

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

УДК 621.3 (477.41)

ПОГОДЖЕНО

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

і енергозбереження

(назва ННІ)

Віктор КАПЛУН

(підпис)

(ПІБ)

“ ___ ” _____ 20_ р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри
інженерії енергосистем**

Євген АНТИПОВ

(підпис)

(ПІБ)

“ ___ ” _____ 20_ р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

**Розробка комплексної альтернативної системи теплопостачання житлової
будівлі м. Ржищів Київської обл. на базі теплових насосів та сонячних
колекторів**

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

Горобець В.Г.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Шеліманова О.В.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Виконав

Самсоненко Ю.В.

(підпис)

(ПІБ студента)

КИЇВ – 2024

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інженерії енергосистем

Є.О.Антипов

канд.техн.наук. доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

(ПБ)

“ ” 20 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Самсоненку Юрію Васильовичу

(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 Розробка комплексної альтернативної системи теплопостачання житлової будівлі м. Ржищів Київської обл. на базі теплових насосів та сонячних колекторів

атверджена наказом проректора НУБіП України від “ 19 ” 12 2024 р.№ 2334 «С»

Термін подання завершеної роботи на

кафедру _____

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Характеристика об'єкта проектування. Основні задачі магістерської роботи
2. Сучасний стан та перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні
3. Системи сонячного гарячого водопостачання
4. Теплонасосні установки
5. Сучасні системи підлогового водяного опалення
6. Розробка комплексної альтернативної системи теплопостачання фермерського будинку

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання “ ” 20 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

Шеліманова О.В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

Самсоненко Ю.В.

ЗМІСТ

| | Стор. |
|---|-------|
| Перелік умовних позначень, символів, одиниць, термінів | 4 |
| Вступ | 6 |
| 1. Характеристика об'єкту проектування. Основні задачі магістерської роботи | 8 |
| 1.1 Характеристика об'єкта проектування | 8 |
| 1.2 Розрахунок навантаження будівлі на опалення та гаряче водопостачання..... | 10 |
| 1.3 Основні задачі магістерської роботи | 16 |
| 2 Сучасний стан та перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні..... | 17 |
| 3 Системи сонячного гарячого водопостачання | |
| 3.1 Технічні особливості та схемні рішення ССГВ | 27 |
| 3.2 Основні теплотехнічні та оптичні характеристики сонячних колекторів | 31 |
| 4 Теплонасосні установки | 36 |
| 4.1 Загальні дані | 36 |
| 4.2 Особливості вибору джерела теплоти для ТНУ..... | 39 |
| 4.2.1 Умови практичного використання тепла навколишнього середовища | 39 |
| 4.2.2 Теплогенерація з навколишнього повітря | 40 |
| 4.2.3 Теплогенерація при використанні тепла землі | 42 |
| 4.2.4 Вода як джерело теплоти | 44 |
| 4.3 Особливості інтеграції теплового насоса в систему опалення будівлі..... | 45 |
| 5 Сучасні системи підлогового водяного опалення | 47 |
| 5.1 Передумови економічної ефективності підлогового опалення. температура приміщення | 47 |
| 5.2 Загальні дані про підлогове опалення | 49 |
| 6 Розробка комплексної альтернативної системи теплопостачання фермерського будинку | 56 |
| 6.1 Термомодернізація фермерського будинку. Визначення теплових втрат будівлі | 56 |
| 6.2 Тепловий розрахунок системи опалення будівлі | 63 |
| 6.3 Система сонячного гарячого водопостачання цілорічної дії фермерського будинку | 66 |
| 6.4 Теплонасосна установка КАСТ | 75 |
| 6.5 Принципова тепла схема системи теплопостачання фермерського будинку на базі «СК – ТН» | 80 |
| Висновки | 91 |
| Список використаних джерел | 95 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, ТЕРМІНІВ

a – коефіцієнт температуропровідності, м²/с;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С);

R – коефіцієнт опору теплопередачі, (м²·К)/Вт;

t – температура, °С;

ρ – густина, кг/м³;

