах вся площа ґрунту є корисною. Для зменшення втрат теплоти через світлопрозоре огородження при необхідності використовують утеплювальні мати.

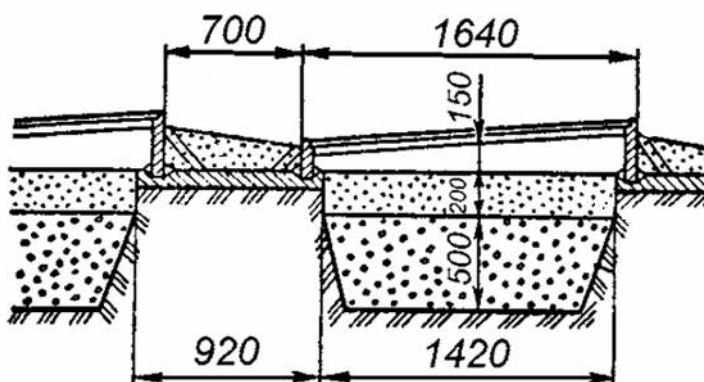


Рис. 1.1. Поперечний розріз односхилого заглибленого парника

Великогабаритні надземні культиваційні споруди (теплиці) є найбільш досконалими. Вони дозволяють без порушення цілісності огородження

виконувати всі необхідні агротехнічні заходи, а також використовувати засоби механізації з обробки ґрунту, догляду за рослинами і збирання врожаю.

Площа типових теплиць для вирощування розсади дорівнює 1,3 або 6 га; для вирощування овочів на ґрунті – 6, 12, 24, 30 і 60 га.

Згідно ДБН В.2.2 2 95 «Теплиці і парники», теплиці класифікують:

- згідно з функціональним призначенням – на теплиці овочеві, розсадні (виробництво розсади для відкритого ґрунту), квіткові (оранжереї), селекційні;
- згідно з технологією вирощування рослин – на ґрунтові (вирощування сільськогосподарських культур на ґрунтових сумішах) та гідропонні (вирощування сільськогосподарських культур на штучних субстратах у басейнах або стелажах);
- згідно з часом експлуатації – на цілорічні (зі штучним обігріванням), весняно-літньо-осінні (з обігріванням за рахунок сонячної радіації з додатковим аварійним штучним обігріванням);
- згідно з об'ємно-планувальним та конструктивним рішенням – на ангарні (однопрогонові) та блочні (багатопрогонові);
- згідно з типом огорожувальних конструкцій – на скляні, плівкові, із світлопрозорих синтетичних матеріалів.

За конструктивними ознаками теплиці поділяють на односкілі, ліхтарні, ангарні, блочні, вантові і повішатронапірні.

Односкілі теплиці (рис. 1.2, а) мають найбільш просту конструкцію. Такі конструкції використовують у геліотеплицях.

Ліхтарні теплиці (рис. 1.2, б) – конструкції із двосхилим дахом. Дах підтримується опорами, що ускладнює механізацію робіт.

В ангарних теплицях (рис. 1.2. в) для підтримки дахів використовують різного роду арки. Зимові аграрні теплиці будують з прольотом від 12 до 30 м. Вентиляційні пристрої вбудовані в бічні стінки теплиці.

Блочні теплиці (рис. 1.2, г) складаються із дотичних одна до одної ангарних теплиць (блоків), бічні стінки яких замінені опорами. Використовуючи стандартні конструкції, які зібрані з елементів заводського виготовлення, можна виготовляти

теплиці більших розмірів. Вони найкраще, ніж інші теплиці, пристосовані для механізації й автоматизації виробничих процесів. На виготовлення цих теплиць витрачається менше металу, ніж ангарних. В них при однаковій корисній площі менші тепловтрати через огород жувальні конструкції. Недоліком блочних теплиць є незадовільна аерація середніх ланок.

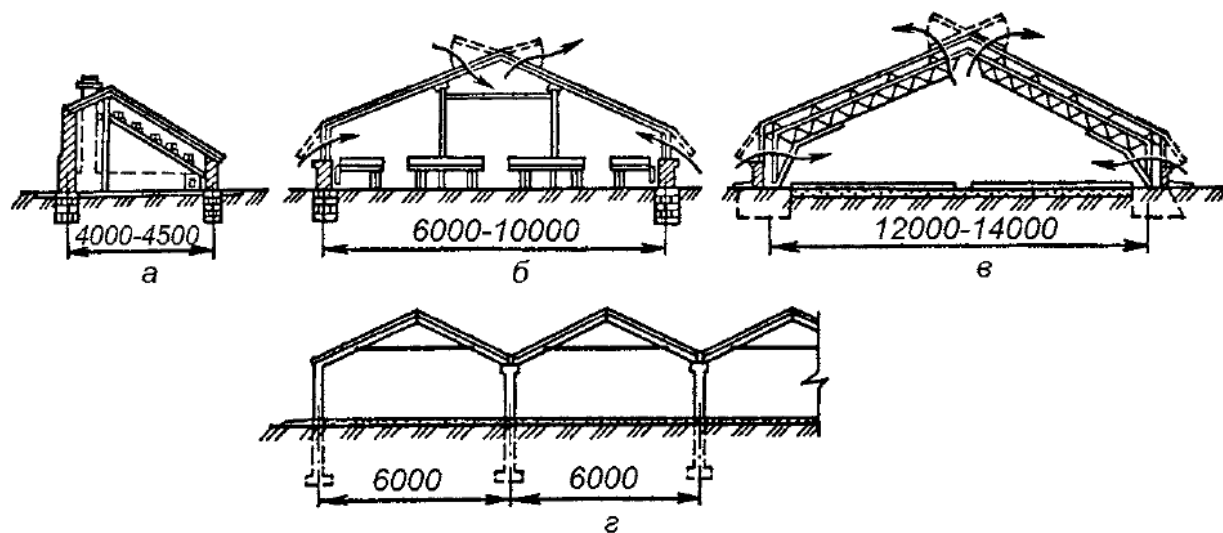


Рис. 1.2. Схеми теплиць: а – односхилі; б – ліхтарні; в – ангарні; г – блочні.

Кожна окрема двосхила теплиця, що входить до складу блоку, називається ланкою. Розрізняють дволанцюгові, три ланцюгові та інші блочні теплиці.

Засклені блочні багатопрогонові теплиці будують з шириною прольоту 3,2 і 6,4 м. В обох конструкціях крок дорівнює 3 м.

Шириною прогону називають відстань між опорними стовпами поперек напрямку гребіня, кроком – відстань між стовпами вздовж гребіня.

Найбільш важливий конструктивний елемент ангарних і блочних теплиць – скляне огородження. Для середньої смуги нахил даху приймають не менше 25°. Шприси, на які спирається скляна покрівля, бувають дерев'яні, металеві і рідше залізобетонні.

Несуча конструкція теплиці найчастіше металева. Застосовують сполучені несучі конструкції, виконані із сталевих труб, які використовуються для водяного опалення теплиці. Це зменшує витрати металу. Крім того, розташування опалювальних труб під склінням перешкоджає замету даху снігом.

Вертикальні зовнішні огороження теплиць роблять у нижній частині з цегли чи залізобетонних панелей, а верхні – скляними із стулками, що відкриваються. Цокольна глуха частина огороження має висоту 0,5...0,6 м у ґрунтових теплицях і 0,75 м у стелажних.

У теплицях, призначених для вирощування печериць на промисловій основі, використовують п'ятирусні стелажі (рис.1.3). Вирощування здійснюється на компості (солома, пташиний послід, гіпс). За рік з 1 га можна одержати 700...800 т грибів.

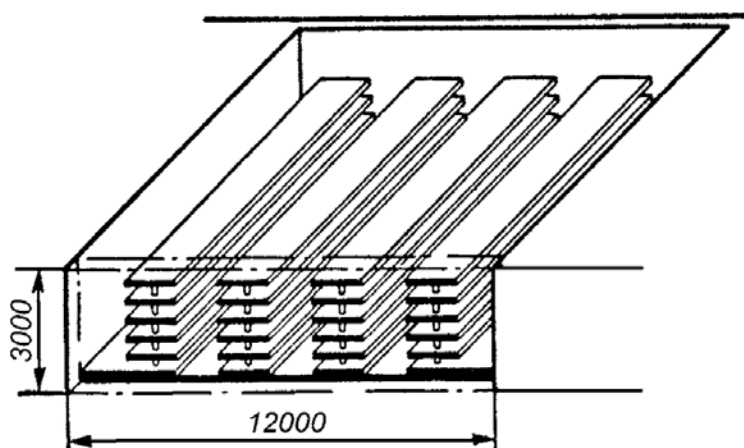


Рис. 1.3. Схема теплиці для вирощування печериць

Для вирощування овочів у теплицях використовують також гідропонний спосіб. Бетонний басейн заповнюють щебенем (гравієм) розмірами 5... 15 мм, де розміщується коренева система рослин. З резервуарів за допомогою насосів живильне середовище подається по секціях теплиці.

Знаходять застосування малогабаритні гідропоніки. У цьому випадку овочі і квіти вирощують на субстратах з мінеральної вати з крапельним способом поливу рослин. Малооб'ємні гідропонні теплиці мають високу продуктивність (врожайність огірків досягає 50 кг/м²), але малий термін служби мінеральної вати (не більше двох термінів експлуатації).

У вантових теплицях підвісний плівковий дах підтримується тросами – сталевими чи склопластиковими, які натягаються паралельно один одному вздовж теплиці. Для підтримки тросів всередині теплиці встановлюють опори. У деяких конструкціях каркас теплиці підвішують до стовпів, що розташовуються зовні.

До пневматичних теплиць відносять повітронапірні і пневмокаркасні. У перших з них відсутні будь-які несучі конструкції і опори. Необхідна форма огороження геометричні оболонки з полімерної плівки – підтримується за допомогою надлишкового тиску повітря.

Стійкість пневмокаркасних теплиць забезпечується надлишковим тиском у пневматичних арках, що утворюють каркас теплиці.

Теплиці з полімерним покриттям поділяють на стаціонарні і нестаціонарні (переносні), що одержали поширення в неспеціалізованих господарствах. В останніх теплицях культуру вирощують протягом 1...2 місяців для забезпечення рослинам у ранній період року необхідного теплового режиму, після чого вони ростуть в умовах відкритого ґрунту. Як приклад переносних теплиць можна навести теплицю ТП-М 9-24, що має металевий каркас, і теплицю ТП-Д 8-24, каркас якої дерев'яний. У цих позначеннях перша цифра вказує на ширину, друга – на довжину теплиці в метрах.

Найбільш прийнятні для будівництва теплиць зони з кращими світловими і кліматичними характеристиками. Істотне значення для вирощування рослин має фотосинтетична активна радіація (ФАР). Вона має широтний розподіл, тобто зменшується з півдня на північ.

1.3. Характеристика об'єкта проєктування

Об'єкт дослідження – тепличне господарство площею 1,25 га у м. Христинівка Черкаської обл., яке є філією Уманського тепличного комбінату.

Уманський тепличний комбінат заснований в 1974 році. У 2002 році почалося стрімке розширення виробничих площ, збільшився обсяг виробництва продукції закритого ґрунту, значно підвищилася продуктивність праці, суттєво зріс рівень оплати праці і як результат - рівень сплати податків.

Починаючи з 2002 року, площа сучасних теплиць європейського типу збільшилася на 28,1 га і на сьогоднішній день складає 35,15 га. Теплиці розташовані в м.Умань, а також по філіях підприємства - у містах Христинівка і Тальне Черкаської області.

Сьогодні на Уманському тепличному комбінаті експлуатуються найсучасніші теплиці європейського зразка. У них реалізовані новітні розробки та досягнення в області вирощування овочів у закритому ґрунті. Це та інноваційна конструкція самої теплиці, що дозволяє підвищити світловий потік більш ніж на 10% в порівнянні з теплицями попереднього покоління, і складна комп'ютеризована система підтримки мікроклімату, і енергозберігаюча технологія використання парникових газів, і ще дуже багато інших унікальних і новаторських рішень, що дозволяють істотно підвищити не тільки врожайність, але і якість продукції, знизивши енерго- і трудовитрати.

За останні роки комбінат зумів реалізувати ряд масштабних інвестиційних проектів, для виконання яких були запрошені провідні західні компанії та фахівці.

Підприємство має складський комплекс площею 10 тис.м², який дозволяє виконувати найвищі вимоги до зберігання і переробки продукції.

Власний логістичний центр забезпечує оптимальні рішення сортування, фасування, пакування та доставки продукції.

Стратегічний курс Уманського тепличного комбінату - це збільшення виробництва якісної овочевої продукції за рахунок використання сучасних енергозберігаючих технологій та розширення ринків збуту.

Комп'ютерний контроль над мікрокліматом в теплицях дозволяє вести постійний аналіз внутрішніх і зовнішніх кліматичних показників (температури, швидкості і напрямку вітру, вологості, рівня сонячної радіації).

У 2020 р. «Уманський тепличний комбінат» зменшив споживання газу в 10 разів, порівняно з радянським часом з 5-6 м³ газу на 1 кг продукції до 0,6 м³ на 1 кг продукції завдяки частковій заміні іншими видами палива, використанню зашторювання та сучасним опалювальним системам з електрообігрівом.

Підприємство також перевело 17 га теплиць на систему досвічування в зимовий час. На Уманському тепличному комбінаті застосовується інноваційна технологія вирощування у піднятих лотках, що поліпшує показники термобалансу субстрату, покращує вентиляцію та робить догляд за рослинами зручнішим.

Теплиці площею 1,05 га в м. Христинівка Черкаської області були придбані комбінатом у 2001 році.

РОЗДІЛ 2

ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛИЦІ

2.1. Способи обігріву споруд захищеного ґрунту

Культиваційні споруди мають ряд відмінних рис, які слід враховувати при розв'язанні задач їхнього теплопостачання:

- великі втрати теплоти внаслідок малих термічних опорів огорожень зі скла або полімерної плівки, а також через значну інфільтрацію зовнішнього повітря (від 10 до 40 % основних тепловтрат);
- різкозмінний характер теплового навантаження протягом доби, сезону, року;
- мала теплова стійкість споруд, обумовлена малою тепловою інерцією огороження;
- підвищені вимоги до параметрів мікроклімату, обумовлені агротехнікою;
- необхідність проведення технологічних заходів, що вимагають додаткових витрат теплоти (термічна обробка ґрунтового шару, розігрів ґрунту, полив та ін.).

Таким чином, правильний вибір джерела і засобів теплопостачання має велике значення, оскільки цим визначається економічна ефективність культивуваційних споруд, ступінь рентабельності овочівництва захищеного ґрунту.

Культиваційні споруди обігріваються за рахунок сонячної радіації, біопалива чи різних технічних засобів.

Сонячний обігрів застосовують у південних районах у весняно літніх спорудах, покритих полімерною плівкою, і в малогабаритних спорудах.

Біологічний обігрів забезпечується за рахунок життєдіяльності теплотворних бактерій, що знаходяться в гної, відходах промисловості, які містять органічні речовини та ін. Цей спосіб найчастіше використовують як додаткове джерело теплоти при наявності інших засобів обігріву.

Технічний обігрів, як найбільш сучасний, знаходить широке застосування. Вибір виду обігріву обумовлений кліматичними умовами, агротехнічними

вимогами при вирощуванні різних овочевих культур і техніко-економічними показниками.

В залежності від розміщення джерел системи тепlopостачання культивацийних споруд технічний обігрів буває централізований, місцевий і індивідуальний.

У централізованих системах джерело теплоти - це районні котельні, теплоелектроцентралі (ТЕЦ), атомні теплоелектроцентралі (АТЕЦ).

У місцевих системах тепlopостачання забезпечується котельнями, спеціально побудованими для тепличного господарства; в індивідуальних системах - теплогенераторами, теплоустановками і т.п. До місцевих систем тепlopостачання відносять також теплові відходи промислових підприємств, газокompресорних станцій, теплових і атомних електростанцій; поновлювані джерела енергії (геотермальна, сонячна та ін.).

Потужність систем опалення визначають для умов стаціонарного нічного режиму за різницею розрахункових температур повітря (внутрішньої і зовнішньої, причому остання береться як середня багаторічна температура найхолоднішої доби), а також за середньою швидкістю вітру.

У спорудах захищеного ґрунту використовують водяний, паровий, повітряний, контактнo-газовий і комбінований способи опалення.

Водяний обігрів. Він дозволяє автоматизувати (з метою підтримки в приміщенні необхідних умов мікроклімату) процес виробництва і розподілу теплоти, зручний для використання термальних вод чи скидної теплоти підприємств. Система водяного обігріву буває з природною і примусовою циркуляцією. Природну циркуляцію використовують у теплицях невеликої площі, де гідравлічний опір течії води в трубах невеликий. При примусовій циркуляції води, що здійснюється насосами, розподіл теплоти в культивацийному спорудженні більш рівномірний.

Система водяного обігріву шатра теплиць підрозділяється на покрівельний, підлотковий, цокольний, торцевий, надґрунтовий обігрів (рис. 2.1).

Системи водяного опалення ґрунту підрозділяються на суцільний і контурний обігрів.

На системи покрівельного і підлогового обігріву шатра (рис. 2.2) витрачається 45...60 % загальних витрат теплоти на обігрів теплиць (в залежності від температури зовнішнього повітря і швидкості вітру, а також інтенсивності снігопаду). Вони призначені для забезпечення потрібного температурного режиму теплиці і танення снігу на покрівлі.

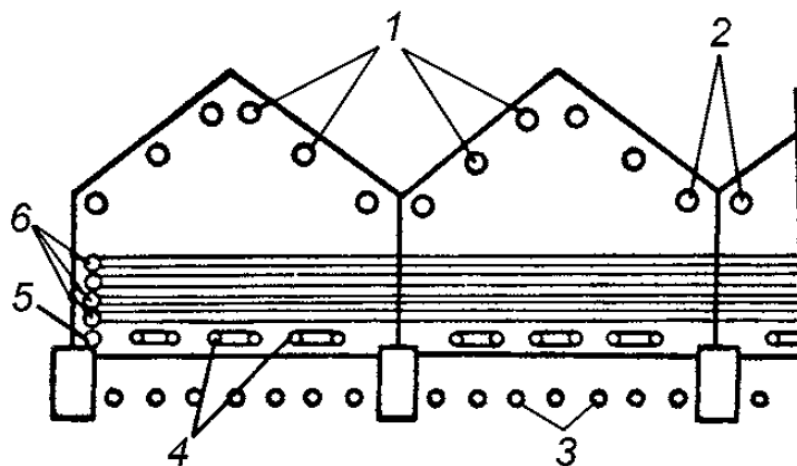


Рис. 2.1. Схема розміщення опалювальних приладів в теплиці: 1 – покрівельний обігрів; 2 – підлотковий обігрів; 3 – підґрунтовий обігрів; 4 – приґрунтовий обігрів; 5 – цокольний обігрів; 6 – торцевий обігрів.

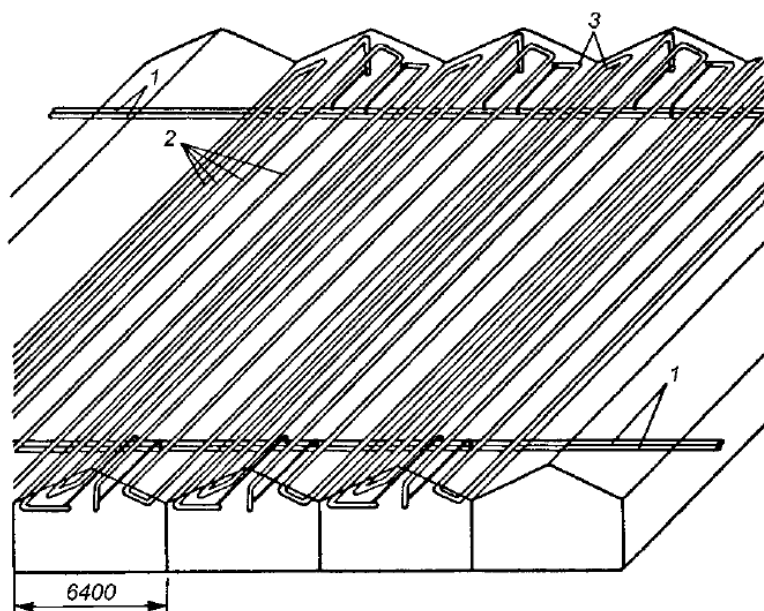


Рис. 2.2. Схема покрівельного і підлоткового обігріву: 1 – магістральні трубопроводи; 2 – трубопроводи покрівельного обігріву; 3 – трубопроводи підлоткового обігріву.

Системи цокольного і торцевого опалення (рис. 2.3) служать для компенсації втрат теплоти через бічні огороження теплиці. Труби торцевого обігріву рекомендується розташовувати безпосередньо на поверхні ґрунту вздовж цоколя. Потужність цокольного і торцевого опалення коливається в межах від 8 до 15 % витрат теплоти.

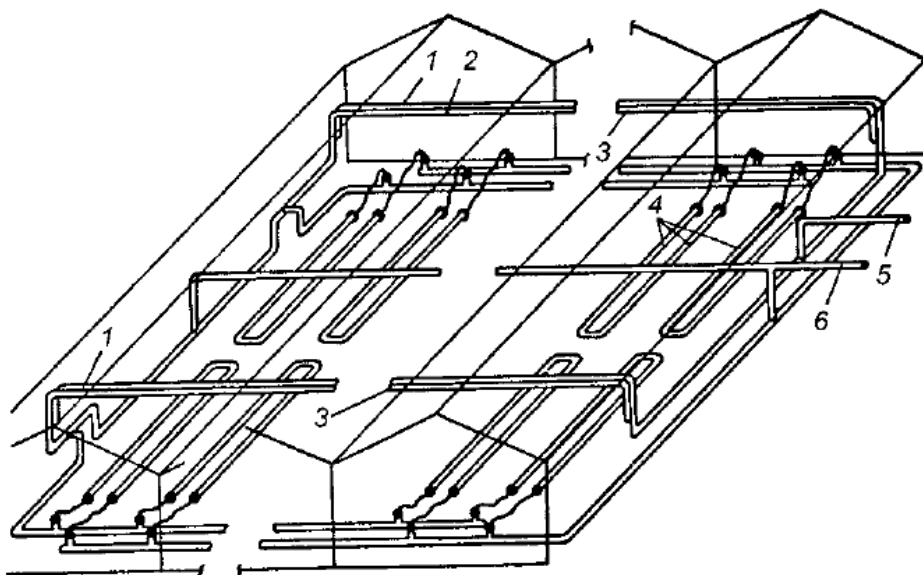


Рис. 2.3. Схема цокольного, торцевого і приґрунтового обігріву: 1,3 – трубопроводи цокольного обігріву; 2 – магістральний трубопровід водяного опалення; 4 – трубопроводи приґрунтового обігріву; 5 – головний подаючий трубопровід; 6 – трубопровід повернення води в колектор.

Ґрунтова система обігріву (рис. 2.3) призначена для створення рівномірного поля температури по площі теплиці в зоні рослин. Регістри приґрунтового обігріву приєднують до системи опалення за допомогою гнучких шлангів з термостійкої гуми. Потужність цієї системи опалення складає 15...25 % від загальних витрат теплоти на обігрів споруди.

З приведених даних випливає, що на систему водяного опалення шатра припадає 80...90 % загальних витрат теплоти на обігрів теплиці.

В стелажних теплицях опалювальні труби розміщують також під стелажми з рослинами.

У відповідності до ОНТП-СХ-10...85 в залежності від виду рослин і періоду їхньої вегетації температура в корененаселеному шарі повинна бути 18...25 °С. Це

в основному забезпечується системою підґрунтового обігріву (рис. 2.4). Труби для обігріву ґрунту повинні розташовуватися рівномірно по площі теплиці. Їхня кількість визначається для кожного конкретного випадку теплотехнічним розрахунком. Глибину закладення труб варто приймати не менш 0,4 м від проектної поверхні ґрунту до верху труби. В іншому випадку важко робити механізовану обробку ґрунту. Температура теплоносія в подавальному трубопроводі 40...45 °С, в зворотному - 30 °С.