P – тиск; Па;

r – теплота фазового переходу, кДж/кг;

c – масова теплоємність, Дж/(кг·°С)

F – площа, м²;

f – коефіцієнт заміщення;

G – витрата теплоносія, кг/с;

K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);

$K_{\text{кт}}$ – коефіцієнт тепловтрат геліоколектора, Вт/(м²·К);

L – довжина, м;

m – питома продуктивність геліоустановки, кг/(м²·доба);

q – питомий тепловий потік, Вт/м²;

R – коефіцієнт перерахунку інтенсивності прямої сонячної радіації з горизонтальної поверхні на похилий геліоколектор;

$\beta_{\text{гк}}$ – кут установки геліоколектора відносно горизонту, град;

κ – середньодобовий коефіцієнт перерахунку сумарної сонячної радіації з горизонтальною поверхні на похилий геліоколектор;

ε ; COP; КОП – коефіцієнт перетворення теплового насосу; опалювальний коефіцієнт;

δ – товщина шару, м;

$Q_{\text{п}}$ – тепловтрати приміщення, Вт;

Скорочення:

КАСТ – комплексна альтернативна система теплопостачання;

ССГВ – система сонячного гарячого водопостачання;

НПДЕ – нетрадиційні поновлювані джерела енергії;

ДДЕ – додаткові джерела енергії;

ГК – геліоколектор;

СК – геліоколектор;

ТН – тепловий насос;

ТНУ – теплонасосна установка

Індекси:

а – акумулятор; б – базовий; вих – вихід; вн – внутрішня; вт – втрати; vx – вхід;
гк – геліоколектор; д – добовий; диф – дифузний; добп – добовий питомий; е –
елемент; екв – еквівалентний; зад – заданий; зв – зведений; зов – зовнішній; із –
ізоляція; м – місячний; нс – навколишнє середовище; к – конденсатор; в –
випарник; тн – тепловий насос; тну – теплонасосна установка; нс –
навколишнє середовище; нт – низькотемпературне джерело теплоти пг –
поглинання; пов – повітря; поворотний; пр – променевий; р – рівноважний; роб
– робочий; сп – споживач; сер – середній; ст – сталий режим; тн – теплоносій; то
– теплообмінник; ц – циркуляція

ВСТУП

Сільське господарство як одна з основних галузей народного господарства України, незважаючи на економічні та політичні перешкоди, в останні роки інтенсивно розвивається. Цей розвиток супроводжується зростаючим споживанням енергії, в загальному балансі якої основну частину займає теплова енергія.

Існуюча тенденція до виснаження паливно-енергетичних ресурсів, ріст цін на виробництво енергії й глобальні екологічні проблеми стимулюють необхідність впровадження енергозберігаючих технологій на основі поновлюваних екологічно чистих джерел енергії.

До поновлюваних джерел енергії відносять вітрову енергетику, біоенергетику (енергія, одержувана з відходів тваринництва й рослинництва, а також енергія з органічних відходів життєдіяльності людини), енергію Світового океану, малу гідроенергетику, енергію гарячих підземних вод, сонячну енергетику.

Сонячна енергія вважається найбільш ємним, природним і доступним з поновлюваних енергоджерел. У її використанні накопичений, мабуть, найбільш значний історичний досвід. Однак проблеми з утилізації сонячної енергії й розмаїтість практичних способів її використання породжують нові економіко-організаційні й технологічні рішення в цій області енергетики.

Вибір, розробка та впровадження альтернативних джерел енергопостачання по двох основних аналізованих критеріях (вплив на виснаження природних ресурсів і внесок у глобальне потепління) буде сприяти реалізації закону України про енергозбереження й Кіотського протоколу, спрямованого на зниження емісії парникових газів.

Ріст енергетичних потужностей ставить перед народним господарством нові проблеми, головною з яких – це економія енергоресурсів та наявність кваліфікованих кадрів енергетиків.

Одним з ефективних шляхів економії у сільському господарстві дефіцитного органічного палива є використання відновлюваних та вторинних енергетичних ресурсів.