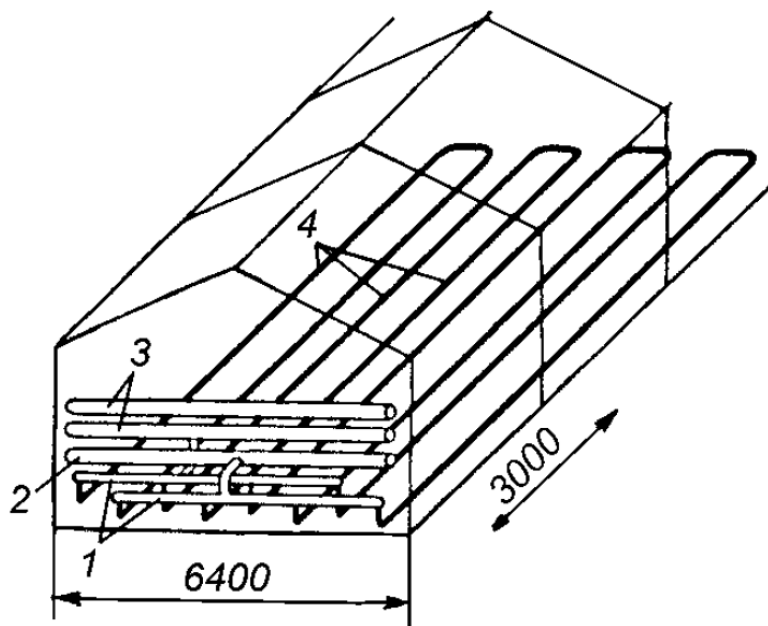


Рис. 2.4. Схема підґрунтового обігріву: 1 – розподільний колектор; 2 – трубопровід повернення води; 3 – подаючий трубопровід; 4 – поліетиленові труби.

При проектуванні систем опалення теплиць температуру теплоносія варто приймати не більш 150 °С (ДБН-В.2.2-2-95). При теплопостачанні від зовнішнього джерела теплоти для систем покрівельного, підлоткового, торцевого і контурного обігріву температура теплоносія (води) дорівнює 130°С; для систем підґрунтового обігріву використовують зворотну воду покрівельного і підлоткового обігріву. Для варіанта теплопостачання від власної котельні температура води в системі опалення шатра дорівнює 95...70 °С. Для підґрунтового обігріву в обох випадках температуру теплоносія в подавальній магістралі приймають рівною 40 °С.

В системі опалення шатра застосовують гладкі сталеві або скляні труби, в системі підґрунтового обігріву – пластмасові чи азбоцементні труби.

Застосування скляних труб для обігріву шатра теплиці приводить до зниження металоємності системи опалення. Вони легше металевих і мають менший гідравлічний опір. Скляні труби ефективні при використанні для обігріву теплиць геотермальних вод середньої мінералізації, оскільки вони порівняно з металевими мають більш високу хімічну стійкість. Зменшення витрат сталевих труб можна домогтися за допомогою їх оребрення, що рекомендують сполучати з використанням гладких труб, оскільки тепловий потік випромінювання на ґрунт від оребрених труб нижчий, ніж від гладких.

Паровий обігрів. Частіше всього пару використовують для знезаражування ґрунтів так зване пропарювання ґрунтів. Спочатку ґрунт обробляють роторним копальником на глибину 30 см. На середину підготовленої ділянки укладають паророзподільник – трубу з раструбами або шланг із пористого матеріалу. Пару під тиском 50 Па подають під полівінілхлоридну плівку, якою укривають весь ґрунт. Процес вважається завершеним, коли температура ґрунту досягає 70 °С (приблизно через 10 годин).

Газовий обігрів. У порівнянні з водяним газовий обігрів має ряд переваг: заощаджуються паливо (15...20 %) і метал, зникає необхідність використовувати котельні і теплові мережі, створюються умови для автоматизації керування тепловим режимом. Створення в приміщенні більш високої температури дає можливість ввести в експлуатацію весняні теплиці раніше, ніж при водяному обігріві (приблизно на 20...30 днів). При спалюванні газу безпосередньо в повітрі теплиці підвищується вміст вуглекислого газу, що сприяє процесу фотосинтезу рослин і підвищує їхню врожайність.

Використовують три способи спалювання газу безпосередньо в теплицях: за допомогою теплогенератора, мікрофакельних пальників, а також газових інфрачервоних випромінювачів.

Теплогенератори з тепловою потужністю 230...460 кВт використовують переважно у весняних теплицях. Вони служать для обігріву і одночасного збагачення повітря вуглекислим газом, однак можуть працювати також в режимі

вентиляції приміщення теплиці. Продукти згоряння змішуються з повітрям й утворену газоповітряну суміш при температурі 60 °С по трубопроводах подають у теплицю. Теплогенератори великої теплової потужності, обладнані водяними теплообмінниками, застосовують також для опалення зимових теплиць. При цьому для ґрунтового обігріву використовують гарячу воду, а для обігріву приміщення теплиці суміш продуктів згоряння газу з повітрям.

Для газового обігріву теплиць, а також для підгодівлі рослин використовують мікрофакельні пальники МОФ-2, ГТУ і ГТУА. Основні технічні показники пальників ГТУ такі: теплова потужність - 0,063...0,214 ГДж/год; витрати газу - 1,6...6 м³/год.

Їх розміщують рівномірно по контуру теплиці на висоті 0,2...0,4 м від поверхні ґрунту. Тим самим створюється тепла завіса уздовж огорожу вальних конструкцій. Пальники тепличні використовуються також як генератори вуглекислоти. Продуктивність одного пальника за тепловою потужністю приблизно 30 кВт, а вуглекислого газу - 3,0 м³/год.

Пальники мають загороджувальні щити, що охороняють вогневі насадки від попадання на них води під час поливу рослин і забезпечують рівномірне підведення вторинного повітря.

Газовими пальниками можна забезпечити обігрів весняних теплиць. Для зимових теплиць, крім них, необхідний водяний обігрів ґрунту.

При використанні систем обігріву із спалюванням газу в приміщенні теплиці необхідний додатковий повітрообмін для запобігання зайвої концентрації окису вуглецю і вуглекислого газу. Внаслідок цього система газового обігріву може виявитися економічно невиправданою. У кожному конкретному випадку рішення варто приймати на основі техніко-економічних розрахунків.

При застосуванні пальників інфрачервоного випромінювання внаслідок високої температури випромінюючої поверхні нагрівача поверхня нагрівання опалювальної установки може бути невеликою. Для нагрівання повітря рекомендується конвективний обігрів, а ґрунту і листків рослин - інфрачервоний. У середньому один випромінювач на 7-15 м² площі теплиці.

Повітряний обігрів. При даному способі обігріву теплоносієм є повітря, що нагрівається в калорифері чи теплогенераторі. Система повітряного обігріву може бути з забором свіжого повітря (відкритою) або з рециркуляцією нагрітого повітря.

Система повітряного опалення теплиці містить генератор теплоти (калорифер), вентилятор і повітророзподільний пристрій. Розподіл повітря в опалювальному приміщенні роблять двома способами. При зосередженій подачі нагріте повітря продувається вентилятором всередину приміщення поверх рослин. У цьому випадку важко забезпечити рівномірний розподіл теплового потоку в культивацийному приміщенні.

При розосередженій подачі нагріте повітря надходить з перфорованих полімерних труб. Повітроводи встановлюються вздовж теплиці на відстані 3...4 м один від одного.

Як самостійна система опалення повітряний обігрів використовується в сезонних теплицях з огороженням з полімерних матеріалів і в надземних малогабаритних спорудах із плівковим покриттям.

У теплицях, що діють цілий рік, повітряний обігрів приймають як додаткове джерело теплоти в холодний період року для покриття пікового теплового навантаження.

Комбінована система опалення. Цій системі опалення притаманні технологічні переваги водяної і мала інерційність повітряної системи. При використанні комбінованих повітряних систем потужність повітряного обігріву в середньому складає: для блочних теплиць – 15...35 %, для ангарних – 25...45 % загальних витрат теплоти на обігрів споруди. У типовому проекті 810-87 «Блок зимових ґрунтових теплиць площею 6 га» передбачений розподіл теплоти по окремих елементах шатрового обігріву (у відсотках від загальної теплової енергії: покрівельний – 24 %, під лотковий – 12, цокольний – 8, приґрунтовий – 18 і повітряний – 38 %). При технологічній необхідності можливе включення також підґрунтового обігріву. Для обігріву шатра температура теплоносія дорівнює 130...70 °С, для підґрунтового – 40...25 °С, для приґрунтового – 70...45 °С. Для повітряного обігріву теплиць використовуються повітряно-опалювальні агрегати

АПВС-110-80, що розташовують у торцях теплиці. На площі в 1 га передбачають 22 таких агрегати.

Комбіновану систему обігріву застосовують також в плівкових теплицях. Так, у типовому проекті 810-94 «Блок плівкових теплиць площею 1 га для вирощування розсади в відкритий ґрунт» опалення шатра теплиці передбачається повітряно-калориферне чи теплогенераторами на рідкому паливі. В обох випадках повітря подається в теплицю при температурі 60 °С по перфорованим плівковим повітропроводам.

Інші джерела теплоти. Індивідуальні джерела тепlopостачання використовують як у якості додаткового (резервного) виду обігріву при наявності інших способів обігріву теплиць, так і в якості основного обігріву (при відсутності джерел централізованого чи тепlopостачання інших джерел теплоти, а також при техніко економічній недоцільності будівництва місцевих котельних).

Індивідуальними джерелами теплоти можуть бути теплогенератори, що працюють на рідкому і газоподібному паливі, газові опалювальні прилади, електрообігрівачі, електричні випромінювачі.

Застосування теплогенераторів допускається при відповідному обґрунтуванні тільки у весняних теплицях, де можливе періодичне відключення теплогенераторів у денний час і провітрювання, а також при використанні їх у якості резервних джерел теплоти. Теплогенератори, як правило, обладнуються системою регулювання процесу горіння палива.

У тих випадках, коли неможливо забезпечити необхідні санітарні норми параметрів повітряного середовища теплиці, у теплицю подають повітря, що підігрівається в калориферах. Як повітропідігрівники в теплицях застосовують газові калорифери типу ДО-50, ДО-100, ДО-350, ДО-500, а також повітронагрівачі ГПВ-100, ГПВ-350 і ГПВ-500.

2.2. Застосування сотового полікарбонату для огородження теплиці

Полікарбонат у порівнянні з іншими матеріалами, які застосовуються для скління, володіє більш розширеними характеристиками. Нижче приведені порівняльні характеристики скла та полікарбонату (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Порівняльні характеристики скла та полікарбонату

Параметр	Полікарбонат	Скло	Од. виміру
Щільність	1.2	2.5	г/см ³
Пружність	30	-	кДж/м ²
Модуль пружності	2 300	70 000	Н/мм ²
Лінійне термічне розширення	$6.5 \cdot 10^{-5}$	$0.8 \cdot 10^{-5}$	1/°C
Теплопровідність	0.21	0.8	Вт/м °C
Пропускання ультрафіолету	4%	80%	%
Горючість	слабогорючий	негорючий	-
Опір старінню	гарне	відмінне	-

Лист одношаровий сотового двохстіночного полікарбонату (рис. 2.5) виготовляється товщиною 4 мм, 6 мм, 8 мм, 10 мм. Стандартні розміри листа 2,1×6 м (12,6 м²) і 2,1×12 м (25,2 м²).

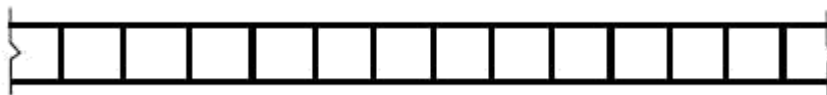


Рис. 2.5. Видяд сотового полікарбонату

Структурні листи виготовляються методом екструзії із гранульованого полікарбонату провідних світових виробників.

Листи являють собою світлопрозорі, ударостійкі й енергозберігаючі вироби, призначені для світлопрозорих огорожувальних конструкцій будинків (стіни, покрівлі, перегородки, навіси) і споруджень різного призначення. Нижче наведені їх властивості (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2

Властивості полікарбонатних листів

Товщина листа, мм	Колір	Світло-пропускання	Вага, кг/м ²	Теплопровідність, Вт/м ² °С	Ударна стійкість, Дж	Мін. радіус вигину, мм
4	прозорий	85%	0.8	3.6	2.0	700
6	прозорий	85%	1.3	3.5	2.1	1050
8	прозорий	85%	1.5	3.3	2.2	1400

Світлопропускання. Сонячне світло, що досягає поверхні землі, має довжину хвилі в діапазоні 295-2140 нм. Цей оптичний діапазон підрозділяється на наступні зони: середня ультрафіолетова зона (280-315 нм); ближня ультрафіолетова зона (315-380 нм); зона видимого світла (380-780 нм); ближня інфрачервона зона (780-1400 нм); середня інфрачервона зона (1400-3000 нм).

На представленій нижче діаграмі (рис. 2.6), показано, що листи мають найвищу прозорість для видимого світла.



Рис. 2.6. Графік пропускання світла залежно від довжини хвилі

Термічні властивості. Структура полікарбонатних листів дає значні переваги там, де важлива теплоізоляція. Пустотіла форма забезпечує більш високі теплоізоляційні характеристики при менших втратах тепла, ніж в суцільних матеріалів для скління. Тепловтрати характеризуються коефіцієнтом теплопровідності – це кількість тепла, що проходить через 1 м² матеріалу заклоєної зони за 1 годину при зміні температури на 1°С.

Ізоляційні властивості листів будуть також сприяти меншому проникненню холоду усередину будинку. Чим менше коефіцієнт теплопровідності, тим більше висока температура зберігається на внутрішній поверхні листа в зимовий час. Нижче приводиться приклад температурного процесу через полікарбонатний лист товщиною 6мм (рис. 2.7), при зовнішній температурі -10°С і температурі повітря усередині приміщення +20°С.

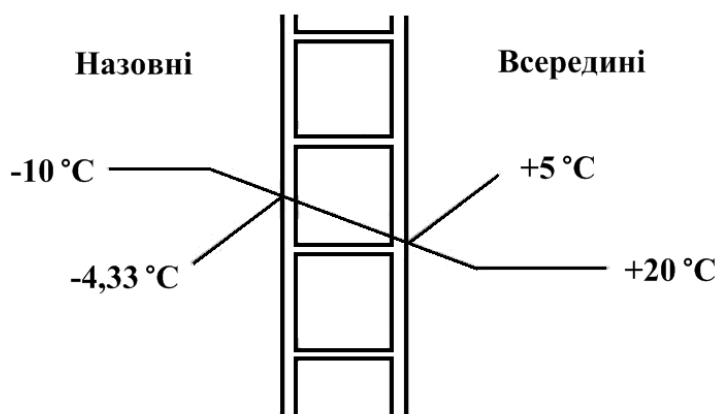


Рис. 2.7. Розподіл температур через полікарбонатний лист товщиною 6 мм

Якщо порівнювати з одинарним склом, то внутрішня поверхня скла за тих самих умов буде мати температуру, набагато нижче нуля, що буде впливати на загальну температуру в приміщенні.

Конденсація. При перепадах температури повітря, на поверхні й у каналах полікарбонатних листів може конденсуватися волога. Це пов'язане з тим, що атмосферна волога знову перетворюється у воду, стикаючись із поверхнею й стінками листа при температурі нижче "точки роси". Нижче наведений графік прогнозування конденсації (рис. 2.8), що показує співвідношення між внутрішньою й зовнішньою температурою, відносною вологістю й коефіцієнтом

теплопровідності. Із графіка видно, що на матеріалі з високим коефіцієнтом теплопровідності конденсат випаде при низькій вологості.

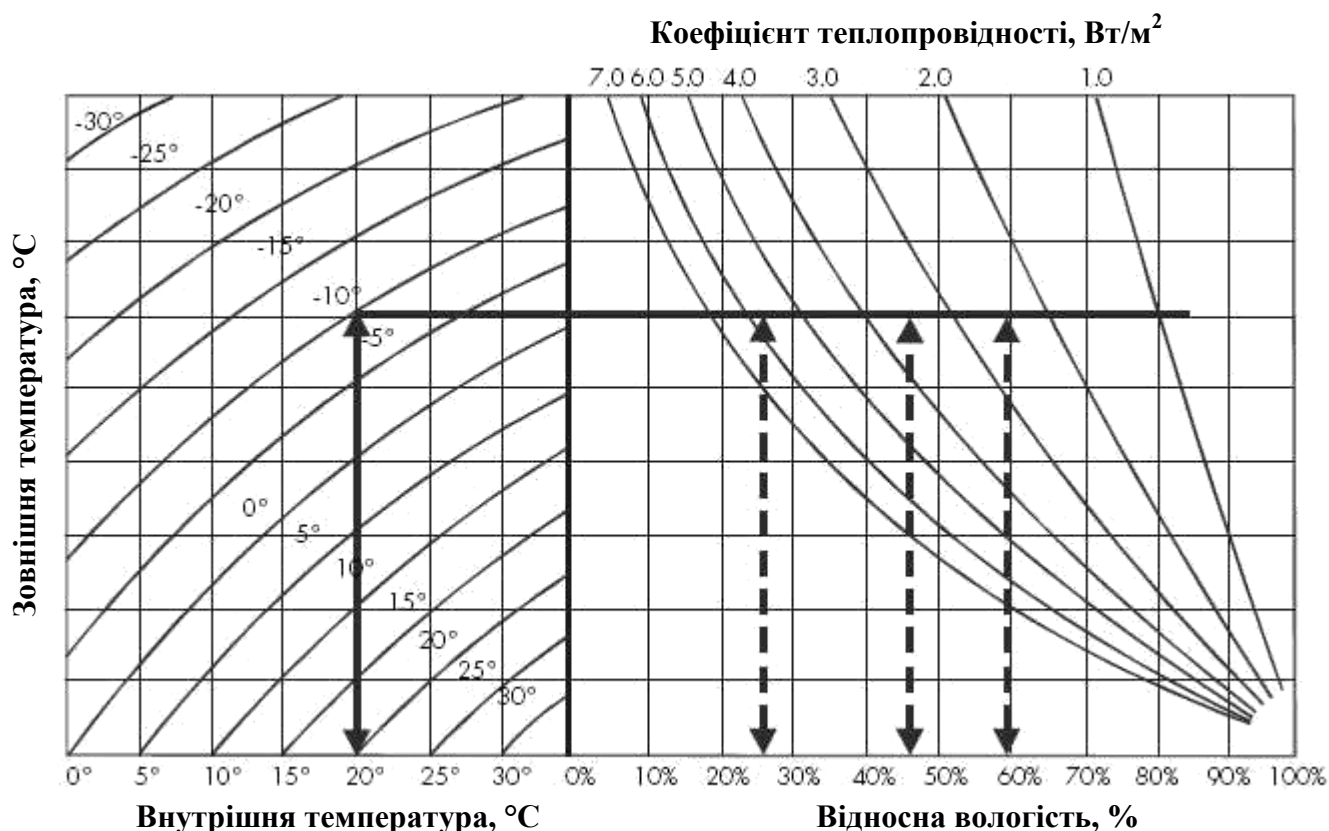


Рис. 2.8. Співвідношення між внутрішньою й зовнішньою температурою, відносною вологістю й коефіцієнтом теплопровідності

Приклад: при внутрішній температурі 20°C и зовнішній температурі -10°C конденсат випаде на склі з коефіцієнтом теплопровідності 5,8 при вологості 28%, на панелі 6 мм - з коефіцієнтом теплопровідності 3,5 при вологості 45% (рис. 2.8).

Протиударна міцність. Листи мають високі протиударні якості в діапазоні температур від -45°C до 75°C, причому після тривалого впливу атмосферних умов. Випробування листів на ударні впливи ґрунтується на принципі удару "падаючим дротиком" Гарднера.

Стійкість до граду. При склінні дахів, полікарбонатні листи зазнають впливу екстремальних погодних умов: вітру, граду, снігопаду й зледенінню. Матеріал за таких умов практично не руйнується й здатний витримати послідуочу зміну температури без поздовжнього вигину або зламу. Панелі випробовуються методом "моделювання граду". Випробовуваний зразок

затискається в металеву раму и його поверхню обстрілюють з пневматичного пістолету поліамідними кульками різного діаметру.

Пожежно-технічні показники. При використанні листів у будівельних конструкціях необхідно дотримувати тих будівельних норм і правил, які стосуються застосування матеріалів по ступеню займистості. Полікарбонат не тільки не запалюється у відкритому вогні, а отже, не сприяє його поширенню, але й при температурному руйнуванні не представляє небезпеки для життя. Як показали випробування в модельованій пожежі, полікарбонат при впливі полум'я плавиться з утвором не палаючих павутино подібних волокон, які не падають (через малу вагу), а звисають із країв отвору, що утворюється при плавленні. Ці нитки-волокна не представляють загрози, тому що встигають охолонути й, не запалюючись навіть при безпосередньому контакті з полум'ям, виключає горизонтальне поширення вогню. Внаслідок утворення отвору, що є результатом розплавлення полікарбонату, також знижується ризик удушення й отруєння, тому що дим відводиться, а не накопичується.

Температурна стійкість. Полікарбонатні листи в силу унікальних властивостей полікарбонату мають великий діапазон робочих температур. Світлопрозорі огорожувальні конструкції виготовлені із застосуванням листів можуть застосовуватися в районах із сильним сонячним випромінюванням. Враховуючи факт, що полікарбонат має властивість акумулювати сонячну енергію, виміри показали, що температура на поверхні листа може досягати 90°C , у той час як температура розм'якшення і температура прогину під навантаженням 145°C . Мінімальна температура безперервного застосування -40°C , хоча температура, при якій полікарбонат стає крихким, становить -110°C , що дозволяє застосовувати його й при більш низьких температурах.

2.3. Тепловий розрахунок теплиці

Розв'язати системи рівнянь теплового балансу теплиці аналітично дуже важко. Тому з ціллю зниження трудоемкості практичних інженерних розрахунків

розроблені номограми і програми розрахунку на ЕОМ для визначення загальної потужності опалювальних установок теплиць.

В інженерній практиці застосовують спрощений метод розрахунку потужності системи опалення, при якому нехтують величинами сонячної радіації (нічний режим) і тепловим потоком через ґрунт.

2.3.1. Вихідні дані для розрахунку. Тепличний комбінат складається з двох блоків зимових теплиць загальною площею 1,25 га. Для розрахунку взято один з блоків геометричні параметри якого наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Основні геометричні параметри теплиці

Назва параметру	Одиниця виміру	Значення
Кількість ланок в теплиці, n	шт.	13
Ширина ланки, l_1	м	6,4
Довжина ланки, l_2	м	75
Висота теплиці, h_1+h_2	м	4,5
Висота бічної поверхні теплиці, h_1	м	2
Довжина бічної поверхні теплиці, $l_1 \cdot n$	м	83,2
Ширина дахового скату, b	м	4
Площа фронтона, $S_{фр}$	м ²	8
Інвентарна площа, $S_{інв}$	м ²	6240
Інвентарний об'єм, $V_{обл}$	м ³	20280

Внутрішню температуру теплиці приймаємо +15 °С. Для зимніх теплиць температуру зовнішнього повітря беремо як середню температуру найхолоднішого місяця експлуатації – 20 °С. Відносна вологість в теплиці приймається 60%.

Для забезпечення мікроклімату в культивацийній споруді необхідна кількісна оцінка параметрів температуро вологісного, газового, світлового й інших режимів, що визначають формування тепломасообмінних процесів у приміщенні споруди і в ґрунті.

Для розв'язання цієї задачі складають систему рівнянь, які описують процеси тепломасообміну. При цьому теплицю розглядають як єдину енергетичну

систему. При теплофізичному розрахунку культиваційних споруд приймаємо ряд передумов спрощень:

- впливом продуктів життєдіяльності рослин на вологісний режим у приміщенні зневажають (у нічний час транспірація рослин близька до нуля);
- вважають, що екран, утворений рослинами між поверхнею ґрунту і світлопрозорим огородженням, не впливає на променистий потік від ґрунту до огородження;
- за температуру поверхонь приймають усереднені значення;
- повітрообмін здійснюється тільки за рахунок інфільтрації та вентиляції;
- термічний опір світлопрозорих огороджувальних елементів рівний нулю;
- процеси тепломасообміну в споруді і поза нею вважаються стаціонарними.

2.3.2. *Розрахунок теплової потужності теплиці.* Потужність системи опалення теплиці:

$$Q_0 = K \cdot F_n \cdot (t_e - t_n) \cdot \eta_{inf} \quad (2.1)$$

де Q_0 - розрахункова потужність системи опалення, Вт; K - коефіцієнт теплопередачі, Вт/ м² °С; t_n, t_e - розрахункова температура внутрішнього та зовнішнього повітря, °С; F_0 - площа поверхні огородження теплиці, м²; η_{inf} - коефіцієнт інфільтрації для полікарбонату.

На витрати теплоти для обігріву теплиць істотно впливають способи їх укріття, які визначають втрати теплоти внаслідок інфільтрації повітря. Для теплиць огороджених полікарбонатом, товщиною 4 мм, $K = 5,88$ Вт/м²·°С, а коефіцієнт інфільтрації $\eta_{inf} = 1,1$

Основною конструктивною характеристикою теплиці є коефіцієнт огородження, від якого залежать тепловтрати і потужність системи опалення. Його визначають за формулою:

$$\eta_{огор} = F_o / F_n \quad (2.2)$$

де F_n – площа ґрунту, м².