Основна перевага відновлюваних джерел енергії – їх невичерпність та екологічна чистота. Тому прогнозується помітне збільшення в майбутньому використання відновлюваних джерел енергії в світі.

Відновлювані джерела енергії використовують в основному при спорудженні малих енергоекономічних комплексів систем тепло-, водо-, газо- та електропостачання. Ось чому вони особливо перспективні для сільськогосподарського енергопостачання.

Не дивлячись на досить оптимістичні прогнози їх розвитку, відновлювані енергоресурси використовуються недостатньо. Це пояснюється тим, що деякі види відновлюваних джерел енергії непостійні і мають низьку густину енергії. Ефективність та, як наслідок, економічну рентабельність використання відновлюваних джерел енергії можна підвищити, якщо: по-перше, використовувати найбільш вдалі схеми рішення та узагальнити отримані результати методами математичного моделювання, що дозволяє підвищити рівень проектування та розробок систем енергозбереження на основі відновлюваних джерел енергії; по-друге, якщо в кожному конкретному випадку проводити аналіз, синтез та оптимізацію цих систем.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПРОЄКТУВАННЯ.

Предметом магістерської роботи є розробка комплексної альтернативної системи теплопостачання фермерського будинку.

1.1 Характеристика об'єкта проєктування

Фермерський житловий будинок (об'єкт проєктування) розташований на околиці м Ржищів Обухівського району Київської області.

Це одноповерхова будівля, площа якої за зовнішніми замірами складає 74,5 м². Прибудоване технічне приміщення, де розміщено опалювальний котел, площею за зовнішніми замірами має площу 8,9 м².

Зовнішні огорожувальні конструкції виконані кладкою у вигляді кладки в півтори цеглини з шаром штукатурки товщиною ~400 мм. (к ззовні, так і всередині)

Вікна - старі конструкції з подвійним склінням в дерев'яних рамах.

Горищне перекриття утеплене теплозахисним шаром з діатомітової цегли.

План приміщень будівлі показаний на рис. 1.1;

Розрахункові параметри зовнішнього повітря при проєктуванні систем опалення та вентиляції будівель для Київської області наведені в таблиці 1.1.