Тоді формула (2.1) набуде вигляду:

$$Q_{он} = K \cdot F_n \cdot (t_e - t_n) \cdot \eta_{огор} \cdot \eta_{інф} \quad (2.3)$$

Для блочної теплиці розрахункова формула (2.3) буде мати наступний вигляд:

$$Q_{он} = K n l_1 l_2 (t_b - t_3) \left(\frac{2l_2 h_1 + 2n l_1 h_1 + 2n b l_2 + n l_1 h_2}{n l_1 l_2} \right) \eta_{інф}, \quad [2.4]$$

$$\begin{aligned} Q_{он} &= 3,6 \cdot 13 \cdot 6,4 \cdot 75 \cdot (15 + 20) \cdot \left(\frac{2 \cdot 75 \cdot 2 + 2 \cdot 13 \cdot 6,4 \cdot 2 + 2 \cdot 13 \cdot 4 \cdot 75 + 13 \cdot 6,4 \cdot 2,5}{13 \cdot 6,4 \cdot 75} \right) \cdot 1,1 = \\ &= 1197614,9 \text{ Вт} \approx 1,2 \text{ МВт} \end{aligned}$$

Отже, загальна теплова потужність тепличного господарства 1,2 МВт.

2.3.3. *Розрахунок системи підґрунтового обігріву теплиць.* Температура ґрунту в горизонтальному перерізі між трубами в теплиці повинна бути 20 °С, глибина закладання труб підґрунтового обігріву $h = 0,4$ м, теплопровідність тепличного ґрунту 0,7 Вт/м·°С. Температура теплоносія в системі в подавальному трубопроводі 45°С, а в зворотному 30 °С. Для підґрунтового обігріву використовуються поліетиленові труби діаметром 32 мм.

Необхідно розрахувати відстань між трубами та потужність системи підґрунтового обігріву.

Температуру ґрунту у вертикальному перерізі над трубою підґрунтового обігріву $t_{гр1}$ °С, розрахуємо:

$$t_{гр,1} = 14,5 + 0,46 \cdot S + (46,46 - 14,71 \cdot S) \cdot h + (4 - 2,09 \cdot S - 17,8 \cdot h + 11,65) \quad (2.5)$$

де: S – відстань між осями труб по горизонталі, м; h – глибина закладання труб, м.

Температуру ґрунту посередині між трубами підґрунтового обігріву t_{gp2} °C, визначаємо:

$$t_{gp.2} = 13,92 + 0,58 \cdot S + (58,71 - 27,42 \cdot S) \cdot h + (4,75 - 2,59 \cdot S - 26,55 \cdot h + 13,5) \quad (2.6)$$

Потужність системи підґрунтового обігріву:

$$Q_{gp} = (32,81 \cdot \lambda_{gp} + 4,95 + (11,5 \cdot \lambda_{gp} + 3,3) \quad (2.7)$$

Визначаємо температуру над трубою підґрунтового обігріву:

$$\begin{aligned} t_{gp.1} &= 14,5 + 0,46 \cdot 1,5 + (46,46 - 14,71 \cdot 1,5) \cdot 0,4 + (4 - 2,09 \cdot 1,5 - 17,8 \cdot 0,4 + 11,65 \cdot 1,5 \cdot 0,4) \cdot 0,7 = \\ &= 25,5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Потужність системи підґрунтового обігріву:

$$Q_{gp} = (32,81 \cdot 0,7 + 4,95 + (11,5 \cdot 0,7 + 3,36) \cdot 1,5) \cdot 6240 = 281 \text{ кВт}$$

2.3.4. Розрахунок системи опалення шатра з ребристими трубами. При $t_3 = -20^\circ\text{C}$ і $v = 4,3/\text{с}$ знаходимо залежність, $K = 272 \text{ Вт/м}^2$.

Тоді витрати теплоти шатром теплиці з гладкими трубами становитимуть:

$$Q_{ш} = \eta_o \cdot (Q_{ш}/\eta_o) \quad [2.8]$$

$$Q_{ш} = 1,25 \cdot 27 \cdot \text{Вт/м}^2.$$

Розраховуємо необхідну площу гладких труб ребристих нагрівальних приборів:

$$F_p = \frac{Q_{ш} - 40}{K_p \cdot (\tau_p - t_b)} \quad [2.9]$$

Для цього спочатку розраховуємо:

1. Характеристики нагрівального ребристого прибору. Приведена висота ребра та коефіцієнт:

$$h'_p = h_p \cdot \left[1 + 0,805 \cdot \lg \left(\frac{D}{d_3} \right) \right] \quad [2.10]$$

$$m = 3,87 / \sqrt{\lambda_p \cdot \delta_p} \quad [2.11]$$

де h_p – висота ребра, $h_p = 0,03$ м; D – діаметр ребра, $D = 0,092$ м; d_3 – зовнішній діаметр гладкої труби, $d_3 = 0,032$ м; λ_p – теплопровідність ребер, $\lambda_p = 57$ Вт/м · °С; δ_p – товщина ребра, $\delta_p = 0,001$ м.

$$h'_p = 0,03 \cdot \left[1 + 0,805 \cdot \lg \left(\frac{0,092}{0,032} \right) \right] = 0,041 \text{ м}$$

$$m = 3,87 / \sqrt{57 \cdot 0,001} = 16,21/\text{м}$$

Середня температура поверхні ребристого приладу:

$$\tau_p = t_{cp} - \frac{F_{p1} \cdot (1 - E)}{(F_{p1} + F_{T1})} \cdot (t_{cp} - t_b) \quad [2.12]$$

де t_{cp} – середня температура теплоносія, $t_{cp} = (95 + 70)/2 = 82,5^\circ\text{C}$; F_{p1} – площа поверхні ребер на 1 метр прибору, $F_{p1} = 0,748$ м²/м; F_{T1} – площа поверхні гладкої труби між ребрами на 1 метр прибору, $F_{T1} = 0,094$ м²/м; t_b – внутрішня температура теплиці, $t_b = 15^\circ\text{C}$; E – коефіцієнт термічної ефективності ребра, $E = 0,87$.

$$\tau_p = 82,5 - \frac{0,748 \cdot (1 - 0,87)}{(0,748 + 0,094)} \cdot (82,5 - 15) = 74,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Питомий тепловий потік випроміненням від ребристих труб на огороження:

$$q_{po} = 2,84 \cdot \varepsilon_p \cdot \varepsilon_o \cdot \left[\left(\frac{273 + \tau_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + \tau_o}{100} \right)^4 \right] \cdot \psi_p \quad [2.13]$$

де ε_p – ступінь чорноти ребристого прибору, $\varepsilon_p = 0,9$; ε_o – ступінь чорноти огороження, $\varepsilon_o = 0,94$; τ_o – температура огорожувальних стінок, $\tau_o = -7,5 \text{ } ^\circ\text{C}$; ψ_p – коефіцієнт, який вибирається з графіку, $\psi_p = 0,18$.

$$q_{po} = 2,84 \cdot 0,9 \cdot 0,94 \cdot \left[\left(\frac{273 + 74,7}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 - 7,5}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,18 = 41,7 \text{ Вт/м}^2$$

3. Питомий тепловий потік випроміненням від ребристих труб на ґрунт:

$$q_{pn} = 2,84 \cdot \varepsilon_p \cdot \varepsilon_n \cdot \left[\left(\frac{273 + \tau_p}{100} \right)^4 - 68,8 \right] \cdot \psi_p \quad [2.14]$$

де ε_n – ступінь чорноти поверхні ґрунту, $\varepsilon_n = 0,9$.

$$q_{pn} = 2,84 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot \left[\left(\frac{273 + 74,7}{100} \right)^4 - 68,8 \right] \cdot 0,18 = 32,03 \text{ Вт/м}^2$$

4. Коефіцієнт конвективного теплообміну на ребристих трубах:

$$\alpha_{pk} = 1,33 \cdot \sqrt[3]{\tau_p - t_b} \quad [2.15]$$

$$\alpha_{pk} = 1,33 \cdot \sqrt[3]{74,7 - 15} = 5,19 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

5. Коефіцієнт теплообміну випроміненням ребристих труб:

$$\alpha_{\text{пл}} = \frac{q_{\text{рп}} + q_{\text{ро}}}{\tau_{\text{р}} - t_{\text{в}}} \quad [2.16]$$

$$\alpha_{\text{пл}} = \frac{32,03 + 41,7}{74,7 - 15} = 1,235 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}$$

6. Приведений коефіцієнт тепловіддачі оребреної труби:

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{(\alpha_{\text{рк}} + \alpha_{\text{пл}}) \cdot (F_{\text{р1}} + F_{\text{т1}})}{\pi \cdot d_3} \quad [2.17]$$

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{(5,19 + 1,235) \cdot (0,748 + 0,094)}{3,14 \cdot 0,032} = 53,9 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}$$

7. Термічний опір оребрення:

$$R_{\text{оп}} = \frac{\pi \cdot d_3 \cdot F_{\text{р1}}(1 - E)}{(F_{\text{т1}} + F_{\text{р1}}) \cdot (F_{\text{т1}} + F_{\text{р1}} \cdot E) \cdot (\alpha_{\text{рк}} + \alpha_{\text{пл}})} \quad [2.18]$$

$$R_{\text{оп}} = \frac{3,14 \cdot 0,032 \cdot 0,748(1 - 0,87)}{(0,748 + 0,094) \cdot (0,094 + 0,748 \cdot 0,87) \cdot (5,19 + 1,235)} = 0,002423$$

8. Коефіцієнт теплопередачі ребристих приборів:

$$K_{\text{р}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{пр}}} + R_{\text{оп}}} \quad [2.19]$$

$$K_{\text{р}} = \frac{1}{\frac{1}{53,9} + 0,002423} = 47,662 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}$$

Знаходимо необхідну поверхню гладких труб ребристих опалювальних приборів за формулою [2.9]:

$$F_{\text{р}} = \frac{340 - 40}{47,662 \cdot (74,7 - 15)} = 0,105 \text{ м}^2/\text{м}^2$$

Визначаємо витрати теплоносія в системі опалення в ребристих трубах:

$$G_p = \frac{Q_{ш} - 40}{c_T \cdot (t_T - t_K)} \quad [2.20]$$

де c_T – питома теплоємність води, $c_T = 4182$ Дж/кг · °С; t_T – початкова температура теплоносія, $t_T = 95$ °С; t_K – кінцева температура теплоносія, $t_K = 70$ °С.

$$G_p = \frac{340 - 40}{4182 \cdot (95 - 70)} = 0,002869 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$$

Визначаємо параметри системи опалення всієї теплиці площею $F_{гр} = 6240 \text{ м}^2$. Теплові втрати шатра теплиці:

$$Q_{ш}^c = Q_{ш} \cdot F_{гр} \quad [2.21]$$

$$Q_{ш}^c = 340 \cdot 6240 = 1122 \text{ кВт}$$

Площа поверхні гладких труб ребристих приборів:

$$F_p^c = F_p \cdot F_{гр} \quad [2.22]$$

$$F_p^c = 0,105 \cdot 6240 = 657,9 \text{ м}^2$$

Витрати теплоносія в ребристих опалювальних трубах:

$$G_p^c = G_p \cdot F_{гр} \quad [2.23]$$

$$G_p^c = 0,002869 \cdot 6240 = 17,9 \text{ кг/с}$$

Отже, провівши розрахунок необхідної теплової потужності та системи опалення тепличного господарства в зимови період, ми визначили, що загальна теплова потужність, згідно розрахунку, складає 1,2 МВт.

Для обігріву теплиці застосовується трубне водяне опалення шатра(покрівельний, підлотковий, боковий і торцевий) теплиці та ґрунту (підґрунтовий). Для опалення шатра використовуються сталеві орєбрєні прилади з

гладкими трубами діаметром 32 мм та загальною площею поверхні 657,9 м², а для опалення ґрунту – поліетиленові труби діаметром 32 мм.

В якості огороджуючих конструкцій взято листи сотового полікарбонату товщиною 4 мм. Структура полікарбонатних листів дає значні переваги в плані теплоізоляції. Пустотіла форма забезпечує більш високі теплоізоляційні характеристики при менших втратах тепла, ніж в суцільних матеріалів для скління.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ДОСВІЧУВАННЯ РОСЛИН

3.1 Перспективи використання LED-світильників в спорудах захищеного ґрунту

Проблема пошуку та застосування ефективних джерел оптичної енергії та розробка і впровадження енергозберігаючих технологій на сьогоднішній день в Україні є надзвичайно актуальною. Її реалізація вирішується на державному рівні. Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 21 грудня 2011 р. №1394 утворено публічне акціонерне товариство «Національна акціонерна компанія «Укрсвітлолізинг», одним із основних напрямків діяльності якої є стимулювання виробництва і впровадження сучасних світлодіодних систем освітлення та сприяння використанню їх у всіх сферах виробництва.

Аналіз останніх досліджень. На сьогоднішній день постала проблема застосування нових енергозберігаючих і водночас більш потужних освітлювальних пристроїв. Вже відходять в минуле лампи розжарювання, ртутні, газорозрядні та інші джерела світла. їх місце все більш впевнено посідають світлодіоди. За відносно короткий проміжок часу, починаючи із 80-тих років минулого сторіччя, світлодіоди пройшли шлях від дослідних лабораторій до масового застосування майже в усіх галузях народного господарства.

По світловіддачі можна робити висновки про енергозберігаючі характеристики будь-яких світлових приладів. Так світловіддача ламп розжарювання становить до 15 Лм/Вт, люмінесцентних - 60 Лм/Вт, металогалогенних - 85 Лм/Вт. В порівнянні з ними найсучасніший білий світлодіод досягає світловіддачі до 100 Лм/Вт.

Щоб показати переваги, порівняємо світлодіодний світильник з іншими лампами:

- термін служби ламп ДРЛ, ДНаТ, МГЛ не перевищує 6000 годин, сучасний же світлодіодний світильник працює до 100000 годин, а напрацювання на відмову складає ще більше;

- заміна необхідна тільки, коли зменшення світлового потоку світлодіодів досягає 30% (17-20 років для якісних світлодіодів);
- світлодіодні модулі-світільники не містять ртуті на відміну від люмінесцентних ламп, в них не використовуються отруйні матеріали, відсутні проблеми з утилізацією, тому вони є екологічно чистими;
- світлодіоди можуть випромінювати світло необхідного спектрального складу без використання кольорових світлофільтрів, які потрібні при традиційному освітленні;
- модуль із світлодіодів може бути виконаний так, щоб фокусувати світло. Для ламп розжарювання і газорозрядних ламп часто потрібен зовнішній відбивач для спрямування світлового потоку в потрібному напрямку;
- в разі використання регуляторів сили світла світлодіоди не змінюють відтінок кольору (спектр випромінювання) при зменшенні струму, на відміну від ламп розжарювання;
- світлодіоди стійкі до зовнішнього механічного впливу, дії вібрації, кліматичних перепадів, добре переносять низькі температури до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Розглянуті переваги світлодіодів та світільників на їх основі дають всі підстави стверджувати про перспективність їх застосування в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва. Але масове їх впровадження на сьогоднішній день стримується через недостатньо вивчену дію світлодіодного випромінювання на різні об'єкти.

Загально відомо, що рослини сприймають не весь спектр світла, для повноцінного розвитку їм потрібні тільки деякі його частини. Реакція фотосинтезу, завдяки якій рослини розвиваються, протікає за умов поглинання цілком певної довжини світлових хвиль. Сьогоднішні лампи, які використовуються для освітлення теплиць випромінюють багато світла, яке абсолютно не потрібне рослинам. Вони його практично не засвоюють, а це, в свою чергу, нераціональна витрата електроенергії.

Рослини сприймають довжини хвиль інакше ніж людина. З рис. 3.1 видно, що для них життєво важливими є червоні (720-600 нм) і помаранчеві (620-595 нм)

промені. Саме вони є основним джерелом енергії та фотосинтезу і значним чином впливають на швидкість розвитку рослин. Сині та фіолетові промені (490-380 нм), окрім участі у фотосинтезі, стимулюють утворення білків та регулюють темп розвитку. А що стосується жовтих (595-565 нм) та зелених (565-490 нм) променів, то вони не відіграють особливої ролі в розвитку рослин, але є важливими для людей.

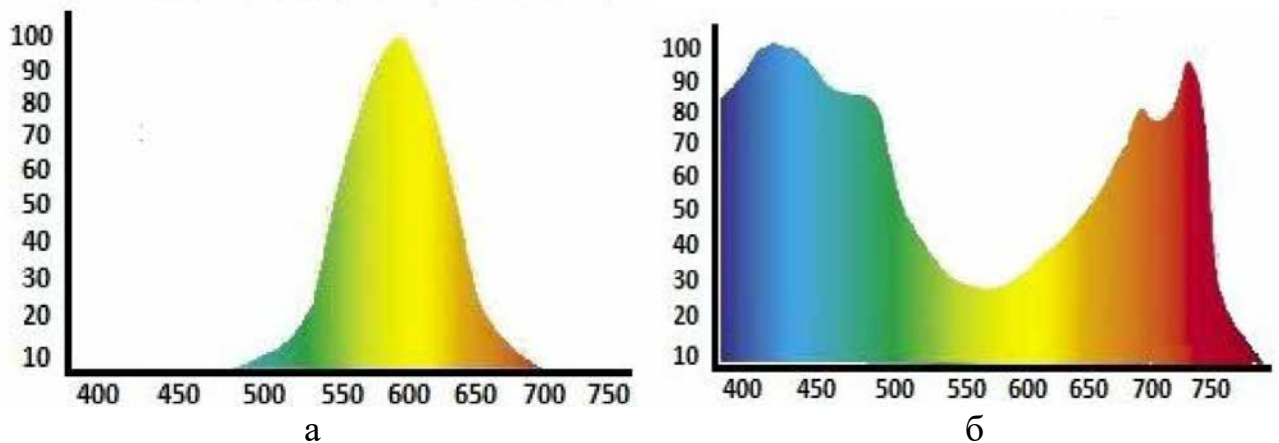


Рис. 3.1. Сприймання світла: а – людиною; б – рослинами.

Енергія світла поглинається хлорофілом і каротиноїдами у листі рослин. Ця енергія використовується для вироблення цукрози з вуглекислого газу (CO_2), який поглинається листям. Встановлено, що джерелом енергії для фотосинтезу служать переважно червоні промені світлового діапазону. Це підтверджує спектральна активність фотобіологічних процесів у фотоморфогенезі (формування «врожайності»), позначена на рис. 3.2 червоним кольором. Як видно з графіку, найбільш інтенсивна смуга поглинання спостерігається в червоній області спектру, і майже зовсім не поглинається зелено-синьо-фіолетовою областю.

Розрізняють дві фотосинтезні системи, в яких задіяні хлорофіл А і Б. Вони сприймають червоний і синій спектр світла. Піком поглинання для хлорофілу А є випромінювання 439 і 667 нанометрів, а для хлорофілу Б цей показник складає 469 і 642 нанометра.

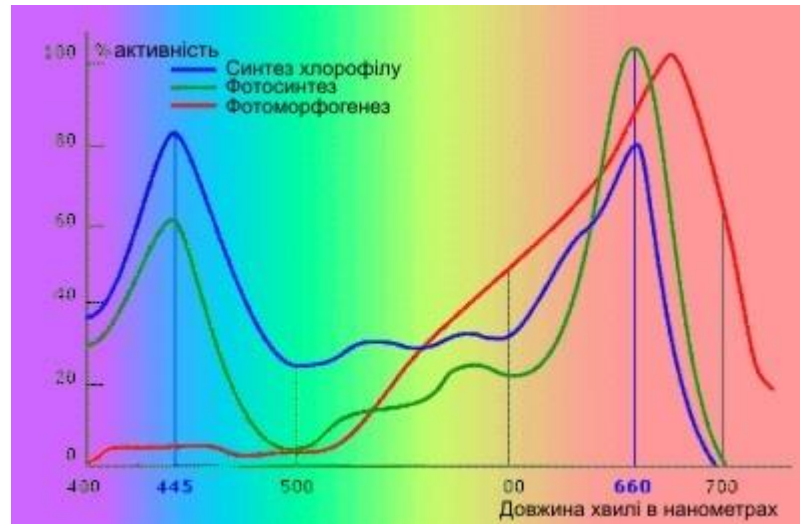


Рис. 3.2. Фотобіологічні процеси, що проходять в рослинах

Можна сказати, що ці знання активно використовується в сучасному тепличному господарстві. Сучасні LED технології дозволяють формувати світло не лише будь-якого кольору, але й його насиченості. Отже, використовуючи світлодіоди різного кольору у різній пропорціях можна формувати світильники, які даватимуть потрібну кількість світла лише того діапазону, який активно споживають рослини.

Проводилися дослідження з використанням різних світлодіодів, в яких рослини однакового розміру піддавалися безперервному опроміненню світлом з довжинами хвиль 630 нм (червоні світлодіоди), 430 нм (блакитні світлодіоди), і змішаного типу (для чого використовувалися 50% на 50% червоні і блакитні світлодіоди). Дослідження дали наступний результат: рослини, вирощені під впливом червоного кольору, виявилися слабкими і низькорослими. Рослини, які зростали під блакитним опроміненням, вирости найвищими, але з малою кількістю листків і тонкими стеблами. А рослини, вирощені під змішаним опроміненням, були гармонійно збалансовані, з великою кількістю листків і досить міцними стеблами.

Вітчизняні виробники світлодіодних світильників пропонують для використання в теплицях різні конструкції модулів. Вони базуються на використанні світлодіодів із випромінюванням у червоному та синьому діапазоні спектру в різному кількісному співвідношенні та поєднанні спектрів

випромінювання. Також можливе поєднання традиційних «тепличних» ламп із світлодіодними модулями. Практичне застосування світлодіодних світильників проводиться на підприємстві Уманський тепличний комбінат, при вирощуванні овочевої продукції.

В науковій лабораторії кафедри електроприводу і електротехнологій Національного університету біоресурсів і природокористування України проводилися лабораторні дослідження по комплексному поєднанні технологій стимуляції проростання насіння томатів за рахунок дії електромагнітних полів надвисокої частоти (ЕМП НВЧ), та природного освітлення і досвічування сходів в ранковий та вечірній періоди комбінованим світлодіодним модулем із червоним та синім спектром випромінювання (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Дослідження дії ЕМП НВЧ та світлодіодного модуля із червоним та синім спектром випромінювання на томати

Результати дослідження показали, що перші сходи з'явились у рослин, насіння яких піддали стимуляції в (ЕМП НВЧ), на два дні раніше ніж в контролі (рис. 3.4, а)

Рослини, які досвічували із використанням світлодіодних модулів, у своєму розвитку значно випереджали тих, що розвивались в умовах лише природного освітлення (рис. 3.4, б).



Рис. 3.4. Результати досліджень: а – під дією ЕМП НВЧ та світлодіодного модуля; б – в умовах природного освітлення.

Можна зробити висновок, що світлодіодні (LED) технології дозволяють створювати світло будь-якого кольору та інтенсивності. Використовуючи світлодіоди різного кольору у різній пропорціях можна формувати світильники, які даватимуть потрібну кількість світла лише того діапазону, який активно споживають рослини. Це сприятиме швидкому і гармонійному розвитку рослини.

При правильному підборі світлового спектру, LED модулі на 85-100% ефективніші для процесу фотосинтезу ніж існуючі джерела фотосинтезного випромінювання, більш економні та мають значно більший термін безперервної роботи.

3.2. Енергозберігаючі світлодіодні світильники УСС-БИО торгової марки «ФОКУС» в системі досвічування теплиць

Вибір якісної світлотехніки – це насамперед вирішення проблем з освітленням, яке якнайбільше часу повинне залишатися на постійному рівні з найменшим енергоспоживанням, мінімальними експлуатаційними витратами (обслуговування, заміна ламп, утилізація), а також бути безпечним і екологічним. Розвиток технологій дозволив створити абсолютно новий енергоефективний напрямок у світлотехніці – світлодіодне освітлення.

Сучасне світлодіодне освітлення (LED) досить актуально й привабливо в цей час в усьому світі.

По-перше, завдяки особливостям спрямованого випромінювання світлодіодів підвищується контрастність освітлюваних об'єктів, а колірну температуру і яскравість світлодіодних світильників можна встановлювати залежно від необхідного якості освітлення. По-друге, вони механічно міцні й винятково надійні в експлуатації, термін служби світлодіодів досягає 100 тисяч годин, що майже в 100 раз більше, ніж у лампи розжарювання, і в 5-10 разів більше, ніж у газорозрядних ламп. По-третє, світлодіодний світильник – це екологічно чистий прилад, який не має стробоскопічного ефекту, не створює УФ і ІЧ випромінювань і не містить шкідливих матеріалів – а стало бути, він безпечний при експлуатації й при утилізації.