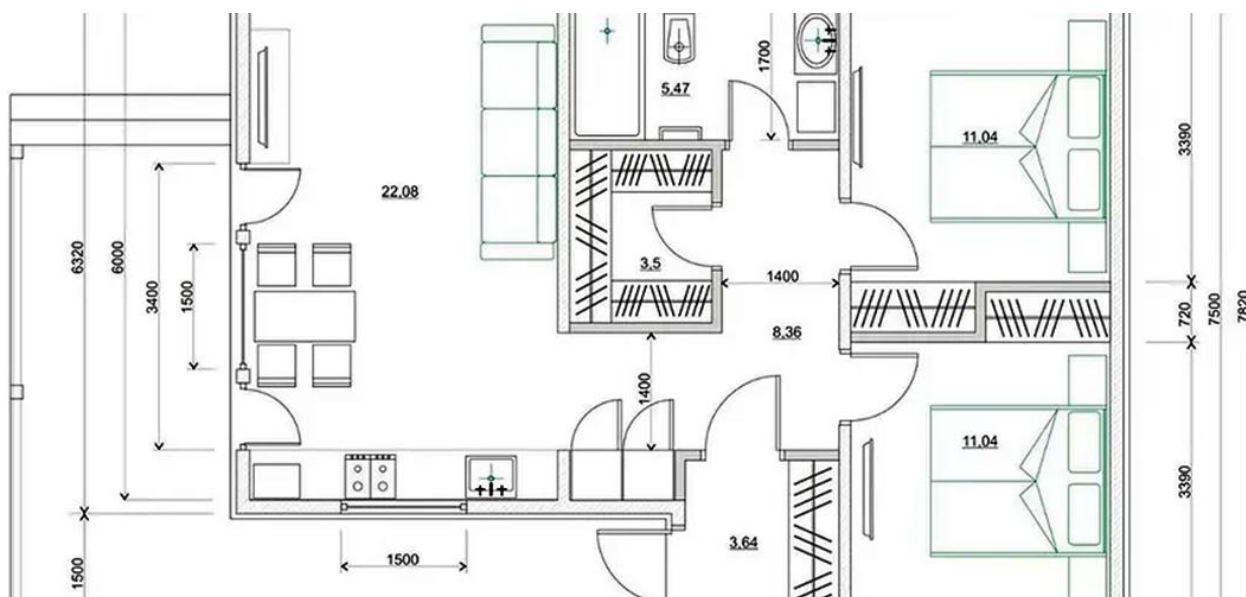


Рис. 1.1. План розміщення приміщень одноповерхового фермерського будинку

Таблиця 1.1

Розрахункові параметри зовнішнього повітря для проектування систем опалення та вентиляції будівель для Київської області [4]

| Найменування параметру | Період року | |
|--|-------------|----------|
| | теплий | холодний |
| Географічна широта, град. с. ш. | 51 | |
| Барометричний тиск, ГПа | 990 | |
| Зона клімату | нормальна | |
| Тривалість опалювального періоду, доба | 187 | |
| Середня температура за опалювальний період, °С | -1,1 | |
| Кількість градусо-доба опалювального періоду S | 3572 | |
| Параметр А: | | |
| – температура, °С | 23,7 | -10 |
| – теплоємність, кДж/кг | 53,6 | -6,7 |
| – швидкість вітру, м/с | 1,0 | 5,3 |
| Параметр Б: | | |
| – температура, °С | 28,7 | -22 |
| – теплоємність, кДж/кг | 56,1 | -20,7 |
| – швидкість вітру, м/с | 1,0 | 4,2 |

1.2. Розрахунок навантаження будівлі на опалення та гаряче водопостачання

Вирішення питання про доцільність впровадження енергоефективного теплового обладнання базується на комплексному техніко-економічному аналізі багатьох факторів, в першу чергу, теплової ефективності зовнішніх огорожень існуючої будівлі. Розрахунок теплонавантаження існуючої будівлі, проведений в повному обсязі, дозволяє не тільки прийняти правильні рішення про вибір конкретного теплогенеруючого обладнання, а й зіставити основні складові теплотехнічного комплексу реконструйованої будівлі з діючими нормативними показниками енергоефективного впровадження матеріалів та устаткування.

Згідно норм проектування систем опалення [5] розрахунок теплових втрат приміщень житлового будинку виконуємо за параметром B для холодного періоду року (табл. 1.1).

Температуру внутрішнього повітря кожного приміщення вибираємо згідно санітарно-гігієнічних норм [3] в залежності від призначення приміщення (житлова кімната, кухня, ванна кімната і т.п.).

Розрахункові теплові втрати будівлі Q_1 , кВт, визначаються за формулою [6]:

$$Q_1 = Q_a + Q_s, \quad (1.1)$$

де Q_a , кВт – теплові втрати через огорожувальні конструкції; Q_s , кВт – теплові втрати на нагрів інфільтраційного повітря.

Теплові втрати $Q_{т.втр.}$, кВт, розраховуються для кожної огорожувальної конструкції приміщення за формулою

$$Q_a = \frac{1}{R} \cdot A \cdot (t_s - t_o) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n \cdot 10^{-3}, \quad (1.2)$$

де A , м² – площа поверхні огорожувальної конструкції; R , (м²·°C)/Вт – термічний опір конструкції; t_s , t_o – розрахункові температури внутрішнього та зовнішнього повітря; n – коефіцієнт, який залежить від

положення зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції по відношенню до зовнішнього повітря; визначається за даними [3]; β – додаткові теплові втрати (у відсотках до основних теплових втрат), які враховуються для зовнішніх вертикальних та похилих поверхонь згідно таблиці 3 [3].

Термічний опір огороження R , $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, визначається для кожної конструкції як сума

$$R = R_3 + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_6, \quad (1.3)$$

де R_3 , R_6 , $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ – термічні опори тепловіддачі від зовнішньої та до внутрішньої поверхонь конструкції; δ_i , м – товщина прошарку; λ_i , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – теплопровідність матеріалу прошарку; n – кількість прошарків у будівельній конструкції.