У світильниках торговельної марки «ФОКУС» використовуються високоякісні світлодіоди останнього покоління компаній Nichia і Osram. Для електроживлення світлодіодів розроблена й застосовується спеціальна електронна схема, що підтримує оптимальний струмовий режим, завдяки чому забезпечується тривалий термін служби світильників. Корпуси виконані з алюмінієвого профілю із захисним склом з ударостійкого оптичного полікарбонату.

Уся продукція торговельної марки «ФОКУС» має захист від несанкціонованого розкриття й від підробки у вигляді різних цифрових і фірмових знаків і голограм.

Ще одна величезна перевага світлодіодних приладів освітлення – можливість їх використання у вибухопожежонебезпечних приміщеннях без застосування громіздких захисних світлопрозорих кожухів.

Світлодіодні світильники можуть бути виготовлені для роботи від акумуляторів, систем із застосуванням сонячних батарей, вітрогенераторів або мереж постійного струму з напругою 24В. З метою ще більшої економії електроенергії вони можуть бути укомплектовані датчиками для автоматичного вмикання/вимикання.

Усі вироби сертифіковані, проходять ретельні заводські випробування й відповідають вимогам державних і галузевих стандартів.

Термін служби приладів освітлення «ФОКУС» становить більш 10 років. Гарантійне безкоштовне обслуговування світлодіодної продукції – 3 роки.

Протягом усього строку експлуатації світильники енергозберігаючі не вимагають обслуговування, за винятком очищення від забруднень захисного полікарбонатного скла.

Вигляд світлодіодного світильника УСС-150-БИО «ФОКУС» показано на рис. 3.5., а його технічні характеристики в таблиці 3.1.



Рис. 3.5. Світлодіодний світильник УСС-150-БИО «ФОКУС»

Таблиця 3.1

Характеристика світлодіодного світильника УСС-150-БИО «ФОКУС»

Характеристика	Величина
Світловий потік з прозорим склом, червоний	2000 лм
Світловий потік з прозорим склом, синій	1000 лм
Марка світлодіодів	OSRAM LRW5AM
Напруга мережі	170-264 В
Номінальна потужність	150 Вт
Функція захисту від перегріву	так
Функція захисту від сачків напруги до	800 В
Діапазон робочих частот	50-60 Гц
Клас енергетичної ефективності	A
Діапазон робочих температур	від -60 до +45 °С
Ступінь захисту	IP67
Матеріал корпусу	анодований алюміній
Матеріал захисного скла	оптичний полікарбонат
Термін служби	100000 годин
Вага разом з кріпленням	7 кг
Габаритні розміри	820×348×68

3.3. Розрахунок LED світильників та впровадження їх в тепличне господарство

Для визначення необхідної кількості світильників в теплиці скористаємося методом питомої потужності.

Розрахункову висоту підвісу світильника приймаємо $H_p = 2 \text{ м}$.

Визначаємо відстань між світильниками:

$$L = H_p \cdot \lambda \quad (3.1)$$

де λ – оптимальна відносна відстань, $\lambda = (1,4 \dots 1,6)$.

$$L = 2 \cdot (1,4 \dots 1,6) = 2,8 \dots 3,2 \text{ м}$$

Приймаємо $L = 3 \text{ м}$.

Визначаємо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$n_p = \frac{l_2}{L} \quad (3.2)$$

$$n_p = \frac{75}{3} = 25$$

Кількість світильників у ряду $n_{св}$ приймаємо 3 шт через 1 м.

Визначаємо загальну кількість світильників у приміщенні:

$$N = n_p \cdot n_{св} \quad (3.3)$$

$$N = 25 \cdot 3 = 75 \text{ шт}$$

Визначаємо встановлену та питому потужність:

$$P = P_d \cdot N \quad (3.4)$$

$$P_{num} = \frac{P}{S} \quad (3.5)$$

де S – площа однієї ланки теплиці, m^2 ; $S = 6,4 \cdot 75 = 480 m^2$.

$$P = 150 \cdot 75 = 11250 \text{ Вт}$$

$$P_{num} = \frac{11250}{480} = 23,4 \text{ Вт/м}^2$$

Загальна споживана електрична потужність системи досвічування теплиці:

$$P_{заг} = P \cdot n \quad (3.6)$$

Загальна кількість світлодіодних модулів в теплиці:

$$N_{заг} = N \cdot n \quad (3.7)$$

де n – кількість ланок в теплиці, $n = 13$.

$$P_{заг} = 11250 \cdot 13 = 146250 \text{ Вт} = 146,3 \text{ кВт.}$$

$$N_{заг} = 75 \cdot 13 = 975 \text{ шт.}$$

Таким чином, для системи досвічування тепличного господарства було вибрано світлодіодні світильники УСС-150-БИО торгової марки «ФОКУС». Застосування таких світильників є вигідним по ряду причин:

- збільшення та покращення показників врожайності та приросту біомаси;
- енергозберігаючі, споживання електричної енергії – мінімальне;
- мінімальні витрати на обслуговування, заміну ламп, утилізацію;
- світлодіодний світильник безпечний і екологічний.

Отже, для досвічування теплиць, згідно розрахунку, було прийнято 975 світлодіодних світильників загальною потужністю 146,3 кВт.

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК ГЕЛІОКОЛЕКТОРІВ ТА ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

4.1. Загальні відомості про геліоколектори

Колектори – це генератори теплоти, які багато в чому відрізняються від традиційних джерел теплоти. Найбільша відмінність полягає в тому, що джерелом енергії, використовуваної для одержання теплоти, є не традиційне паливо, а сонячне випромінювання.

З одного боку, сонячне випромінювання – це безкоштовне джерело енергії, яке в людському розумінні надане нам на нескінченно довгий термін. Зокрема, в опалювальний сезон, коли необхідно максимальна кількість теплової енергії, сонячна енергія – мінімальна, і навпаки. Крім того, Сонце неможливо включати або виключати за своїм розсудом. Такі вихідні дані вимагають принципово іншого підходу до проектування енергетичних установок, потужність яких надається, так сказати, на вимогу. Виключенням стали установки, що використовують енергію сонячного випромінювання, але для надійності доповнені другим генератором теплоти – такі установки проектують і експлуатуються як бівалентні системи.

Коефіцієнтом корисної дії сонячного колектора називається частка сонячного випромінювання, що попадає на площу апертури колектора, яка перетвориться в корисну теплову енергію. Площею апертури називається поверхня колектора, на яку ефективно впливає сонячне випромінювання. Коефіцієнт корисної дії залежить у тому числі й від робочого стану колектора, а спосіб його визначення однаковий для всіх типів колекторів.

Частина сонячного випромінювання, що попадає на колектор, губиться внаслідок відбиття й поглинання на прозорому покритті й внаслідок відбиття на абсорбері. По співвідношенню інтенсивності випромінювання, що попадає на колектор, і потужності випромінювання, що перетвориться в теплоту на абсорбері, можна розрахувати оптичний коефіцієнт корисної дії колектора. Він позначається, як η_0 (ета нуль).

Якщо колектор нагрівається сонячним випромінюванням, то він втрачає частину теплоти в навколишнє середовище внаслідок теплопровідності матеріалу колектора, теплового випромінювання й конвекції (руху повітря). Ці тепловтрати можна розрахувати за допомогою коефіцієнтів теплових втрат k_1 і k_2 і різниці температур ΔT (дельта Т) між абсорбером і навколишнім середовищем.

Різниця температур вказується в К (градусах Кельвіна).

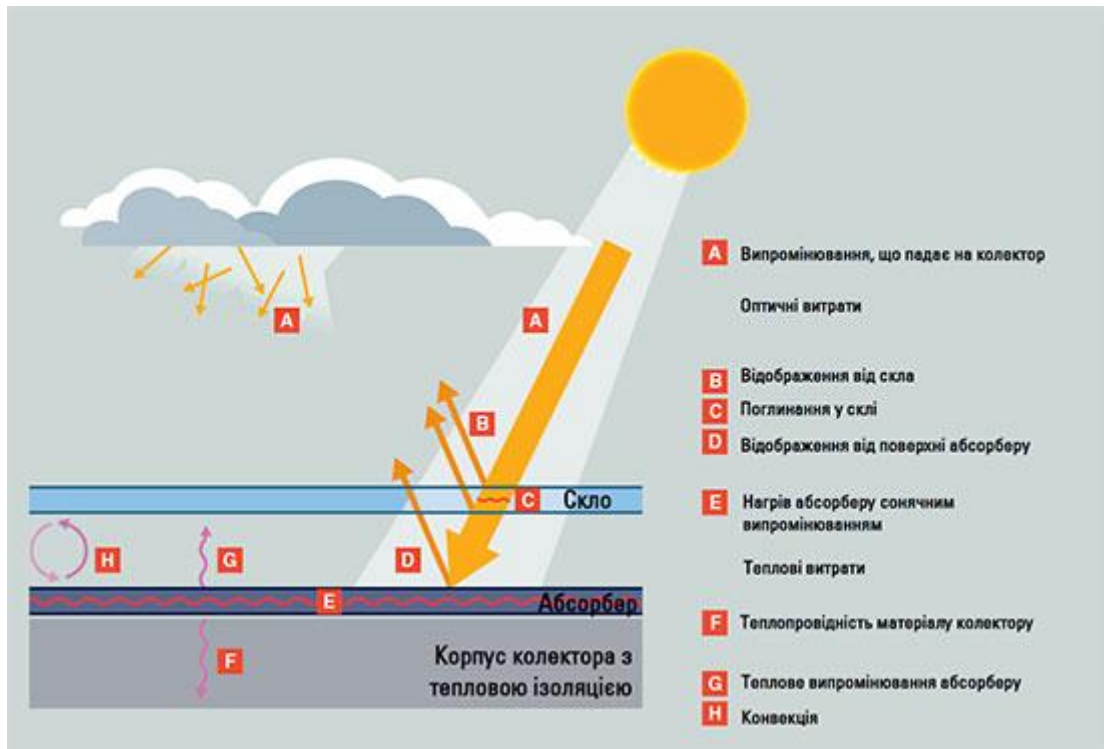


Рис. 4.1. Перетворення сонячного випромінювання в колекторі

Випромінювання, що падає на колектор, зменшується на величину оптичних втрат. Частина випромінювання, що залишилася, нагріває абсорбер. Кількість теплоти, що віддається колектором у навколишнє середовище, є тепловими втратами.

Коефіцієнти теплових втрат і оптичний коефіцієнт корисної дії – найважливіші характеристики продуктивності колекторів.

Оптичний коефіцієнт корисної дії й коефіцієнти теплових втрат визначаються по методу, описаному в Європейському стандарті EN 12975, і є найважливішими характеристиками колектора. Усі ці характеристики вказуються в технічному паспорті на колектор.

Коефіцієнти теплових втрат і оптичний коефіцієнт корисної дії колекторів

Тип колектора	Оптичний коефіцієнт корисної дії, %	Коефіцієнт теплових втрат k_1 , Вт/(м ² ·К)	Коефіцієнт теплових втрат k_2 , Вт/(м ² ·К ²)
Плоский колектор	80	4	0,1
Плоский колектор зі склом з антивідбиваючою поверхнею	84	4	0,1
Вакуумний трубчастий колектор	80	1,5	0,005

Оптичний коефіцієнт корисної дії й коефіцієнти теплових втрат визначаються по методу, описаному в Європейському стандарті EN 12975, і є найважливішими характеристиками колектора. Усі ці характеристики вказуються в технічному паспорті на колектор.

Відповідно до цих характеристик і значенням інтенсивності сонячного випромінювання E_g , можна відобразити коефіцієнт корисної дії колектора у вигляді графіка (рис. 4.2).

$$\eta = \eta_0 - k_1 \cdot \frac{\Delta T}{E_g} - k_2 \cdot \frac{\Delta T^2}{E_g} \quad (4.1)$$

де: η – коефіцієнт корисної дії колектора; η_0 – оптичний коефіцієнт корисної дії; k_1 – коефіцієнт теплових втрат у Вт/(м²·К); k_2 – коефіцієнт теплових втрат у Вт/(м²·К²); ΔT – різниця температур в К; E_g – інтенсивність випромінювання у Вт/м².

Максимальний коефіцієнт корисної дії досягається в тому випадку, якщо різниця температури колектора й температури зовнішнього повітря дорівнює нулю й колектор не має теплових втрат у навколишнє середовище.

Зі збільшенням різниці температур між колектором і зовнішнім повітрям вакуумні трубчасті колектори мають значно більший коефіцієнт корисної дії, ніж плоскі.

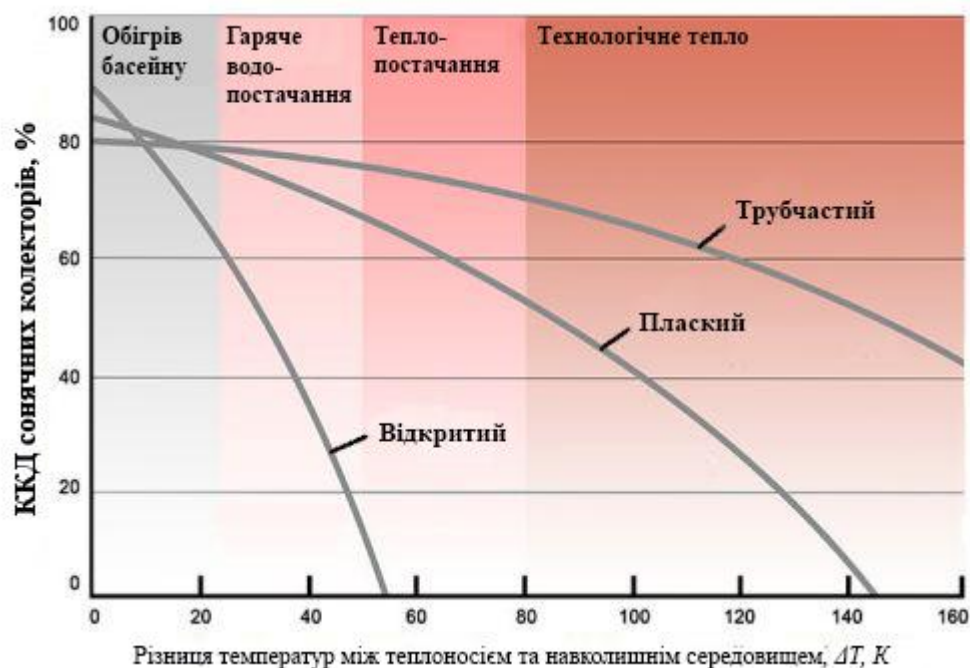


Рис. 4.2. Графік коефіцієнта корисної дії колекторів

Температура стагнації. Якщо відбір теплоти від колектора припиняється (теплоносій не циркулює, насос не працює), то колектор нагрівається до так званої температури стагнації. У цьому стані теплові втрати дорівнюють поглиненому випромінюванню, продуктивність колектора дорівнює нулю. Як у Німеччині, так і в Україні плоскі колектори досягають улітку стагнації при температурі вище 200 °С, а вакуумні трубчасті колектори – близько 300 °С.

Потужність сонячного колектора. Максимальна потужність. Максимальна потужність колектора визначається як добуток оптичного коефіцієнта корисної дії η_0 і максимального значення падаючого випромінювання 1000 Вт/м².

Якщо граничний оптичний коефіцієнт корисної дії становить 80 %, то максимальна потужність одного квадратного метра площі колектора становить 0,8 кВт. Звичайно це значення досягається рідко, але є важливим для розрахунку обладнань безпеки сонячної системи.

Розрахункова потужність. Розрахункова потужність визначається для проектування сонячної системи. Вона використовується для підбора обладнання й, насамперед, для підбора теплообмінника.

У якості нижньої границі приймається зазначена в VDI 6002 частина 1, питома потужність колектора 500 Вт/м^2 , ми ж рекомендуємо для надійності використовувати більш високе значення – 600 Вт/м^2 – при низьких температурах, тобто в режимах експлуатації з очікуваним високим значенням коефіцієнта корисної дії колектора. Усі компоненти системи й пакетні сонячні системи Viessmann розраховані з урахуванням цього значення потужності колектора.

Встановлена потужність. У спеціальній технічній літературі зустрічається ще один параметр потужності, використовуваний тільки для статистики й порівняння різних генераторів теплоти. Для збору статистичних даних про всі встановлені в регіоні колектори, поряд із вказівкою площі в м^2 вказується також встановлена потужність. Вона становить 700 Вт/м^2 площі абсорбера (усереднена потужність при максимальному падаючому випромінюванні). Ця величина не впливає на проектування сонячної системи.

Продуктивність сонячного колектора. Для розрахунку сонячної системи й визначення параметрів компонентів системи потужність колектора менш важлива, ніж очікувана продуктивність установки.

Продуктивність колектора визначається як добуток середньої очікуваної потужності (кВт) на відповідну одиницю часу (година). Отримане значення у кВт·год відносять до квадратного метра площі колектора або площі апертури і отримують значення в кВт·год / м^2 . Це значення, віднесене до кількості днів, важливе для визначення параметрів бака-акумулятора сонячної системи. Питома продуктивність колектора на рік вказується в кВт·год на м^2 площі і є важливою оцінною характеристикою для визначення параметрів і режиму експлуатації установки.

Чим вище значення, тим більше теплоти виробляє для системи теплопостачання сонячна система. У цілому за рік зустрічаються такі режими експлуатації, при яких колектор ще міг би поставляти енергію, але акумулятор, наприклад, уже повністю заряджений. У цьому випадку продуктивність колектора

дорівнює нулю. Продуктивність колектора є важливим оцінним параметром ефективності сонячної системи. Вона особливо висока, якщо поверхня колектора оптимально орієнтована й не має затінь. У сонячних системах, що покривають частину навантаження на опалення, для підвищення продуктивності й експлуатаційних характеристик доцільно збільшувати кут нахилу, оскільки оптимальна продуктивність має вирішальне значення для перехідного й зимового сезону. Улітку, якщо сонячна енергія використовується тільки для гарячого водопостачання, збільшення кута нахилу колектора дозволяє зменшити надлишки енергії, а в перехідний сезон збільшення кута нахилу забезпечує одержання більш високої ефективності. Таким чином, протягом року теплота виробляється більш рівномірно, і продуктивність сонячної системи виявляється вище, ніж у випадку вибору орієнтації колектора на максимальне випромінювання.

Вибір орієнтації колектора на максимальний прихід сонячного випромінювання доцільний тільки в тому випадку, якщо випромінювання, що попадає на колектор, може використовуватися в будь-який час.

Графік зміни продуктивності та кута нахилу сонячного колектора на протязі року показаний на рис. 4.3.

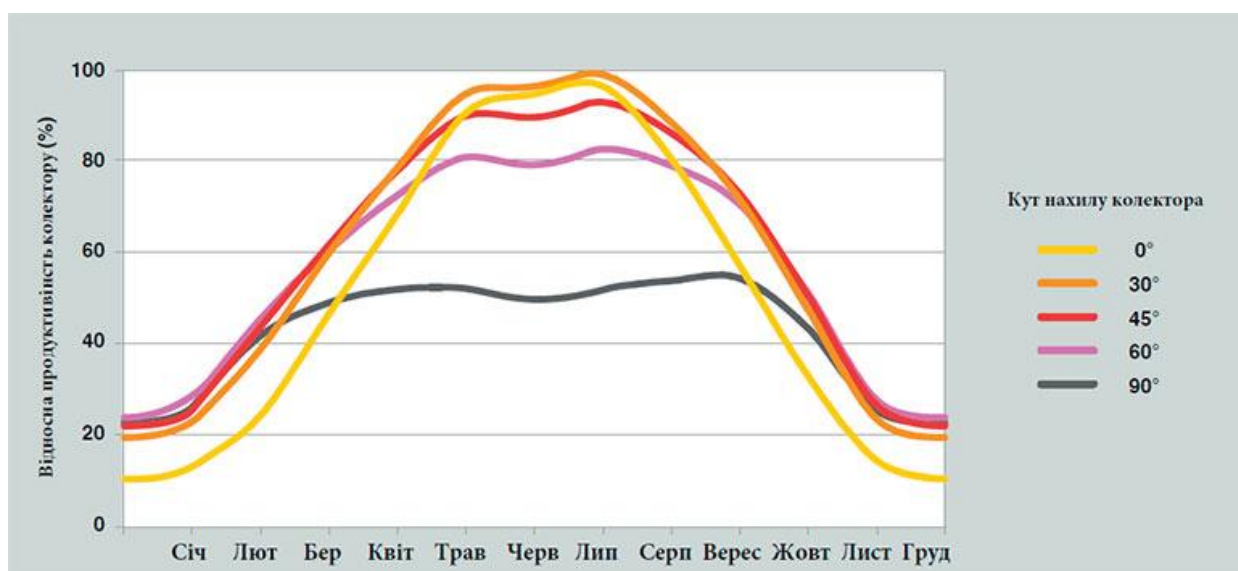


Рис. 4.3. Продуктивність та кут нахилу колектора

Основні відмінності в режимах роботи сонячної системи. У Німеччині найбільше поширення одержали сонячні системи, що складаються із сонячного колектора, регулятора, насоса й добре ізольованого акумулятора теплоти.

У колекторі сонячне випромінювання попадає на поглинаючий елемент із селективним покриттям (абсорбер). На нижній стороні абсорбера закріплені мідні трубки, по яких циркулює робоча рідина (теплоносій). Абсорбер нагрівається сонячними променями й віддає теплоту теплоносієві в трубках. Регулятор і насос забезпечують відвід теплоти по трубопроводах. Потім у баку-акумуляторі теплота передається воді, що нагрівається, через теплообмінник.

Напірна система з незамерзаючим теплоносієм. У таких системах з незамерзаючою робочою рідиною використовується теплоносій, що складається, як правило, із суміші води й антифризу (гліколя). Теплоносій подається насосом у трубки абсорбера, де нагрівається, щоб потім віддати теплоту в теплообмінник бака-акумулятора.

Гліколь захищає установку від замерзання взимку. Крім того, така система забезпечує антикорозійний захист, оскільки незамерзаючі теплоносії містять додаткові антикорозійні присадки.

Закриті напірні системи обов'язково оснащені розширювальним баком, який сприймає теплове розширення теплоносія й додатково виникаючий об'єм пари при закипанні теплоносія в колекторі.

Такі системи широко застосовуються в Центральній Європі, де їх частка на ринку становить близько 95 відсотків.

Напірна система із захистом від замерзання. Система із захистом від замерзання по своїй конструкції аналогічна описаній раніше системі з незамерзаючим теплоносієм. Різниця полягає в тому, що теплоносієм у ній є чиста вода, без додавання антифризу. Щоб вода не замерзала, узимку на колектор подається теплота від казана через бак-акумулятор. Для енергетичної оцінки таких систем необхідно з отриманої влітку енергії відняти енергію, що витрачається взимку на обігрів колектора. Витрата енергії на обігрів колектора залежить від температури зовнішнього повітря й, як правило, становить не менш десяти відсотків продуктивності системи. Якщо такі установки підключені безпосередньо до контуру котла (без гідравлічного поділу контурів), то при проектуванні й монтажі слід це враховувати (обробка теплоносія, випробування під тиском і т.д.).

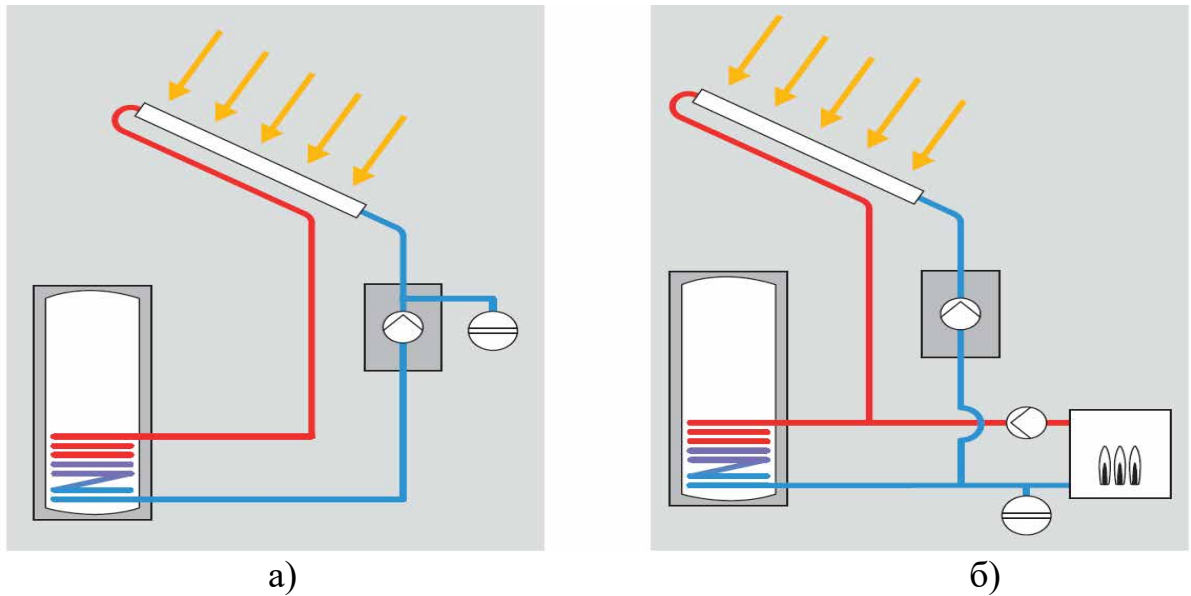


Рис. 4.4. Напірна система: а) з незамерзаючим теплоносієм; б) із захистом від замерзання.