Втрати теплоти через неутеплену підлогу визначаються за окремими зонами – смугами шириною 2 м, паралельними зовнішнім стінам.

Сумарні втрати через підлогу Q_n , кВт, розраховуються за формулою

$$Q_n = \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{R_i} (t_g - t_o) \cdot 10^{-3}, \quad (1.4)$$

де F_i , м^2 – площа однієї зони;

R_i , $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ – опір теплопередачі відповідних зон; для першої зони $R = 2,1$ $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, для другої – $R = 4,3$ $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, для третьої – $R = 8,6$ $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, для решти підлоги – $R = 14,2$ $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$; n – кількість зон.

Теплові втрати Q_v , кВт, розраховуються для кожного приміщення з вікнами за формулою

$$Q_v = 0,337 \cdot A_{\Pi} \cdot h \cdot (t_g - t_o) \cdot 10^{-3}, \quad (1.5)$$

де A_{Π} , м^2 – площа підлоги приміщення; h , м – відстань від підлоги до стелі.

Теплотехнічні характеристики та конструктивні особливості зовнішніх стін, підлоги та горищного перекриття будівлі наведені, відповідно, в таблицях 1.2-1.64

Таблиця 1.2

Теплотехнічні характеристики зовнішніх стін (існуюча будівля)

| Символ | d , мм | Опис матеріалу | λ , Вт/(м·К) | ρ , кг/м ³ | R , (м ² ·К)/Вт |
|---|----------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------------|------------------------------|
| SZ-51 | Стіна зовнішня 51 см | | | | |
| Тип огороження, Стіна зовнішня, вологісний режим нормальний | | | | | |
| Штукатурка-Ц | 0.015 | Штукатурка цементно-вапняна | 0.820 | 1850 | 0.018 |
| Цегла дирчаста | 0.120 | Кладка із цегли дирчастої | 0.620 | 1400 | 0.194 |
| Цегла дирчаста | 0.240 | Кладка із цегли дирчастої | 0.620 | 1400 | 0.387 |
| Штукатурка-Ц | 0.015 | Штукатурка цементно-вапняна | 0.820 | 1850 | 0.018 |
| Опір теплообміну внутр. R_B : | | | | | 0.130 |
| Опір теплообміну зовн. R_H : | | | | | 0.040 |
| Опір теплопередачі R : | | | | | 0.787 |
| Коефіцієнт теплопередачі k , (Вт/м ² ·К): | | | | | 1.270 |

Таблиця 1.3

Теплотехнічні характеристики підлоги (існуюча будівля)

| Символ | d , мм | Опис матеріалу | λ , Вт/(м·К) | ρ , кг/м ³ | R , (м ² ·К)/Вт |
|---|---|--|----------------------|----------------------------|------------------------------|
| <u>PGI-P</u> | <u>Підлога на ґрунті I зона в кімнаті</u> | | | | |
| Тип огороження: Підлога на ґрунті I зона, вологісний режим нормальний | | | | | |
| Дуб | 0.025 | Деревина дубу поперек волокон | 0.220 | 800 | 0.114 |
| Бетон-1900 | 0.050 | Бетон тяжкий, заповнення із природного каміння | 1.000 | 1900 | 0.050 |
| Пінополістірол | 0.060 | Пінополістірол, вкладений щільно | 0.040 | 30 | 1.500 |
| Рубероїд | 0.003 | Рубероїд | 0.180 | 1.000 | 0.017 |
| Бетон-1900 | 0.100 | Бетон тяжкий, заповнення із природного каміння | 1.000 | 1900 | 0.100 |
| Пісок-CP | 0.100 | Пісок середній | 0.400 | 1650 | 0.250 |
| Опір ґрунту разом із опорами теплообміну: | | | | | 0.500 |
| Опір теплопередачі R : | | | | | 2.500 |
| Коефіцієнт теплопередачі k , (Вт/м ² ·К): | | | | | 0.396 |