Конструкція й функціонування колекторів. Плоскі колектори (рис.4.5). У плоских колекторах абсорбер, як правило, захищений корпусом з високоякісної листової сталі або алюмінію, а із фронтальної поверхні закритий геліосклом з низьким вмістом заліза, який забезпечує довгочасний захист від несприятливих погодних умов. Антивідбиваюче покриття скла додатково зменшує відбиття. Теплова ізоляція корпусу знижує теплові втрати.



Рис. 4.5. Плоский колектор Vitisol 200-F

Корпус плоских колекторів Viessmann виконаний з алюмінієвої рами без косих розрізів і гострих кромek. Завдяки безшовному, стійкому до впливу погодних умов і ультрафіолетового випромінювання ущільненню скла й міцній задній стінці корпуса забезпечується довгий строк експлуатації й висока ефективність колектора.

Плоскі колектори просто й надійно монтуються на плоскому або скатному даху, а також можуть вбудовуватися в покрівлю. Крім того, колектори можуть монтуватися на фасади будинків або встановлюватися в довільнім місці. Плоскі колектори дешевші, ніж трубчасті вакуумні, і використовуються для установок гарячого водопостачання, підігріву води в плавальних басейнах і для покриття частини навантаження на опалення приміщень.

Плоскі колектори мають площу бруто (зовнішні розміри) близько 2 – 2,5 м².

Вакуумний трубчастий колектор (рис. 4.6). Перетворення сонячного випромінювання в теплову енергію в абсорбері, як у плоских, так і в трубчастих колекторах, відбувається, в принципі, ідентично. Значні відмінності полягають у тепловій ізоляції: у трубчастому колекторі абсорбер, як у термосі, вбудований у вакуумну скляну трубку.

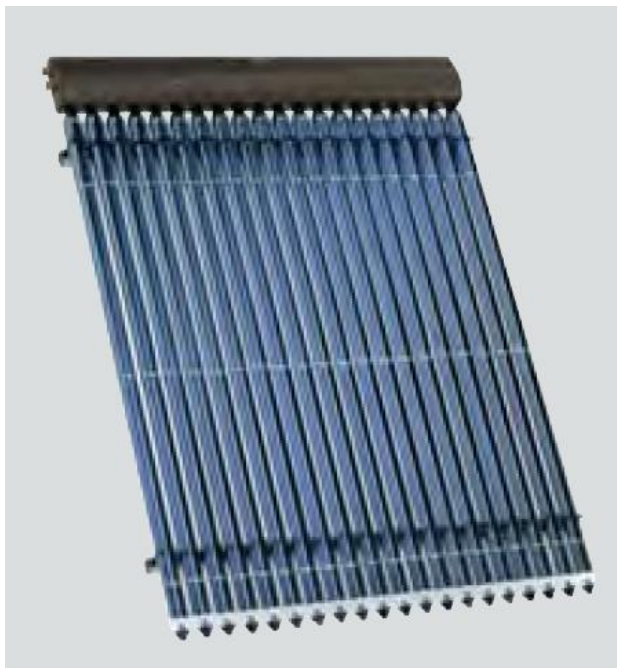


Рис. 4.6. Вакуумний трубчастий колектор Vitosol 300-T

Вакуум має гарні теплоізоляційні властивості, тому теплові втрати будуть більш низькими, ніж в плоских колекторах, особливо при високих температурах, тобто в умовах експлуатації, які очікуються при заміщенні теплового навантаження на опалення або кондиціонування повітря.

Умовою надійності й тривалої експлуатації вакуумних трубчастих колекторів є довгострокове збереження вакууму завдяки надійній герметизації. У колекторах Viessmann вона забезпечена. Мінімальні кількості газу (головним чином, водню), які попадають усередину вакуумної порожнини, зв'язуються тонкою плівкою барію (газовбирачем), напленої на внутрішній стороні трубки колектора.

Існує два типи конструкції вакуумних трубчастих колекторів: прямоточні (рис. 4.7) й з тепловою трубою (Heatpipe) (рис. 4.8).

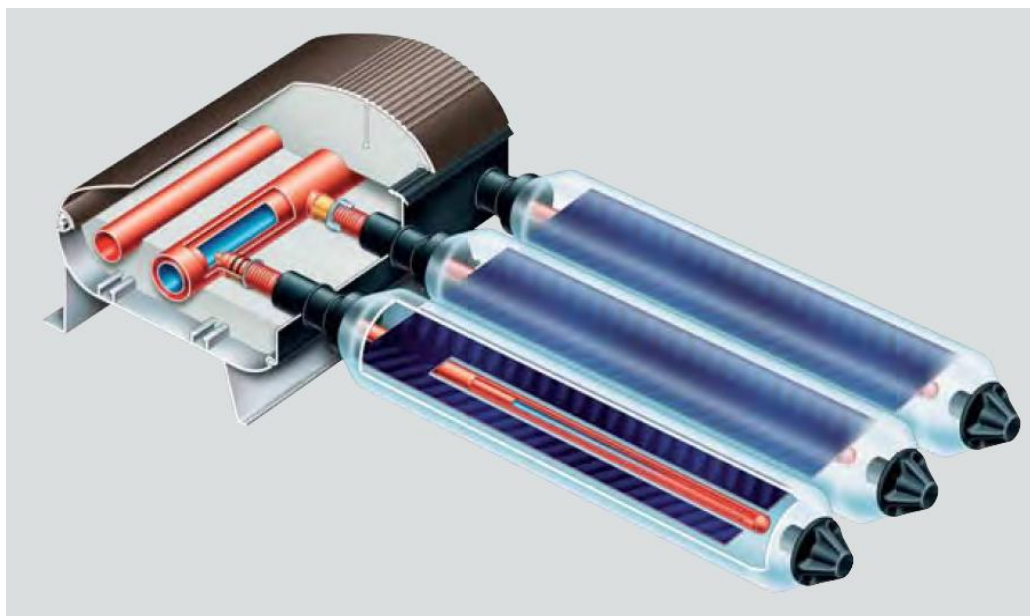


Рис. 4.7. Прямоточний вакуумний трубчатий колектор з коаксіальною трубкою на абсорбері (Vitosol 200-T)

У прямоточних вакуумних трубчастих колекторах теплоносій циркулює безпосередньо в трубках абсорбера. Тому вони можуть монтуватися в будь-якому положенні.

У конструкції з тепловими трубами в закритій трубці абсорбера відбувається випар вторинного теплоносія (як правило, води). У верхній частині трубок пара конденсується в так званому конденсаторі – де теплота передається теплоносієві.

Цей процес вимагає певного кута нахилу колектора для забезпечення передачі теплоти від випарника до конденсатора теплової труби.

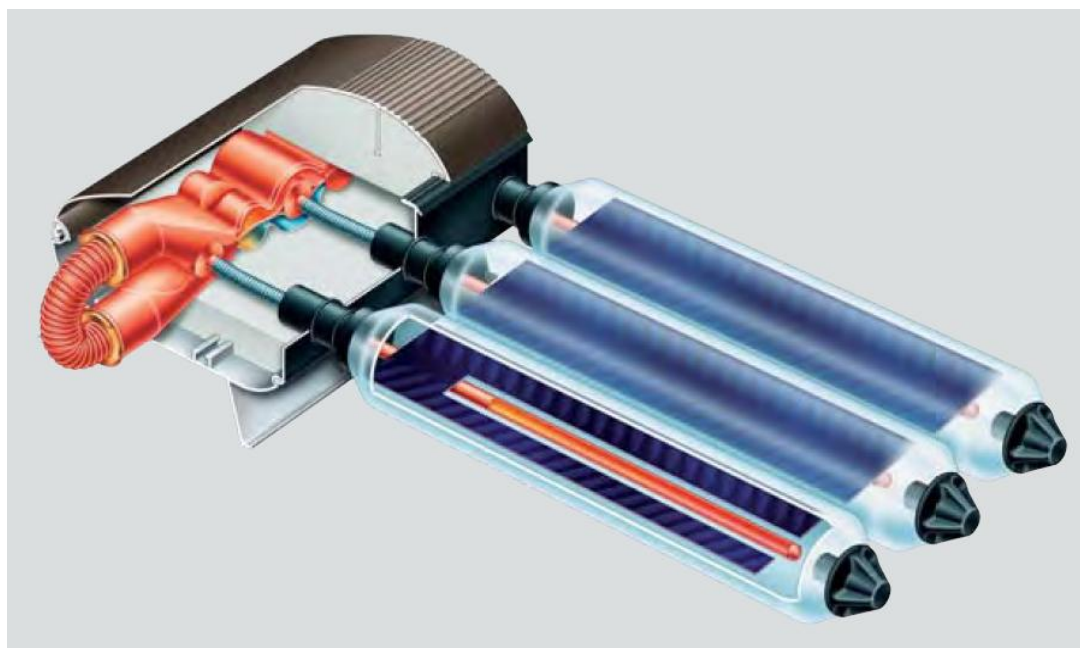


Рис. 4.8. Вакуумний трубчатий колектор з тепловою трубкою (Heatpipe) (Vitosol 300-T)

Абсорбер. Основним елементом колектора є абсорбер. Саме в ньому сонячне випромінювання перетворюється в теплоту. Теплота передається з поверхні абсорбера із селективним покриттям рідкому теплоносієві через припаяні, запресовані або приварені трубки. Абсорбер у більшості випадків виготовлений з листової міді або алюмінію або зі скла. Нанесене покриття є високоселективним, тобто забезпечує максимально можливе перетворення вступного випромінювання в теплову енергію (висока поглинаюча здатність, альфа (α)), при цьому тільки мала частина теплоти губиться внаслідок випромінювання абсорбера (низька випромінювальна здатність, епсілон (ϵ)). Значення α і ϵ наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Значення коефіцієнтів поглинання та випромінювання

Поверхня	Спосіб нанесення	Коефіцієнт поглинання, α	Коефіцієнт випромінювання, ϵ
Чорний лак	Лакування	0,95	0,85
Чорний хром	Гальванізація	0,95	0,15
«Сині шари»	Напилення	0,95	0,05

Пластини абсорбера покриваються або гальванічним способом (чорний хром), або поглинаючий шар наноситься на абсорбер напилюванням (так звані «сині шари») (рис. 4.9). Висока селективність забезпечена в обох випадках, покриття відрізняються стійкістю до впливу навколишнього середовища (наприклад, хлоридовмісне морське повітря), а також поглинаючою і випромінювальною здатністю при різних температурах. Відмінність у випромінювальній здатності незначно впливає на експлуатаційні характеристики невеликих сонячних систем, тому при проектуванні цим фактором можна зневажити.

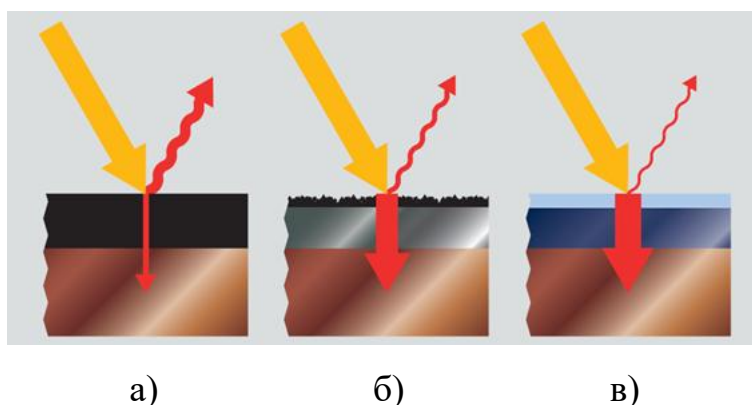


Рис. 4.9. Селективні (б, в) і неселективні (а) покриття абсорбера

Ті частини трубок абсорбера, на які попадає сонячне випромінювання, можуть бути пофарбовані чорною матовою фарбою, але в цей час це застосовується рідко. Сучасні абсорбери не є повністю чорними, а, залежно від кута зору, мають синюватий або зеленуватий відтінок.

Абсорбер у плоских колекторах. У плоских колекторах абсорбер складається із пластин або суцільних цільних листів металу (пластинчастий або суцільний абсорбери). Пластинчасті абсорбери являють собою пластини, до яких прикріплені прямі трубки. Останні з'єднуються у вигляді струн арфи (рис. 4.10). У суцільних абсорберах трубка може проходити по всій поверхні абсорбера у вигляді меандру (рис. 4.11).

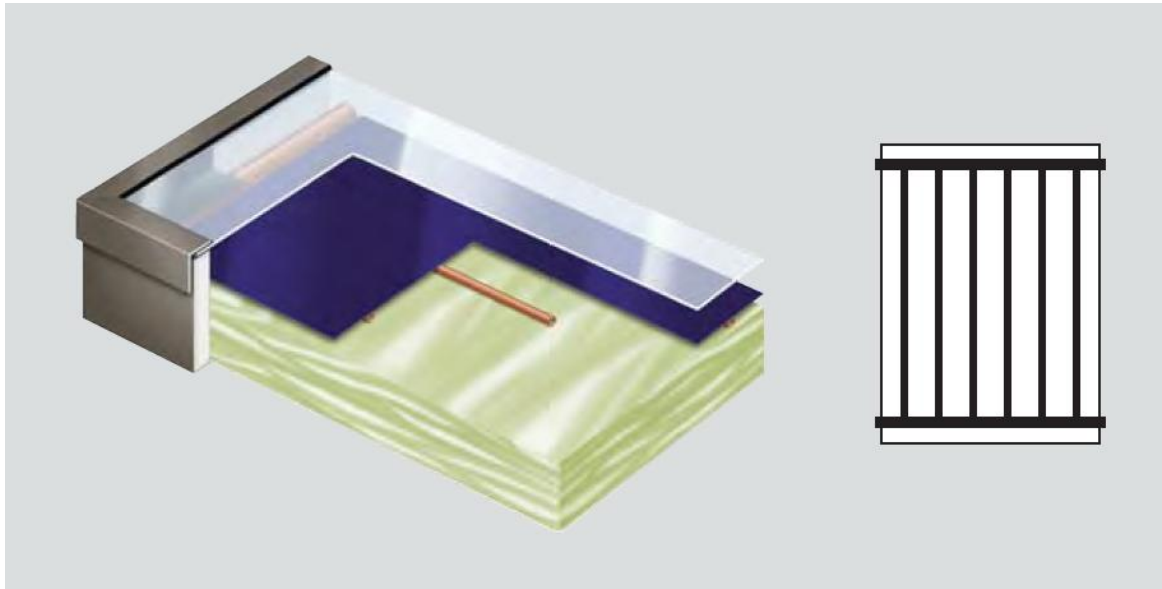


Рис. 4.10. Трубки абсорбера арфоподібної форми (малі втрати тиску)

Колектори із пластинчастими абсорберами в нормальних умовах експлуатації мають порівняно невеликі втрати тиску, але зберігають ризик нерівномірного розподілу теплоносія.

Абсорбери із трубками у формі меандру забезпечують дуже надійний відбір теплоти, оскільки теплоносій протікає по одній трубці.

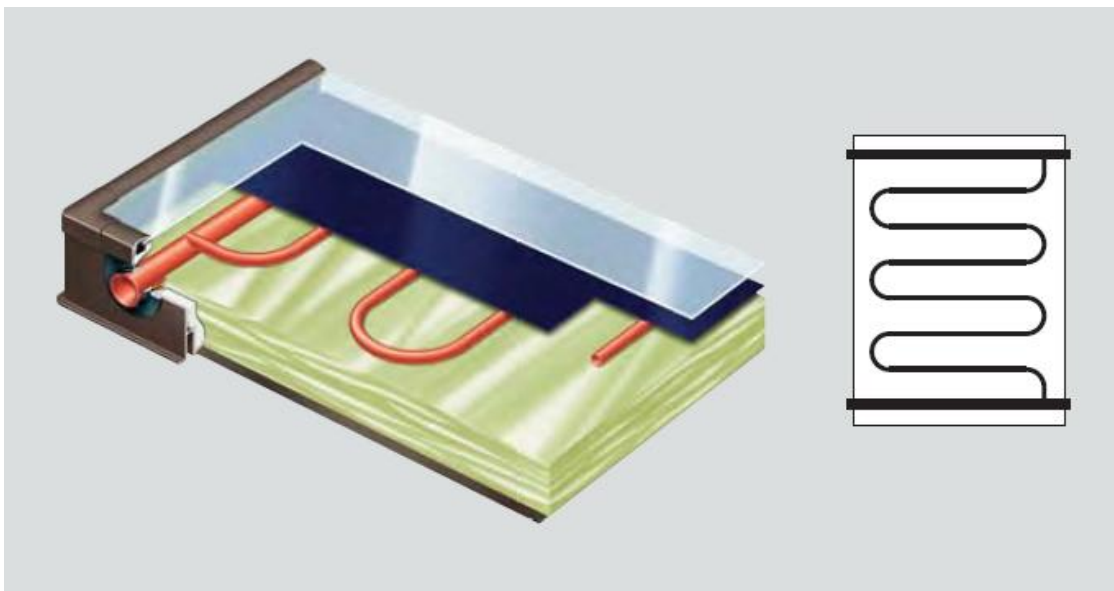


Рис. 4.11. Трубка абсорбера у вигляді меандра (рівномірний та надійний відбір теплоти).

У невеликих сонячних системах дана відмінність при проектуванні не враховується, у більших геліополях відмінності в плинні теплоносія необхідно враховувати.

Необхідно враховувати кількість приєднувальних патрубків. Якщо в колекторі тільки два патрубки, вони можуть приєднуватися тільки послідовно без додаткових зовнішніх трубопроводів.

Колектори із чотирма приєднувальними патрубками більш гнучкі з гідравлічної точки зору – вони спрощують проектування й забезпечують надійну роботу більших колекторних полів.

Абсорбери вакуумних трубчастих колекторів. Пластинчасті абсорбери. У колекторах даного типу абсорбер складається із плоских пластин із припаяними до них трубками. У прямоточних колекторах використовується коаксіальна трубка. У внутрішній трубці за принципом протитечії протікає теплоносій, що подається в трубу, по зовнішній, привареної до абсорбера трубці, протікає відвідне середовище, при цьому відбувається її нагрівання. В абсорберах з тепловою трубою використовується запаяна трубка, у якій перебуває легкозакипаюча рідина.

У вакуумних трубчастих колекторах Viessmann кожна трубка може повертатися навколо поздовжньої осі – завдяки цьому абсорбер можна оптимально орієнтувати щодо сонця при несприятливих умовах монтажу.

Круглий скляний абсорбер. У колекторах даного типу дві вставлені одна до одної скляні трубки з'єднуються один з одним і вакуумуються. Абсорбер напильється на внутрішню скляну трубку. Через теплопровідні металеві пластини й установлені на них трубки абсорбера сонячне тепло передається теплоносієві. Для того щоб можна було використовувати випромінювання на звороті абсорбера, необхідно встановити дзеркало. Оптичний коефіцієнт корисної дії цього типу колектора, віднесений до площі апертури, залежно від конструкції, приблизно на 20 відсотків менше, чим у колекторів із плоскими абсорберами.

Для відводу теплоти від абсорбера (рис. 4.12-4.13) використовується або теплова труба, або безпосереднє протікання теплоносія (прямоточний).

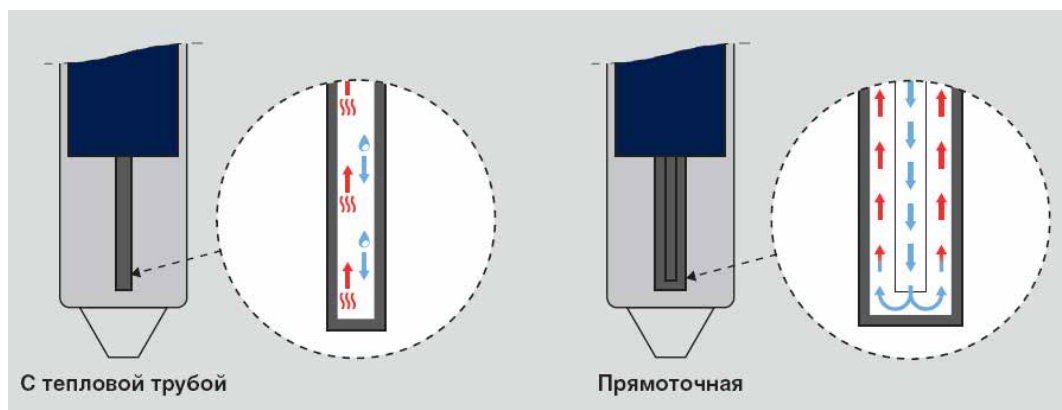


Рис. 4.12. Трубки абсорбера вакуумного колектора з тепловою трубкою та прямоточні

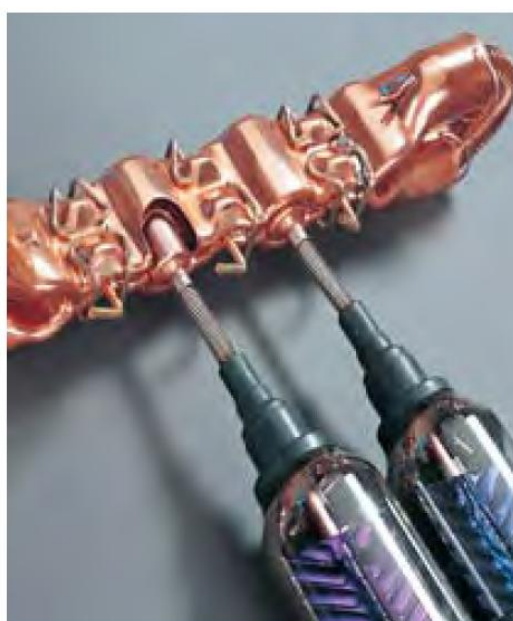
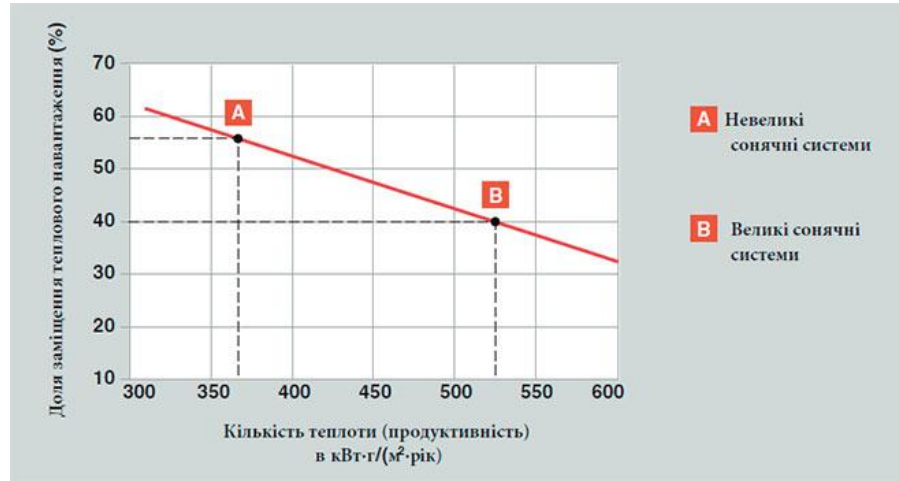


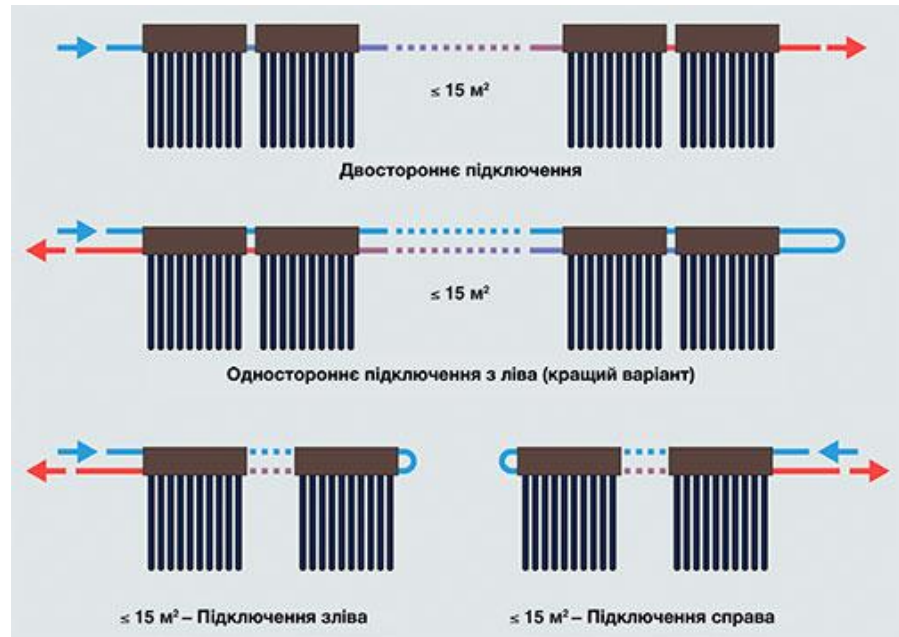
Рис. 4.13. З'єднання конденсатора теплової труби із циркуляційним контуром відноситься до так званого «сухого» типу

Площа колектора та його потужність. У сонячних колекторах для позначення значень продуктивності або потужності використовуються три різні площі. Однак у літературі не завжди коректно зазначене, яка площа мається на увазі. У технічних паспортах на колектори Viessmann усі дані зазначені точно.