Таблиця 1.4

Теплотехнічні характеристик горіщного перекриття (існуюча будівля)

| Символ | d , мм | Опис матеріалу | λ , Вт/(м·К) | ρ , кг/м ³ | R , (м ² ·К)/Вт |
|--|--------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| STD-W | Горищне перекриття | | | | |
| Тип огороження: Горищне перекриття вентильоване, вологісний режим нормальний | | | | | |
| Рубероїд | 0.005 | Рубероїд | 0.180 | 1000 | 0.028 |
| Сосна | 0.025 | Деревина сосни поперек волокон | 0.160 | 550 | 0.156 |
| Опір повітряного прошарку горищного перекриття середньої товщини 150 мм | | | | | 0.160 |
| Скоректована сума опорів повітряного прошарку і скату криши | | | | | 0.172 |
| Пінополістірол | 0.150 | Пінополістірол, вкладений щільно | 0.040 | 30 | 3.750 |
| ПЕР-ЗБ-22 | 0.220 | Перекриття залізобетонне Жерац 22 | | | 0.180 |
| Штукатурка-Ц | 0.015 | Штукатурка цементно-вапняна | 0.820 | 1850 | 0.018 |
| Опір теплообміну внутр. $R_{вн}$: | | | | | 0.100 |
| Опір теплообміну зовн. $R_{н}$: | | | | | 0.040 |
| Опір теплопередачі R : | | | | | 4.260 |
| Коефіцієнт теплопередачі k , (Вт/м ² ·К): | | | | | 0.235 |

Розрахунки втрат теплоти для окремих приміщень будівлі приведені в таблиці 1.5

Таблиця 1.5

Теплова відомість приміщень

| Символ прим. | Опис приміщення | $T_{вн}$ °С | Q_o Вт | Q_f Вт/м ² | Q_v Вт/м ³ | $Q_{огр}$ Вт | $Q_{в}$ Вт | N 1/год | $V_{в}$ м ³ /год |
|--------------|---------------------|----------------|-------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|---------------|--------------|--------------------------------|
| 1 | Спальня | 20 | 2247 | 172 | 61 | 1898 | 194 | 1.0 | 37 |
| 2 | Вітальня | 20 | 2524 | 199 | 71 | 2035 | 188 | 1.0 | 36 |
| 3 | Кабінет | 20 | 1109 | 142 | 51 | 927 | 115 | 1.0 | 22 |
| 4 | Їдальня | 20 | 1501 | 161 | 58 | 967 | 509 | 2.0 | 52 |
| 5 | Душова | 22 | 968 | 225 | 80 | 666 | 236 | 2.0 | 24 |
| 6 | Коридор | 18 | 1610 | 268 | 96 | 1372 | 77 | 1.0 | 17 |
| 7 | Технічне приміщення | 18 | 2436 | 293 | 105 | 1764 | 423 | 2.0 | 46 |

Вихідні дані для розрахунку гарячого водопостачання:

- споживач гарячої води – житлова будівля;
- кількість водоспоживачів (мешканців) $U = 4$;
- режим роботи системи ГВП – 24 години на добу;
- кількість санітарно-технічних приладів гарячої води $N = 3$ шт

Згідно [7] норми витрат гарячої води для однієї людини такі:

- в середньому за добу $q_{u,m}^h = 90,0 \text{ л/доб}$;
- за добу найбільшого водоспоживання $q_u^h = 110,0 \text{ л/доб}$;

Середня теплова потужність Q_{hm} , кВт, систем гарячого водопостачання розраховується за формулою

$$Q_{hm} = \frac{1,2 \cdot m \cdot (a + b) \cdot (55 - t_{x.в}) \cdot c_p}{24 \cdot 3600}, \quad (1.6)$$

де c_p , кДж/(кг·К) – питома теплоємність води; $c_p = 4,19$ кДж/(кг·К);

a , b , кг/доба – середньодобова норма споживання гарячої води з температурою 55 °С в житлових та громадсько-адміністративних приміщеннях на одну людину;

m – розрахункова кількість людей; $t_{x.в}$, °С – температура холодної води для опалювального сезону; $t_{x.в} = 5$ °С;

Максимальна теплова потужність систем гарячого водопостачання, кВт:

$$Q_{h \max} = k_{\text{нер}} \cdot Q_{hm}, \quad (1.7)$$

де $k_{\text{нер}}$ – коефіцієнт нерівномірності споживання гарячої води на протязі доби; за даними [1], для сільської місцевості $k_{\text{нер}} = 2,4$.