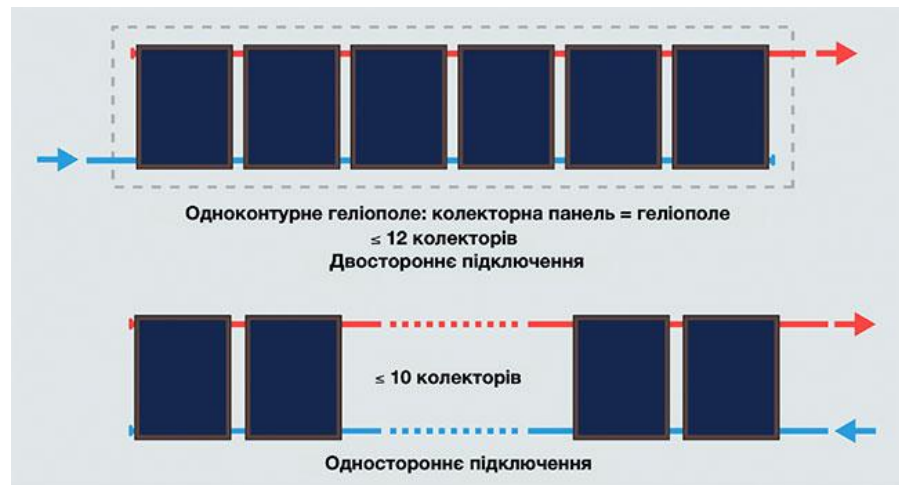
Нажче на рис. 4.14 наведемо графік орієнтовного визначення продуктивності сонячних колекторів та варіанти їх підключення.



а)



б)



в)

Рис. 4.14. Визначення продуктивності сонячних колекторів (а) та варіанти підключення геліоколекторів: вакуумованих - б, плоских - в.

З аналізу рис. 1.14 видно, що плоскі колектори можна об'єднати в одну колекторну панель (зазвичай – до 12 колекторів). Вони можуть підключатися як з однієї, так і з двох сторін. Вакуумні трубчасті колектори можна об'єднувати в колекторні панелі (зазвичай – площею до 15 м^2). Їх також можна підключати з одного боку (верхній патрубок в колекторі закритий заглушкою і не з'єднується з трубопроводами), або з двох сторін, але деякі моделі використовуються тільки для одностороннього підключення.

Тому, при проектуванні геліополя, необхідно завжди враховувати максимально допустиму кількість колекторів. Наприклад, якщо при визначенні розмірів геліополя вийшло 17 колекторів, то їх кількість скорочують до 16, щоб отримати дві колекторних панелі однакового розміру (по 8 колекторів), або збільшити їх до 18 (по 9 колекторів в зв'язці). При цьому перевіряють, чи не перевищена рекомендована виробником площа панелі.

4.2. Загальні відомості про теплові насоси

Тепловий насос (помпа) (англ. heat pump) — це екологічно чисті компактні соле/водяні установки, за допомогою яких можна отримувати тепло для опалення й гарячого водопостачання за рахунок використання тепла низькопотенційного джерела (тепло ґрунтових, артезіанських вод, озер, морів, ґрунтове тепло, тепло землі) шляхом перенесення його до теплоносія з більш високою температурою. Принцип роботи теплового насоса заснований на зворотному циклі Карно.

Концепцію теплових насосів було розроблено ще в 1852 британським фізиком та інженером Вільямом Томсоном (Лордом Кельвіном) і в подальшому вдосконалено та деталізовано австрійським інженером Петером фон Ріттінгером. Петера Ріттєра фон Ріттінгера вважають винахідником теплового насосу, оскільки саме він спроектував і встановив перший відомий тепловий насос у 1855 році.

Практичного застосування тепловий насос набув значно пізніше, а точніше у 40-х роках ХХ століття, коли винахідник-ентузіаст Роберт Вебер (Robert C. Webber) експериментував з морозильною камерою. Одного разу Вебер випадково доторкнувся до гарячої труби на виході камери і зрозумів, що тепло просто

викидається назовні. Винахідник замислився над тим, як використати це тепло, — і вирішив помістити трубу в бойлер для підігріву води. У результаті Вебер забезпечив свою родину такою кількістю гарячої води, що її вони просто не могли використати, — і при цьому частина тепла потрапляла у повітря. Це наштовхнуло його на думку, що від одного джерела тепла можна підігрівати і воду, і повітря одночасно: Вебер удосконалив свій винахід і почав проганяти гарячу воду по спіралі (через змійовик) і за допомогою невеликого вентилятора розповсюджувати тепло по будинку з метою його опалення.

Згодом саме у Вебера з'явилась ідея «викачувати» тепло із землі, де температура не надто змінювалась протягом року. Він помістив у ґрунт мідні труби, якими циркулював фреон, що «збирав» тепло землі. Газ конденсувався, віддаючи своє тепло у домі, та знов проходив через змійовик, щоб підібрати наступну порцію тепла. Повітря приводилося в рух за допомогою вентилятора і розповсюджувалось по будинку.

У 40-х роках тепловий насос був відомим через свою надзвичайну ефективність, але реальна потреба у ньому виникла за часів Арабського нафтового ембарго у 70-х роках, коли, незважаючи на низькі ціни на енергоносії, з'явився інтерес до енергозбереження.

У західних країнах імпульсом до масового запровадження теплових насосів послужила низка енергетичних криз 80-х років ХХ століття і початку ХХІ. Лідером у запровадженні теплових насосів вважається Швеція. Вражаючим прикладом служить теплонасосна станція потужністю 320МВт у Стокгольмі. У якості джерела тепла використовується вода Балтійського моря з температурою $+4^{\circ}\text{C}$, яка потім охолоджується до $+2^{\circ}\text{C}$. Улітку температура збільшується, а з нею й ефективність станції. Станція розташована на 6 причалених до берега баржах.

Тепловий насос(його внутрішній контур) складається з таких компонентів:

- конденсатор;
- капіляр;
- випарник;
- компресор, що працює від електричної мережі;

- терморегулятор, який управляє обладнанням;
- холодоагент.

Принцип роботи (рис. 4.15). Холодоагент під високим тиском через капілярний отвір попадає у випарник, де за рахунок різкого зменшення тиску відбувається процес випару. При цьому холодоагент відбирає тепло у внутрішніх стінок випарника, а випарник у свою чергу віднімає тепло в земляного або водяного контуру, за рахунок чого він постійно прохолоджується. Компресор вбирає холодоагент із випарника, стискає його, за рахунок чого температура холодоагенту різко підвищується й виштовхує в конденсатор. Крім цього, у конденсаторі, нагрітий у результаті стиску холодоагент віддає тепло (температура порядку 85-125 градусів Цельсія) опалювальному контуру й переходить у рідкий стан. Процес повторюється постійно. Коли температура в будинку досягає необхідного рівня, електричне коло розривається терморегулятором і тепловий насос перестає працювати. Коли температура в опалювальному контурі падає, терморегулятор знову запускає тепловий насос. У такий спосіб холодоагент у тепловому насосі робить зворотний цикл Карно.

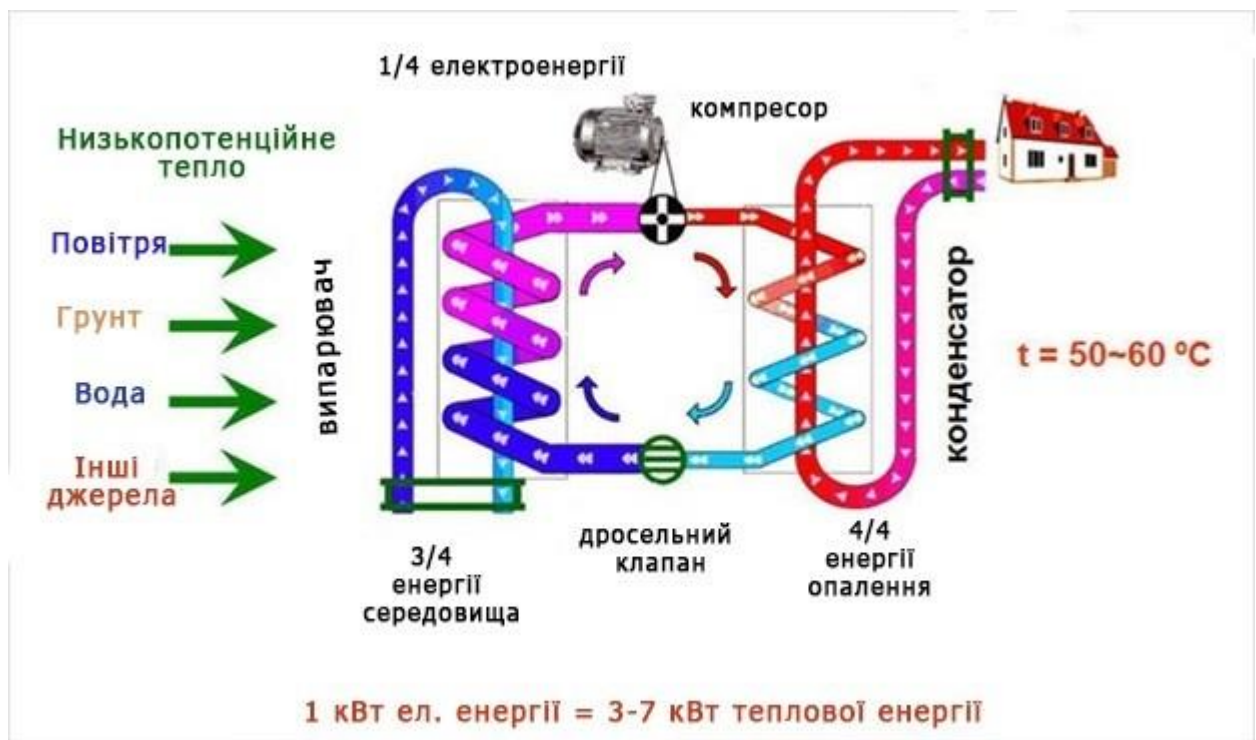


Рис. 4.15. Схема роботи теплового насосу

Як ми бачимо, теплові насоси перекачують розсіяну теплову енергію землі, води або навіть повітря у відносно високопотенційне тепло для опалення об'єкта. Приблизно 75% опалювальної енергії можна зібрати безкоштовно із природи: ґрунту, води, повітря й тільки 25% енергії необхідно затратити для роботи самого теплового насоса. Інакше кажучи, власник теплових насосів заощаджують 3/4 коштів, які він би регулярно витрачав на дизпаливо, газ або електроенергію для традиційного опалення. Попросту кажучи, тепловий насос за допомогою теплообмінників збирає теплову енергію із землі (води, повітря) і «переносить» її в приміщення.

Теплові насоси здатні не тільки опалювати приміщення, але й забезпечувати гаряче водопостачання, а також здійснювати кондиціювання повітря. Але при цьому в теплових насосах повинен бути реверсивний клапан, саме він дозволяє тепловому насосу працювати у зворотному режимі.

В залежності від принципу роботи теплові насоси поділяють на компресійні та абсорбційні. Компресійні теплові насоси завжди діють за допомогою механічної енергії (електроенергії), в той час як абсорбційні теплові насоси можуть також працювати на теплі в якості джерела енергії (за допомогою електроенергії чи палива).

В залежності від джерела відбору тепла теплові насоси поділяються на:

1. Геотермальні (використовують тепло землі, наземних або підземних ґрунтових вод) - а) замкнутого типу:

- горизонтальні – колектор розміщується кільцями або хвилясто у горизонтальних траншеях нижче глибини промерзання ґрунту (зазвичай від 1,20 м і більше). Цей спосіб є найбільш економічно ефективним для жилих об'єктів за умови відсутності дефіциту земельної площі під контур (рис. 4.16, а);

- вертикальні – колектор розміщується вертикально у свердловини глибиною до 200 м. Цей спосіб застосовується у випадках, коли площа земельної ділянки не дозволяє розмістити контур горизонтально або є загроза пошкодження ландшафту (рис. 4.16, б);

- водні – колектор розміщується хвилясто або кільцями у водойму (озеро, ставок, річку) нижче глибини промерзання. Це найдешевший варіант, але є

вимоги до мінімальної глибини та об'єму води у водоймі для певного регіону (рис. 4.16, в);

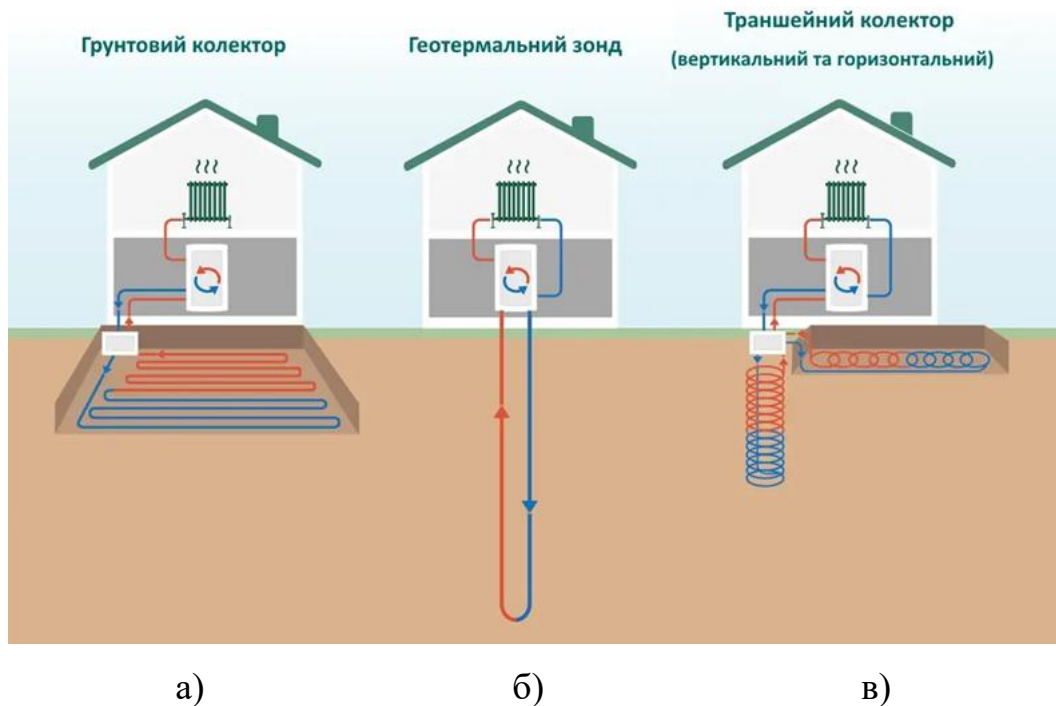


Рис. 4.16. Типи геотермальних теплових насосів

б) відкритого типу: така система використовує в якості теплообмінної рідини воду, що циркулює безпосередньо через систему геотермального теплового насосу в рамках відкритого циклу, тобто вода після проходження системою повертається у землю. Цей варіант можливо реалізувати на практиці лише при наявності достатньої кількості відносно чистої води та за умови, що такий спосіб використання ґрунтових вод є дозволеним.

2. Повітряні (джерелом відбору тепла є повітря).

3. Такі, що використовують вторинне тепло (наприклад, тепло трубопроводу центрального опалення). Цей варіант є найдоцільнішим для промислових об'єктів, де є джерела паразитного тепла, яке потребує утилізації.

Переваги теплових насосів: економічність. Тепловий насос використовує електричну енергію на багато ефективніше будь-яких котлів, які спалюють паливо. Коефіцієнт ефективності теплових насосів на багато більше одиниці. Між собою теплові насоси порівнюють за умовною величиною — коефіцієнтом перетворення енергії (КПЕ або COP), також це поняття називається коефіцієнтом

трансформації тепла, потужності, перетворення температур. Він показує відношення одержуваного тепла до витраченої енергії. Приміром, COP = 4,5 означає, що номінальна (споживана) потужність теплового насоса становить 1 кВт, на виході ми одержимо 4,5 кВт теплової потужності, тобто 3,5 кВт тепла ми одержуємо із природи.

Широкий спектр застосування. На нашій планеті існує безліч розсіяного тепла. Земля й повітря є скрізь, також більшість людей не мають проблем з водою. Саме вони містять в собі теплову енергію, отриману від сонця. Теплові насоси незалежно від погодних умов, падіння тиску в газовій трубі зберуть це тепло для вас. Усе що потрібно для цього — електрична енергія. Але якщо її немає, це теж не проблема — деякі моделі теплових насосів можуть використовувати дизельне паливо або бензин для своєї роботи.

Екологічність. Тепловий насос не тільки заощаджує гроші, але й береже здоров'я власникам будинку та їх дітям. Прилад не спалює паливо, виходить, не утворюються шкідливі окиси типу CO, CO₂, NO_x, SO₂, PbO₂. Тому навколо будинку на ґрунті немає слідів сірчаної, азотистої, фосфорної кислот і бензольних з'єднань. Та й для нашої планети застосування теплових насосів безсумнівне благо. Адже на ТЕЦ скорочується витрата газу або вугілля на виробництво електрики. Застосовувані ж у теплових насосах хладони не містять хлорвуглеродів і озонобезпечні.

Універсальність. Теплові насоси, обладнані реверсивним клапаном, працюють як на опалення, так і на охолодження. Теплонасос може відбирати тепло з повітря будинку, прохолоджуючи його. Влітку надлишкове тепло можна використовувати для підігріву побутової води або для басейну.

Безпека. Теплові насоси системи вибухово- і пожежобезпечні. У процесі опалення відсутні небезпечні гази, відкритий вогонь або шкідливі суміші. Деталі теплонасоса не нагріваються до високих температур, здатних стати причиною пожежі. Зупинка теплового насоса не приведе до його поломки, ним можна сміло користуватися після тривалого простою. Також виключене замерзання рідин у компресорі або інших складових частинах.

Особливості:

1. Чим менше різниця між температурою джерела теплоти та температурою теплоносія в опалювальному контурі, тим більший коефіцієнт перетворення тепла (КПТ).

2. Чим більше коефіцієнт завантаження теплового насосу, тим доцільніше його використання. Наприклад, системи нагріву води для басейнів працюють у постійному режимі, на протязі всього року. Їх коефіцієнт завантаження (використання потужності протягом року) може сягати 80%. В системах опалення будинків коефіцієнт завантаження обладнання становить близько 30...40%. Відповідно, в першому випадку річна економія від застосування теплового насосу рівної потужності буде в 2...3 рази більше, ніж в другому, а строки окупності обладнання - в 2...3 рази менше.

3. Чим більше теплові втрати, тим доцільніше використання теплових насосів - по-перше, питома вартість для теплових насосів великої потужності (вартість встановленого кВт) в 3...5 разів нижче, ніж для ТН малої потужності. А по-друге, чим більше обсяги споживання теплоти, тим більше економія від застосування ТН в абсолютному вимірі.

4.3. Комплексне використання сонячних колекторів та теплових насосів

Для більш ефективного використання альтернативних джерел енергії представлено комбіновану (тепловий насос плюс сонячний колектор) установку, що в залежності від кількості сонячної енергії в даний період часу може працювати в чотирьох режимах.

На даний час в Україні, як зрештою і у всьому світі, дедалі актуальнішими стають технології, що використовують відновлювані джерела енергії. До таких технологій належать теплові насоси, сонячні колектори (геліоколектори) тощо.

В світовій практиці існує багато теплових схем організації роботи теплового насоса з сонячними колекторами. Це і робота теплового насоса та сонячного колектора на один бак-акумулятор, нагрівання теплоносія зі свердловини в

проміжному баці, акумулювання сонячної енергії в акумуляторі тепла під будинком як джерела тепла для теплового насоса та інше.

Поєднання двох незалежних відновлюваних джерел теплової енергії, наприклад, сонця та ґрунту, в одній установці дасть значно вищий коефіцієнт перетворення (COP) та коефіцієнт сезонного навантаження теплової енергії в одній установці (SPF).

В залежності від кількості сонячної енергії в даний період часу комбінована теплонасосно-сонячна система може працювати в чотирьох режимах.

Режим 1 (рис. 4.17, а). При достатній кількості сонячної енергії установка працює лише з використанням сонячних колекторів.

При температурі теплоносія на виході з сонячних колекторів вище 50°C тепловий насос не працює, нагрітий теплоносій через проміжний теплообмінник передає тепло в систему опалення та гарячого водопостачання. В такому режимі установки тепловий насос не споживає електричну енергію на привід компресора та циркуляційного насоса ґрунтового контуру, тобто електрична енергія споживається лише на привід циркуляційних насосів контура геліоколектора та системи опалення. Даний режим роботи установки характерний для перехідних періодів (осінь-зима та зима-весна), коли кількості сонячної енергії достатньо для покриття всього теплового навантаження.

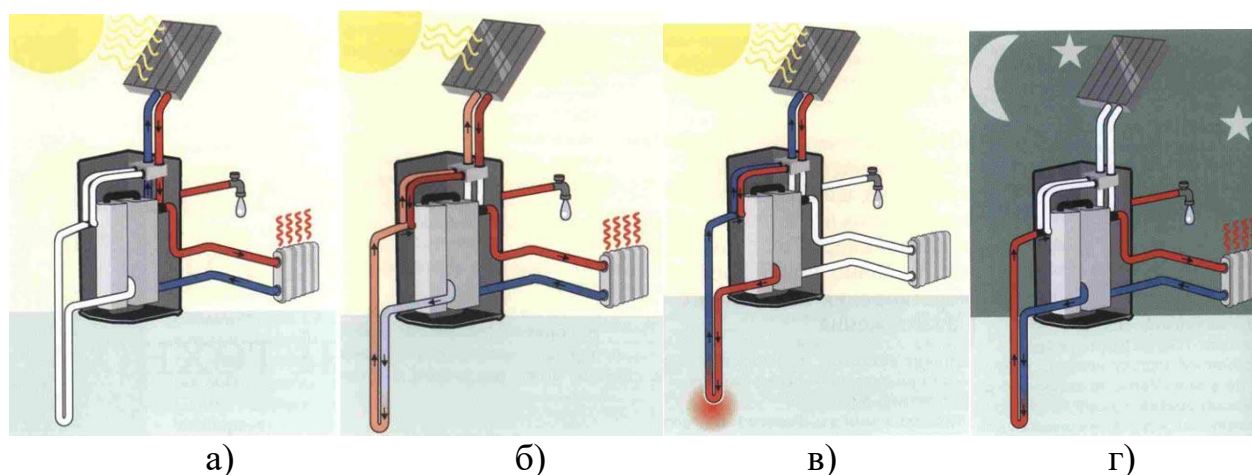


Рис. 4.17. Режими роботи комбінованої системи з використанням ґрунтового джерела теплоти: а) – режим 1; б) – режим 2; в) – режим 3; г) – режим 4.

Режим 2 (рис. 4.17, б). Підігрів теплоносія на виході з ґрунтового контуру сонячною енергією.

При температурі теплоносія на виході з сонячних колекторів нижче 50°C відбувається підігрів теплоносія на виході з ґрунтового контуру в проміжному теплообміннику сонячною енергією. Далі підігрітий теплоносій потрапляє на випарник теплового насоса і процес повторюється знову. В такому режимі установки тепловий насос працює значно ефективніше, оскільки підвищується температура теплоносія на вході у випарник, а як наслідок і коефіцієнт перетворення (COP). Даний режим роботи установки характерний для сонячних днів взимку.

Режим 3 (рис. 4.17, в). Акумуляування сонячної енергії в ґрунті.

При температурі теплоносія на виході з сонячних колекторів більше 100°C та відсутності споживання тепла вашим будинком відбувається підігрів теплоносія на виході з ґрунтового контуру в проміжному теплообміннику сонячною енергією.

Далі підігрітий теплоносій потрапляє в ґрунтовий теплообмінник, де і відбувається акумуляування сонячної енергії. Даний режим установки забезпечує акумуляування надлишку сонячної енергії в ґрунті та підвищує ефективність установки в цілому.

Такий режим установки характерний для теплої пори року (пізня весна, літо, рання осінь), адже кількість сонячної енергії в даний період в рази перевищує сонячну енергію взимку.

Режим 4 (рис. 4.17, г). Робота установки з використанням ґрунтового джерела тепла.

За відсутності сонця, комбінована теплонасосно-сонячна установка працює як звичайний тепловий насос типу ґрунт-вода.

Теплоносій, проходячи крізь ґрунтовий масив, забирає тепло з ґрунту та направляється у I випарник теплового насоса. Ефективність роботи комбінованої установки значно вища, ніж в аналогічних теплових насосів, адже вона використовує теплоносій вищої температури за рахунок акумуляування сонячної

енергії. Даний режим установки характерний для холодної пори року, оскільки кількість сонячної енергії в даний період мінімальна.

Дана комбінована теплонасосно-сонячна система з використанням вертикальних та горизонтальних ґрунтових теплообмінників добре зарекомендувала себе в країнах Європи та навіть Скандинавії.

Нагрітий в літній період сонячними колекторами теплоносій по трубопроводах направляється в розміщені під землею на ділянці поруч з будинком теплообмінники, прогріваючи ґрунт. Взимку акумульоване таким чином тепло через ті ж теплообмінники та тепловий насос направляється на опалення та гаряче водопостачання будинку.

Комбіновані теплонасосно-сонячні системи мають ефективність значно вищу в порівнянні зі звичайними тепловими насосами, а коефіцієнт перетворення установок може досягати семи ($COP = 7$).

Наприклад, коефіцієнт перетворення при різних температурах для даних теплонасосно-сонячних установок складає наступні величини (з врахуванням електричної енергії на привід циркуляційних насосів):

$COP = 7$ при температурі теплоносія на вході у випарник рівною 20°C та температурою теплоносія на виході з конденсатора рівною 35°C ;

$COP = 5,5$ при температурі теплоносія на вході у випарник рівною 6°C та температурою теплоносія на виході з конденсатора рівною 35°C ;

$COP = 4,8$ при температурі теплоносія на вході у випарник рівною 0°C та температурою теплоносія на виході з конденсатора рівною 35°C .

Автоматика, яка використовується в комбінованій установці, була спеціально розроблена для роботи з сонячними колекторами та допоміжним обладнанням.

Важливою умовою експлуатації даних установок є те, що тип сонячних колекторів (плоскі, трубчасті) не має значення, головне, щоб вони були вакуумні, для ефективної роботи взимку та правильно розраховані на потужність установки.

Дослідження, які були проведені фахівцями Національного технічного університету України "КПІ", Інституту гідромеханіки НАН України та "Європейської енергетичної компанії", показали суттєву економію коштів під час експлуатації гібридної теплонасосно-сонячної установки для умов України.

Так для географічного розташування Києва (середньорічна кількість сонячної радіації на 1 м^2 площі поверхні складає $3,1 \text{ кВт}$ при використанні комбінованої теплонасосно-сонячної установки економія коштів складе близько 30% .

Комбінована система: тепловий насос, геліоколектор та електрокотел.
Комбіноване використання енергії сонця з іншими видами енергії підвищує ефективність системи.

Відмінність запропонованої системи полягає в складанні ефективності використання трьох взаємопов'язаних джерел теплопостачання: геліосистема, електрокотел і тепловий насос.

Основні мотиви ініціювання проекту: зростання цін на енергоносії; дефіцит теплогенеруючих потужностей, і незадовільна якість послуг з теплопостачання; нерентабельне використання теплової енергії при централізованому теплопостачанні, що впливає на ціну теплової енергії у кінцевого споживача.

Комбінована система теплопостачання з використанням сонячних колекторів, теплового насосу та електрокотла показана на рис. 4.18 і функціонує в такий спосіб.

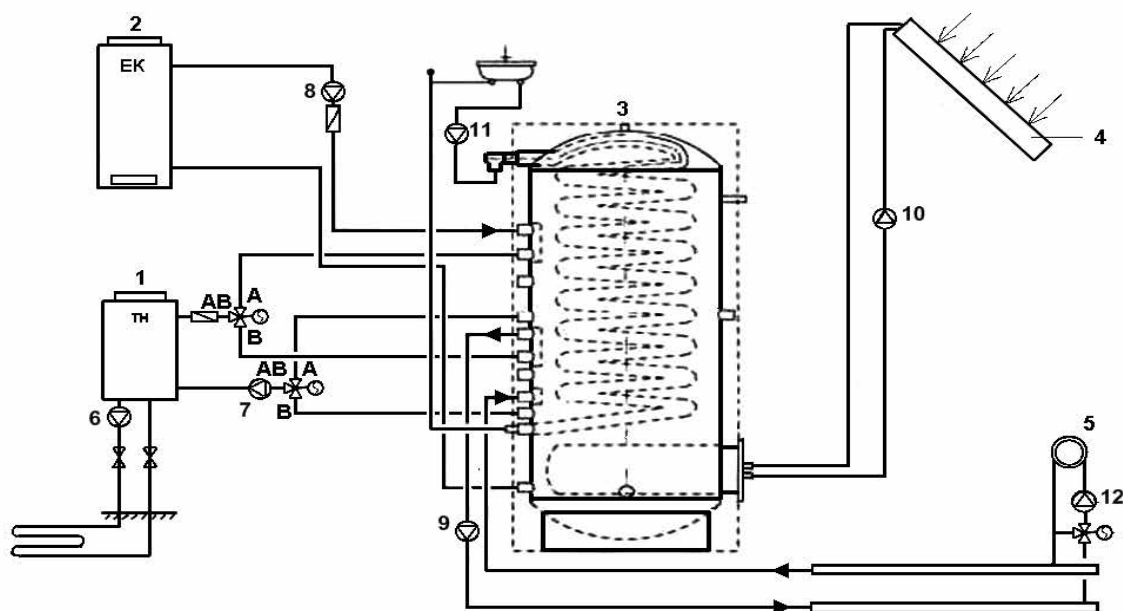


Рис. 4.18. Схема комбінованої системи теплопостачання: 1 – тепловий насос (ТН); 2 – електрокотел (ЕК); 3 – бак-акумулятор; 4 – сонячний колектор (СК); 5 – контур опалення; 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 – циркуляційні насоси.

Схема сонячного теплопостачання. Накопичення тепла в баці-акумуляторі (БН) походить від 3-х джерел теплопостачання: геліосистеми, теплового насоса і електричного котла.

Теплова енергія бака-акумулятора 3 накопичується за допомогою сонячної енергії. Якщо різниця температур, яка реєструється датчиком температури сонячного колектора і датчиком температури, що встановлені у нижній частині бака-акумулятора 3, перевищує встановлену на контролері температуру, то включається циркуляційний насос геліоконтурна 10 - відбувається накопичення тепла в баці-акумуляторі 3. Відключення геліосистеми відбувається при досягненні температури, яка вимірюється датчиком температури в баці-акумуляторі 3, встановленим на контролері значення.

Тепловий насос (ТНУ) 1 вступає в роботу, коли температура, яка вимірюється датчиком температури бака-акумулятора 3, впаде нижче встановленої на контролері. Відключення теплового насоса 1 відбувається при досягненні температури, яка вимірюється датчиком температури бака-акумулятора 3, вище встановленої на контролері.

Електричний котел 2 вступає в роботу по таймеру тільки в «нічний» зоні у випадку, коли температура, яка вимірюється верхнім датчиком температури бака-акумулятора 3, нижче встановленої на контролері, при цьому вступає в роботу теплової насос 1. Якщо через відрізок часу, виставлений на контролері, коли температура, яка вимірюється верхнім датчиком температури бака-акумулятора 3, не досягне заданої величини, вступає в роботу електричний котел - відбувається акумулювання теплової енергії в нічні години.

Відключення електричного котла 2 відбувається, коли температура, яка вимірюється датчиком температури БН 3, досягне встановленої контролером температури. У випадку, коли температура, яка вимірюється верхнім датчиком бака-акумулятора 3, вище заданого на контролері значення температури, ні тепловий тепловий 1, ні електричний котел 2 не вступають у роботу. У цьому випадку система теплоспоживання забезпечується теплом від БН 3.

Система опалення. Відбір тепла, при необхідності, проходить від бака-акумулятора 3. При цьому включається насос 9, 12. На опалювальні прилади

тепло надходить від бака-акумулятора 3. Регулювання температури теплоносія в системі опалення - централізоване і місцеве (на опалювальних приладах). Якщо температура в баці-акумуляторі 3 вище, ніж необхідно в системі опалення, то шляхом підмішування теплоносія зі зворотного трубопроводу системи опалення підтримується необхідна температура на опалювальних приладах.

Гаряче водопостачання. Відбір тепла для потреб гарячого водопостачання (ГВП) походить від бака-акумулятора 3. Температура в контурі гарячого водопостачання (ГВП) у міжопалювальний період забезпечується геліосистемою та тепловим насосом 1, а в опалювальний період – геліосистемою 4, електричним котлом 2 та тепловим насосом 1.

Охолодження приміщень. Улітку охолодження приміщень будівлі відбувається використанням функції теплового насоса 1 природне охолодження - «natural cooling», шляхом безпосереднього використання теплоємності ґрунту з температурі 8-12 ° С як джерело «природного охолодження» приміщень, не включаючи компресор теплового насоса 1. За умови, коли холоду ґрунту недостатньо (позаштатні кліматичні та експлуатаційні ситуації), включається компресор теплового насоса 1, і розсіл з свердловин додатково охолоджується тепловим насосом.

4.4. Вибір та розрахунок компонентів комбінованої системи теплопостачання

В системі опалення теплиць будуть застосовуватись сонячні колектори, теплові насоси та електрокотел для надійності системи теплопостачання.

Вибір теплового насосу. Компанія KWT спеціалізується на розробці, виробництві та встановленні теплових насосів. Крім стандартних моделей відносно невеликої продуктивності, компанія може спроектувати і виготовити великі теплові насоси продуктивністю до 2000 кВт, які використовують будь-які можливі джерела прихованого тепла. Компанія входить до складу групи Viessmann, що займається усіма видами опалювальної техніки.

В даному випадку приймаємо один тепловий насос компанії KWT розрахований на теплову потужність 850 кВт (рис.5.19) і споживає 210 кВт електроенергії. Решту необхідної теплової потужності забезпечать геліоколектори.



Рис. 4.19. Тепловий насос компанії KWT

Розрахунок сонячних колекторів. При розрахунку сонячних колекторів, необхідно знати сумарне сонячне випромінювання (рис. 4.20) в регіоні для якого ведеться цей розрахунок.

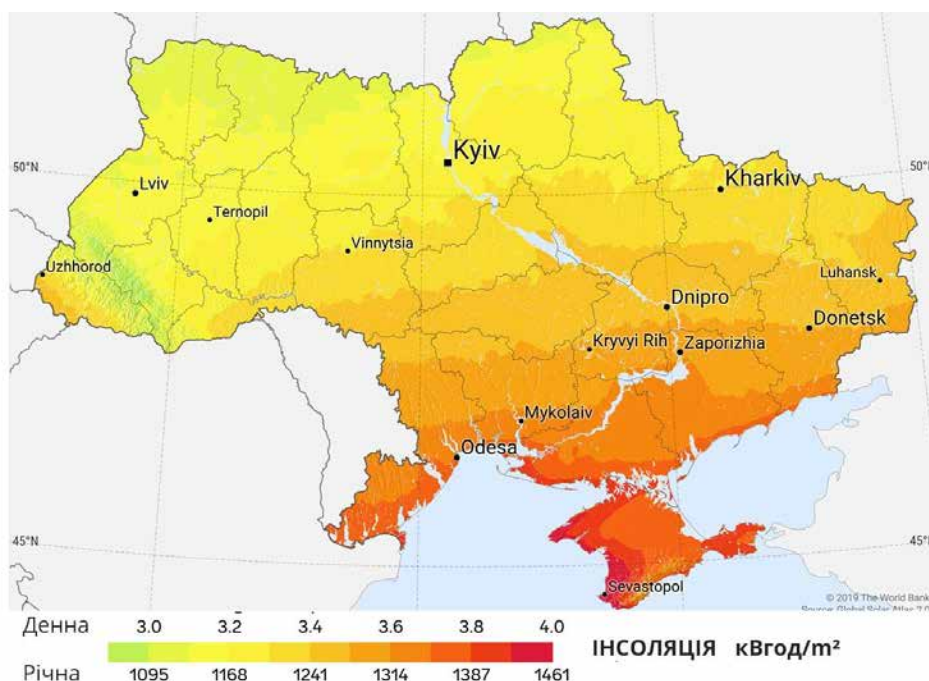


Рис. 4.20. Сумарне сонячне випромінювання в Україні

Сонячні установки, що обладнані резервним джерелом теплоти, розраховуємо за даними місяця з найбільшою сумою сонячної радіації.

Площу поглинальної поверхні геліоустановок за наявності резервного джерела теплоти розраховуємо за формулою, м²:

$$A = \frac{Q}{\eta \sum q_i}, \quad (4.2)$$

де: Q – витрата теплоти сонячними колекторами в системі опалення, $Q = 455000$ Вт; q_i – інтенсивність сонячної радіації, що падає на площину колектора, Вт/м²; η – ККД установки сонячного гарячого водопостачання.

Інтенсивність сонячної радіації, що падає на колектор для світлового дня:

$$q_i = P_s I_s + P_d I_d, \quad (4.3)$$

де: P_s , P_d – коефіцієнт розміщення сонячного колектора відповідно для прямої і розсіяної радіації.

$$P_d = \cos^2 \frac{b}{2}, \quad (4.4)$$

де: b – кут нахилу сонячного колектора до горизонту, $b = 30^\circ$; I_s , I_d – інтенсивності сонячної радіації відповідно, що падає на горизонтальну поверхню (для Київської області - $I_s = 1000$ Вт/м²) та розсіяної ($I_d = 1350 - 1000 = 350$ Вт/м², де 1350 Вт/м² – інтенсивність сонячної радіації на межі атмосфери):

$$P_d = \cos^2 \frac{30}{2} = 0,93.$$

Проводимо розрахунок за попередньою формулою:

$$q_i = 0,74 \cdot 1000 + 0,93 \cdot 350 = 1065,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Теоретичний ККД установки (вакуумний колектор Vitosol 300-T):

$$\eta = 0,84 - 1,33 \left(\frac{40}{1000} \right) - 0,0067 \left(\frac{40^2}{1000} \right) = 0,78.$$

Розраховуємо площу поглинаючої поверхні геліоустановки:

$$\dot{A}_e = \frac{455000}{0,78 \cdot 1065,5} = 547,47 \text{ м}^2.$$

Кількість вакуумних сонячних колекторів:

$$n_e = \frac{\dot{A}_e}{A} = \frac{547,47}{3,23} = 169,49 \approx 169 \text{ шт.} \quad (4.5)$$

Враховуючи отримане значення необхідної площі поглинаючої поверхні геліоустановки для системи опалення теплиці, вибираємо 169 вакуумних сонячних колектора (по 13 колекторів на ланку) Vitosol 300-T типу SP3A площа апертури яких рівна 3,23 м².

Розрахунок потужності електродогрівача. У випадку, коли сонячні колектори не зможуть забезпечити необхідну теплову потужність (в хмарні дні), в систему теплопостачання буде включатись електродогрівач, для підтримання необхідного температурного режиму.

Загальна площа геліополя системи, м²:

$$F = \dot{A}_e \cdot n = 3,23 \cdot 169 = 545,87 \text{ м}^2, \quad (4.6)$$

де: A_k – площа плоского колектора, $A_k = 3,23 \text{ м}^2$; n – кількість колекторів в системі, $n = 169$ шт.

Кількість теплоти, яку генерує система при зниженій інтенсивності сонячної радіації, кВт:

$$Q_e = F \cdot q_i \cdot \eta_e = 545,87 \cdot 0,6 \cdot 0,78 = 255,5 \text{ кВт}, \quad (4.7)$$

де: q_i – інтенсивність сонячного випромінювання, $q_i = 0,6 \text{ кВт/м}^2$; η_k – ККД сонячного колектора, $\eta_k = 0,78$.

Визначаємо теплову потужність, яку повинен забезпечити електрокотел:

$$Q_{\text{в.в.}} = Q_n - Q_{\text{д.}} - Q_e = 1200 - 850 - 255,5 = 94,5 \text{ кВт} \quad (4.8)$$

Отже, вибираємо електрокотел Дніпро «Базовий» потужністю 105 кВт (рис. 4.21).



Рис. 4.21. Електрокотел Дніпро «Базовий» 105 кВт

Отже, для системи опалення вибрано 169 сонячних колектори Viessmann Vitosol 300-Г типу SP3A та тепловий насос компанії Viessmann (KWT) потужністю 850 кВт. Також вибрано електрокотел Дніпро «Базовий» потужністю 105 кВт. Така система опалення є екологічною та енергоефективною.

РОЗДІЛ 5
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК МОДЕРНІЗОВАНОГО ОБ'ЄКТУ
ДОСЛІДЖЕННЯ

5.1. Техніко-економічний розрахунок світлодіодних світильників

Розрахунок економічної ефективності впровадження світлодіодних світильників приведемо в табличній формі в порівнянні з натрієвими світильниками (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Розрахунок економічної ефективності світлодіодних світильників

Характеристики	Ламповий світильник	Світлодіодний світильник
Основні технічні, експлуатаційні та вартісні характеристики попередніх лампових та нових світлодіодних світильників		
Тип джерела світла у світильнику	Натрієва лампа	Світлодіоди
Споживана потужність джерела світла, Вт	600	150
Споживана потужність світильника, Вт	648	150
Час роботи на добу, годин	15	
Споживана електроенергія на добу, кВт·год	9,72	2,25
Кількість ламп у світильнику	1	-
Вартість кВт·год, ≈ грн.	1,00	
Ціна освітлювальної арматури, грн.	773,00	0
Ціна лампи, грн.	180	0
Ціна світильника, грн.	953	6000
Ціна заміни лампи, грн.	38	0
Ціна утилізації лампи, грн.	4	0
Ціна послуг з утилізації лампи, грн.	825	0
Кількість замін ламп за рік	1	0
Гарантійний строк експлуатації, років	-	3
Економія електроенергії при заміні одного світильника		
Споживана електрична енергія за рік, кВт·год	3547,8	821,25
Економія електричної енергії за рік, кВт·год	2726,55	
Економія електроенергії при заміні світильників		
Загальна спожита електрична енергія за рік, кВт·год.	3459105,0	800718,75
Загальна економія електричної енергії за рік, кВт·год.	2658386,25	

Продовження таблиці 5.1

Економічна ефективність заміни світильників		
Економія витрат на електричну енергію на рік, грн.	2658386,25	
Експлуатаційні витрати заміни ламп на рік, грн.	212550	0
Витрати на утилізацію ламп на рік, грн.	4725	0
Загальна економія коштів на рік, грн.	2875661,25	
Вартість світильників, грн.	1575765	5850000
Строк окупності проекту без врахування експлуатаційних витрат, років	2,2	

Як видно з розрахунку, економія електричної енергії за рік складає 2658386,25 кВт·год, а це значить, що строк окупності світлодіодних ламп складе 2,2 роки. Крім того, при досвічуванні такими світлодіодними світильниками спостерігається збільшення та покращення показників врожайності та приросту біомаси рослин.

5.2. Аналіз економічної ефективності використання альтернативних джерел енергії

На сьогоднішній день пошук альтернативних джерел енергії є особливо актуальним для великих міст і регіонів через ряд причин: перш за все це якість атмосферного повітря – ще в 1969 р. в доповіді Генерального секретаря ООН було відзначено, що «в історії людства виникає криза світового масштабу, яка загрожує в однаковій мірі як розвиненим, так і нерозвиненим країнам – криза середовища, що оточує людину». Інша причина – це дефіцит енергоносіїв, адже 80% всієї енергії людство отримує спалюючи вугілля, нафту та нафтопродукти, природній газ, торф тощо. Як відомо, ці запаси швидко скорочуються, так, світових запасів нафти вистачить лише на 40 років.

Нова економіка переконливо доводить, що альтернативна енергія – це важливий ресурс і рушійна сила соціально-економічного розвитку. Ринок альтернативних джерел енергії виступає таким же фактором виробництва, як і ринки інформаційних ресурсів, праці й капіталу. Тому завдання створення й експлуатації економічно ефективною системи використання альтернативних

джерел енергії повинно розглядатися пріоритетно на регіональному і державному рівнях.

Потенціал альтернативних або «зелених» джерел енергії є високим: використовуючи 1/100 % енергію сонця, можна уникнути використання нафти, газу та інших традиційних джерел. Енергія вітру може надати 72 ТВт енергії, враховуючи, що світове споживання складає близько 15 ТВт. Геотермальна енергія може забезпечити світ 13 ТВт енергії при впровадженні відповідних технологій.

Формування механізму використання альтернативних джерел енергії є важливою умовою сталого розвитку міст, регіонів, країн на сучасному етапі. Однак за результатами 2009 р. відсоток використання альтернативних джерел енергії в Україні складає 0,83% енергетичного балансу країни. Цей показник є дуже низьким порівняно з такими країнами Європи, як Швеція або Австрія, де цей відсоток складає близько 24%.

В останній час інтерес до проблеми використання сонячної енергії різко збільшився. Потенціальні можливості використання безпосередньо сонячної енергії дуже великі. Якщо ми зможемо використовувати 0,0125% всієї цієї енергії, то людство було б повністю забезпечено енергією зараз, а використання 0,5% повністю б покрило всі потреби людства назавжди (якщо вважати, що населення Землі не перевищить 20 млрд.).

Використання сонячної енергії набуває популярності в Україні. Враховуючи кліматичні зміни та тенденції до збільшення сонячного випромінювання з кожним роком, перспективи впровадження сонячних колекторів з метою отримання енергії стають більш реальними навіть у північній Україні, де рівень інтенсивності сонячного випромінювання становить лише 1000 кВт·год на 1м. за рік (наприклад, на південній Україні цей показник становить 1360 кВт·год)

Багато аспектів розвитку ринку альтернативної енергії на регіональному рівні вже знайшли своє рішення. Однак, існують деякі проблемні питання, пов'язані з визначенням регіонального потенціалу та перспектив ефективного використання альтернативних джерел енергії безпосередньо для України, які не

знайшли повного відображення в наукових дослідженнях як українських, так і закордонних вчених.

Таким чином, використання сонячної енергії може бути корисним в декількох аспектах. Перш за все, заміна нею традиційного палива зменшує забруднення повітря і води. По-друге, заміна традиційних джерел енергії означає скорочення імпорту палива, особливо нафти. По-третє, замінюючи атомне паливо, знижується загроза поширення атомної зброї. Нарешті, сонячні джерела можуть зменшити нашу залежність від безперервного постачання палива.

На шляху впровадження глобального використання сонячної енергії існує ряд факторів, що обмежує її потужності. Для того, щоб сонячні колектори виробляли таку кількість енергії, яка б задовольнила енергетичні потреби людства за рік, їх потрібно розмістити на площі 1-3 млн. км. Також для створення такої великої кількості колекторів потрібно $1,3 \cdot 10^9$ т алюмінію, світовий запас якого оцінюють саме в таку цифру. Також безпосереднє використання сонячного випромінювання потребує велику кількість праці: для виготовлення 1 МВт·год знадобиться від 10 до 40 тис. людино-годин. В той же час у традиційній енергетиці цей показник менший у 50-80 разів.

Ключовим моментом у питанні впровадження альтернативних джерел енергії залишається їх економічна ефективність.

Серед шляхів підвищення ефективності використання сонячної енергії, можна виділити підвищення кількості сонячної радіації на поверхню землі (цей шлях є реальним, враховуючи кліматичні зміни та тенденцію до підвищення сонячного випромінювання); підвищення коефіцієнту корисної дії колектора (завдяки інноваційним науковим розробкам), підвищення тарифу на електроенергію (таке підвищення є неминучим враховуючи дефіцит та вичерпність традиційних джерел енергії), зменшення ціни сонячного колектора (знову, завдяки інноваційним науковим розробкам).

Отже, використання сонячної енергії має як переваги (головним чином, з точки зору екології), так і недоліки (проблеми розміщення та ресурсоемності). Розглядаючи освітлені факти з економічної точки зору, необхідно відзначити, що також існують проблеми, пов'язані з низькою економічною ефективністю

використання альтернативних джерел енергії, а саме – значною вартістю та задовгим періодом окупності обладнання, що не може приваблювати потенційних інвесторів. Шляхи подолання вказаних проблем вивчаються, адже екологічна безпека варта подолання будь-яких перешкод.

5.3. Економічна ефективність застосування теплових насосів

Використання теплових насосів суттєво поліпшує екологічну обстановку за рахунок відсутності процесу горіння для отримання теплової енергії, а також за рахунок утилізації теплових відходів виробництв, що, таким чином, захищає природу від забруднення. З використанням теплових насосів забезпечується екологічно чистий метод опалення і кондиціонування, немає шкідливих викидів у приміщення, оскільки відсутнє паливо, що спалюється, не використовуються заборонені хладагенти.

Тепловий насос дозволяє отримати на 1 кВт затраченої потужності 3-7 кВт теплової потужності або 15-25 кВт потужності по охолодженню на виході. Система виключно довговічна (служить від 25 до 50 років), не потребує особливого догляду.

Економічна ефективність теплонасосних установок, які споживають електроенергію, та економлять паливо, тим вища, чим дешевша електроенергія і дорожче паливо.

Техніко-економічний аналіз, на основі якого можна зробити висновок відносно переваги тієї, чи іншої системи тепlopостачання, повинен базуватися на співставленні двох факторів: одноразових капітальних витрат і поточних витрат.

В багатьох розвинених країнах теплові насоси є основою енергозберігаючої політики. Значного поширення сьогодні в системах опалення вони набули в США, Канаді, Швеції, Данії, Нідерландах, Німеччині, Японії та інших країнах.

В США в цей час в експлуатації знаходяться мільйони теплонасосних установок, із них більше половини в житлово-комунальному секторі; під час нового будівництва громадських будинків використовуються виключно теплові насоси, що закріплено Федеральним законодавством США.

Економічна доцільність використання теплових насосів у Японії зумовлена необхідністю літнього кондиціонування, автономністю проживання населення, заміною обігріву з використанням нафтопродуктів або електрообігріву.

У Швеції з початку 1980-х років відбувалося інтенсивне впровадження теплонасосних установок, причому характерним було використання установок тепловою потужністю більше 30 МВт. Джерелами низько потенціальної теплоти служать в основному очищені стічні води, морська вода і скидна вода промислових підприємств.

В Німеччині в експлуатації знаходяться сотні тисяч теплонасосних установок, які використовуються у водяних, а також у повітряних системах опалення і кондиціонування повітря. Також виділяється державна дотація з бюджету за кожен кВт теплової потужності впровадженого теплового насоса.

У Швейцарії перші теплові насоси були впроваджені в 30-х роках минулого століття. Нині в експлуатації знаходяться десятки тисяч теплонасосних установок в основному невеликої теплової потужності.

Використання теплових насосів у зарубіжних країнах стимулюється урядами, шляхом зниження податків на виробництво теплових насосів, що зменшує їх вартість, або шляхом виплати субсидій на їх придбання і встановлення.

Так у Данії передбачена 10 % - ва позика і довгостроковий кредит на придбання і встановлення теплових насосів.

У Франції знижується податок на витрати, пов'язані із заміною бойлера тепловим насосом.

У Німеччині субсидується 25 % капітальних вкладень на теплонасосну установку або зниження податку в розмірі 10 % на 10 років.

В Австрії передбачені пільгові виплати сім'ї, яка придбала тепловий насос.

Найбільш універсальним джерелом низько потенціальної теплоти більшої частини України є ґрунт, який зберігає впродовж усього року постійну температуру на рівні 8-12°C, забезпечуючи, таким чином, ефективну роботу теплових насосів. Україна має високий енергетичний потенціал теплоти ґрунту та ґрунтових вод. Уряд країни починає суттєво стимулювати розвиток альтернативної енергетики, зокрема теплових насосів.

Щодо використання теплових насосів у світі, можна зробити такі висновки:

- використання теплових насосів забезпечує економію первинних енергетичних ресурсів і у всіх випадках вигідно державі;
- найбільший ефект використання теплонасосних установок є в умовах жаркого клімату, коли установка працює на виробництво тепла і холоду, або за умови тривалого опалювального сезону, коли забезпечується значна економія палива у разі використання теплових насосів;
- заміна прямого електричного опалення теплонасосною системою економічно та енергетично доцільно за будь-яких умов;
- основним напрямом використання теплових насосів є комбінування з піковими підігрівачами інших типів.

Згідно з прогнозами Світового енергетичного комітету, до 2020 р. 75 % теплопостачання в розвинених країнах буде відбуватися з використанням теплових насосів.

5.4. Економічна ефективність застосування сонячних колекторів

Для того щоб визначити економічну ефективність від застосування сонячних колекторів спочатку потрібно визначити кількості тепла, яке забезпечить сонячний колектор за рік (вироблення), для чого кількість сонячної енергії на поверхні Землі в цьому місці помножити на середній коефіцієнт корисної дії ККД сонячного колектора.

Розглянемо переваги сонячних колекторів, які впливають на термін їх окупності:

1. Зниження витрат на охолодження приміщень. Поглинаючи і відводячи надлишок тепла влітку, сонячна система перешкоджає перегріву приміщень природним шляхом. Ця економія може становити приблизно стільки ж, скільки витрачається на опалення взимку. Саме тому для підрахунку економічного ефекту потрібно брати виробіток за рік. Просто в літні місяці вона буде працювати на охолодження.

4. Зниження амортизаційних витрат традиційних систем опалення та вентиляції.

5. Зниження ризику аварій і витрат на їх усунення на традиційних системах опалення.

Також додатковим важливим фактором є і зростання сонячної активності, так як зростає кількість сонячної енергії, яку можна отримати при інших рівних умовах. В 2011 році активність Сонця в 3 рази вище, ніж в 2010, і в 5 разів вище, ніж в 2009. З геліоколекторами ми маємо обігрів приміщень сумісний з будь-якою існуючою системою опалення та вентиляції. В результаті - маємо комфортну, автономну, безпаливну систему опалення з мінімальними витратами, як на покупку, так і на подальше обслуговування і експлуатацію.

5.5. Техніко-економічний розрахунок комбінованої системи тепlopостачання: тепловий насос, геліоколектори та електродотел

Витрати на опалення при використанні наявного та пропонованого до впровадження джерела теплової енергії.

За сезон потреба в тепловій енергії складає:

$$Q_m = Q_c \cdot \tau \quad (5.1)$$

де Q_m – споживана тепла енергія за сезон, кВт·год; Q_c – тепла потужність системи, кВт; τ – період, який працює система, год.

$$B = Q_m \cdot C \quad (5.2)$$

де B – витрати, грн.; C – ціна.

У нашому випадку ціна за 1 кВт електричної енергії складає ≈ 10 грн., ККД джерела енергії приймаємо на рівні 0,94, період роботи системи в рік – 4 380 год. Експлуатаційні витрати не враховуються.

Таким чином, річні витрати на електричну енергію становитимуть:

$$B = 1200/0,94 \cdot 4380 \cdot 10 = 55,9 \text{ млн.грн/рік.}$$

Витрати на впровадження альтернативних джерел енергії вказані в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Витрати на впровадження альтернативних джерел енергії

№ п/п	Найменування	Ціна, грн.
1	Сонячні колектори Vitosol 300-T типу SP3A, 169 шт.	42017625
2	Комплект з'єднань, з'єднувальних труб та запчастин, 169 шт.	1039350
3	Монтажний комплект, 169 шт.	443625
4	Тепловий насос KWT 850 кВт	6756525
5	Труби та незамерзаюча рідина	1989150
6	Циркуляційні насоси, 7 шт.	93975
7	Розподільник для розсольних контурів	46425
8	Модуль розширення «natural cooling»	9075
9	3-ходовий перемикаючий клапан (R 1 ¹ / ₄), 3 шт.	132975
10	Терморегулятор захисту від замерзання	8700
11	Датчики температури, 6 шт.	39150
12	Бак-аккумулятор	354600
13	Монтажні роботи для геліосистеми і теплового насосу та земляні роботи	2757450
14	Електрокотел Дніпро «Базовий»	64635
15	Споживання електроенергії тепловим насосом 1014300 кВт·год за рік	10143000
16	Споживання електроенергії електрокотлом 478800 кВт·год за сезон	4788000
17	Всього	70684260

Виходячи з вище розрахованого термін окупності комбінованої системи з тепловим насосом і геліоколекторами складе:

$$T_{ок} = 70684260 / (55900000 - 10143000) \approx 1,54 \text{ року.}$$

Однак, згідно спостережень гідрометеоцентру, за останні 5 років у регіоні середня температура зовнішнього повітря для опалювального періоду становила +2°C (див. рис. 5.1).

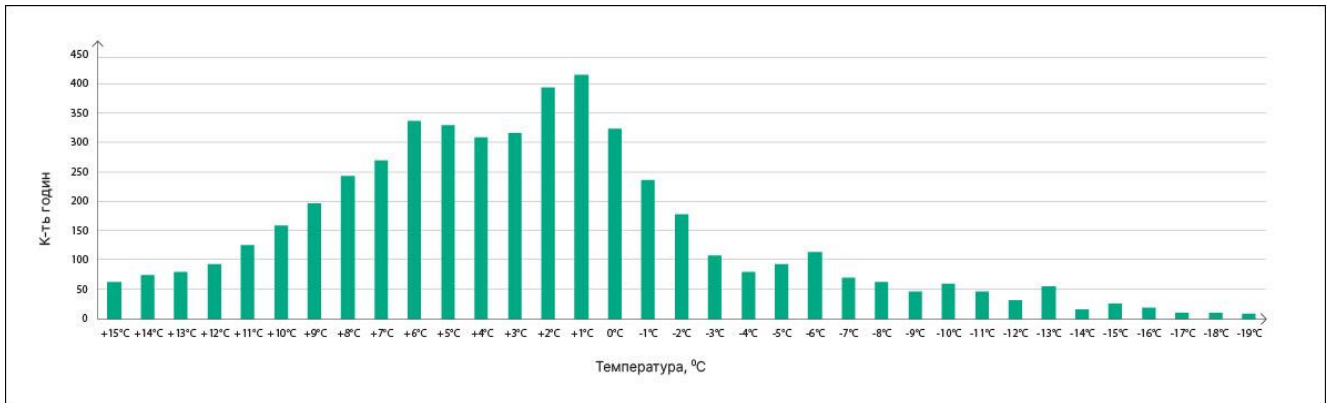


Рис. 5.1. Графік діючих температур протягом опалювального періоду для регіону

Використання теплового насоса протягом всього опалювального періоду, навіть незважаючи на наявність доволі низьких температур протягом декількох днів, можливо навіть тижнів, буде значно ефективнішим за інші джерела тепла.

Основна складність у виборі потужності та характеристик теплового насоса – це правильно визначити так звану «точку бівалентності».

«Точка бівалентності» – температура зовнішнього повітря, за якої тепловий насос починає вмикати ТЕН або сигналізує чи підключає інші прилади для забезпечення необхідної потужності опалення. Тобто для нашого клімату, можна обрати тепловий насос номінальною потужністю 10 кВт і до нього додати електричний нагрівач на 4 кВт. Він буде вмикатись тільки тоді, коли тепловий насос не зможе забезпечити комфортні параметри температури у будинку. Дане рішення дає змогу оптимізувати капітальні витрати та зменшує термін повернення вкладених коштів.

На графіку, див. рис. 5.2, можна бачити зміну показника тепловтрат, тобто потрібної потужності системи опалення, в залежності від температури і зміну потужності теплового насоса в залежності від зовнішньої температури. Ці дві лінії перетинаються в одній точці, яка власне і є «точкою бівалентності». Для нашого регіону це значення становить приблизно $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тому, аби значно зменшити капітальні витрати, можна вибрати потужність теплового насоса в «точці бівалентності». При цьому 90% опалювального періоду буде працювати тепловий насос, а 10% – ТЕН чи інший додатковий обігрівач. До речі, ТЕН може покривати

нестачу тепла як самотужки, так і працювати в парі з тепловим насосом, тобто сумісно компенсувати потужність, якої тимчасово не вистачає для покриття тепловтрат.

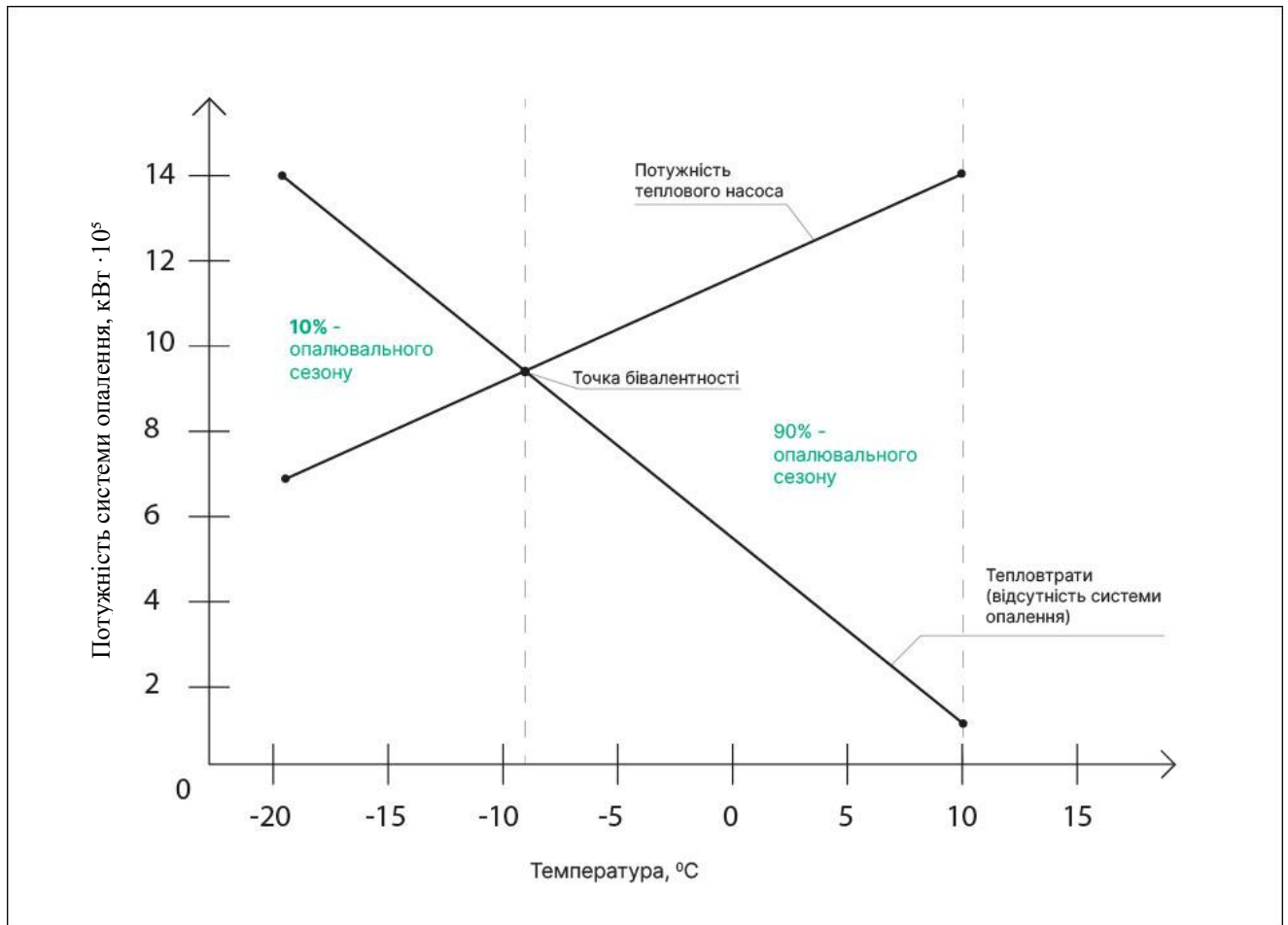


Рис. 5.2. Графік визначення точки бівалентності

Враховуючи дані графіка 5.1 та 5.2 перерахуємо термін окупності проєкту:

$$T_{\text{ок}} = 70684260 / (55900000 - 10143000 \cdot 0,9 - 4788000 \cdot 0,1) \approx 1,5 \text{ року.}$$

Якщо враховувати, що ціни на енергоресурси постійно зростають, а кількість сонячної радіації на поверхню Землі з кожним роком стає все більше, то строк окупності буде менший ніж той, що розрахований.

ВИСНОВКИ

В даній роботі, в якості об'єкта дослідження, розглядається тепличне господарство в м. Христинівка Черкаської обл., яке є у філію Уманського тепличного комбінату. Воно складається з двох блоків зимових теплиць, які займають площу 1,25 га. Пропонуються заходи щодо модернізації об'єкту з метою досягнення економії енергоресурсів.

Проведений тепловий розрахунок, згідно якого загальна теплова потужність, системи опалення теплиць склала 1,2 МВт. Для обігріву шатра теплиці пропонується застосовувати труби з оребренням, а для обігріву ґрунту – поліетиленові труби.

В якості огорожуючих конструкцій взято листи сотового полікарбонату товщиною 4 мм. Структура полікарбонатних листів дає значні переваги в плані теплоізоляції. Пустотіла форма забезпечує більш високі теплоізоляційні характеристики при менших втратах тепла, ніж в суцільних матеріалів для скління.

Для досвічування тепличного господарства вибрано світлодіодні світильники УСС-150-БИО торгової марки «ФОКУС» в кількості 975 штук загальною потужністю 146,3 кВт. Застосування таких світильників є вигідним по ряду причин:

- збільшення та покращення показників врожайності та приросту біомаси;
- енергозберігаючі, споживання електричної енергії – мінімальне;
- мінімальні експлуатаційні витрати на обслуговування, заміну ламп, утилізацію;
- світлодіодний світильник безпечний і екологічний.

Запропонована комбінована система опалення яка складається з геліоколекторів, теплового насосу та резервного електрокотла. Дане поєднання забезпечить ефективне використання системи опалення цілий рік: взимку – працює на опалення, а коли опалення не потрібне (літній період), то система працює на природне охолодження теплиці («natural cooling») та акумулювання теплоти в ґрунт.

Для системи опалення вибрано 169 сонячних колекторів Viessmann Vitosol 300-T типу SP3A та тепловий насос компанії Viessmann (KWT) потужністю 850 кВт. Така система опалення є екологічною та енергоефективною.

Використання альтернативних джерел енергії є корисним в декількох аспектах. Перш за все, заміна традиційного палива зменшує забруднення повітря і води. По-друге, заміна традиційних джерел енергії означає скорочення імпорту палива, особливо нафти. По-третє, замінюючи атомне паливо, знижується загроза поширення атомної зброї. Нарешті, сонячні джерела можуть зменшити нашу залежність від безперебійного постачання палива.

Також проведений техніко-економічний розрахунок системи досвічування та використання теплових насосів і геліоколекторів. Розрахунок показав, що система світлодіодного досвічування рослин окупиться за 2,2 роки, а комбінована система альтернативних джерел енергії – в межах 1,5..2 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Теплотехніка та теплопостачання. Методичні вказівки для виконання курсового проекту для студентів факультету ЕАСГ / В.О. Лазоренко, О.В. Шеліманова - К.: НАУ, 2000. – 86 с.
2. Теплотехніка: підручник. / Драганов Б.Х., Бессараб О.С., Долінський А.А., Лазоренко В.О., Міщенко А.В., Шеліманова О.В., / 2 – ге вид., перероб і доп. – Київ «Фірма Інкос», 2005р. – 400 с.
3. ДБН В.2.2-2-95 Будинки і споруди. Теплиці та парники., Київ – 1995 р.
4. Національний університет біоресурсів і природокористування України. ВП НУБіП України «Навчально-дослідне господарство «Ворзель». [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.nubip.edu.ua/node/4453>.
5. Планета «Садовод». Автоматика для теплиц. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://www.planetsad.ru/megavent>.
6. Кабінет Міністрів України. Постанова від 21 грудня 2011 р. №1394 Про утворення публічного акціонерного товариства «Національна акціонерна компанія «Укрсвітлолізинг».
7. Перспективи використання світлодіодних джерел світла в комунальному господарстві міст / Л.А. Назаренко, А.С. Літвіненко, В.М. Поліщук, В.Н. Борщов, А.М. Лістаренко, Я.Я. Костішин, А.П. Старченко, В.Н. Жітній.
8. LED-лампи для штучної підсвітки рослин у теплицях [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.lakor.com.ua/LED-lampy-dlya-pidsvitky-roslyn.html?reklama=226>.
9. Світлодіодне (led) освітлення теплиць. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://bioteplica.com/archives/217>.
10. Лоєнко С.В. Застосування світлодіодного випромінювання для освітлення рослин закритого ґрунту / С.В. Лоєнко II Матеріали міжнародного форуму молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка в ХХІ ст.» Харків. - 2012. - С. 11.

11. Журнал “Нова тема” № 4/2009, стаття «Гібридна теплонасосно-сонячна система від ТОВ "Сталі енергетичні технології" / Є. Я. Никифорович, Ю. М. Литвинюк.
12. Науково-технічний збірник №97. Харківська національна академія міського господарства. / О.Ю. Михопаркіна, – 2010.
13. Горобець В.Г. Теплоенергетичні установки і системи. 2023. ЦП Компринт, 523 с.
14. Горобець В.Г. Когенераційні установки. - Київ. – ЦП «Компринт». 2016. – 300 с.
15. М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001.- 984 с
16. Горобець В.Г. Основи теплотехніки. 2019. ЦП Компринт, 400 с.
17. Горобець В.Г. Теплотехніка та використання теплоти в сільському господарстві. – Київ. –ЦП «Компринт». 2015. – 389 с.
18. Будзько І.А., Зуль Н.М. Електроснабження сільського господарства. Київ: Агропромиздат, 1990. – 496 с.
19. Повітрооброблювальні агрегати «AIRVENTS». Каталог 2010/2. – Київ, 2010.
20. Волков М.А., Волков В.А. Експлуатація газифікованих котелень. Київ: Стройиздат, 1990. – 256 с.
21. Газовий настінний апарат. "KOLVI DUO 50". Інструкція з експлуатації. Київ: "KOLVI", 2004. – 32 с.
22. Довідник сільського електрика / В.С. Олійник, В.М. Гайдук, В.Ф. Гончар та ін.; за ред. В.С. Олійника. – 3-є вид., перероб. і доп. – Київ: Урожай, 1989. – 264 с.
23. Методичні вказівки до проектування систем теплопостачання, що використовують відновлювальні джерела енергії; для студентів енергетичних, механічних і технологічних спеціальностей денної та заочної форм навчання / Б.Х. Драганов, О.Ф. Вуляндра. – Київ: КДУХТ, 1994. – 84 с.
24. Мхітарян Н.М. Геліоенергетика. Системи. Технології. Застосування. Київ: Наукова думка, 2002. – 317 с.

25. Системи сонячного тепло- і холодозабезпечення / Р.Р. Авезов, М.А. Барський, І.М. Васильєва та ін.; Під ред. Е.В. Сарнацького та С.А. Чистовича. - Київ: Стройиздат, 1990. - 328 с: іл.
26. Фізика будівельних конструкцій / А.І. Демченко, В.С. Чередніченко, В.Г. Слепцов. - Київ: Наукова думка, 1987. - 304 с.
27. Проектування електричних систем сільськогосподарських об'єктів / О.С. Коваленко, Л.М. Кузнецов. - Київ: Урожай, 1992. - 256 с.
28. Енергетика сільського господарства: теорія і практика / В.О. Сизий, О.В. Левада. - Київ: Техніка, 1993. - 288 с.
29. Методика проектування систем опалення та вентиляції / М.С. Литвиненко. - Київ: Вища школа, 1990. - 412 с.
30. Технологія обігріву приміщень / І.В. Харченко, А.М. Лебедев. - Київ: Наукова думка, 1995. - 310 с.
31. Електричні установки та обладнання в сільському господарстві / О.М. Семенов. - Київ: Колос, 1989. - 320 с.
32. Газифікація сільських господарств / О.А. Гончаренко, В.М. Демченко. - Київ: Урожай, 1991. - 295 с.
33. Електричне освітлення виробничих і сільськогосподарських приміщень / В.А. Печериця. - Київ: Вища школа, 1987. - 244 с.
34. Технічне забезпечення аграрних підприємств / М.М. Гречаник, А.В. Шевченко. - Київ: Агропромиздат, 1989. - 368 с.
35. Основи теплотехніки для аграріїв / А.І. Колесник. - Київ: Вища школа, 1988. - 284 с.