Теплова потужність систем гарячого водопостачання в літній період $Q_{h\max}^S$, кВт:

$$Q_{hm}^S = \alpha \cdot Q_{hm} \frac{55 - t_{x.6}^S}{55 - t_{x.6}}, \quad (1.8)$$

де α – коефіцієнт, який враховує зміну середніх витрат води на гаряче водоспоживання в неопалювальний період; для житлових будинків $\alpha = 0,8$; $t_{x.6}^S$, °С – температура холодної води в неопалювальний період; приймається $t_{x.6}^S = 15$ °С.

Згідно розрахунків при середньодобовій нормі споживання гарячої води з температурою 55 °С на одну людину $b_i = 110$ кг/доба маємо:

– для опалювального періоду

$$Q_{hm} = 1,22 \text{ кВт};$$

$$Q_{h\max} = 2,4 \cdot 1,22 = 3,06 \text{ кВт};$$

– для неопалювального періоду

$$Q_{hm}^S = 0,78 \text{ кВт}.$$

$$Q_{h\max}^S = 0,78 \cdot 2,4 = 1,95 \text{ кВт}.$$

Підсумкові дані результату розрахунків теплового навантаження та показників енергоефективності існуючої будівлі наведені в таблиці 1.6

Згіднн даних таблиці 1.6, розрахункові тепловтрати існуючої (неутепленої) будівлі

$$Q_o = 12396 \text{ Вт} \approx 13,0 \text{ кВт}.$$

Таблиця 1.6

Підсумкові дані результату розрахунків теплового навантаження та показників енергоефективності існуючої будівлі

| | | | |
|--|--|-------------------------------------|--------------|
| Назва проекту | Теплове навантаження будівлі (неутепленої) | | |
| Розташування | м. Ржищів Київської обл. | | |
| Кліматична зона..... | 1 | Розрахункова температура, °С | -22 |
| Опалювальна площа, м ² | 62 | Об'єм будівлі, м ³ | 172 |
| Розрахункові тепловтрати Q_o , Вт | | | 12396 |
| Споживання тепла на 1 м ² поверхні опалення q_f , Вт/м ² | | | 201,5 |
| Граничне значення питомого енергоспоживання будівель при опаленні та охолодженні, EP_p , кВт×год/м ² для I температурної зони України | | | 120 |
| Різниця в % значення питомих тепловитрат, $q_{буд}$, від максимально допустимого значення, | | | 67 |
| Клас енергетичної ефективності будинку | | | E |

1.3. Основні задачі магістерської роботи

В рамках розробки комплексної альтернативної системи тепlopостачання фермерського будинку в магістерській роботі прийнята система на базі сонячних колекторів та теплових насосів (СК + ТН).

Основні задачі магістерської роботи

1. Розглянути особливості розвитку альтернативної енергетики в Україні.
2. Проаналізувати технічні особливості та схемні рішення систем сонячного гарячого водopостачання..
3. Опанувати принцип дії теплових насосів; джерела низькопотенційної енергії ТНУ; техніко-економічні показники теплонасосних установок.
4. Розглянути конструкції сучасних систем підлогового опалення.
5. Розробити комплексну альтернативну систему тепlopостачання фермерського будинку на базі сонячних колекторів та теплових насосів.

РОЗДІЛ 2

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

На сьогодні альтернативна енергетика впевнено виходить на чільне місце в світі, відіграючи значну роль у заміщенні викопних палив та скороченні викидів парникових газів. Хоча цей сектор в Україні переживає кризу вже третій рік поспіль, проте він залишється перспективним напрямком трансформації енергетичної системи держави.

Традиційне виробництво електроенергії за допомогою вугільних, газових та атомних електростанцій призвело до кризових явищ, таких як зміни клімату, забруднення повітря та води, нестача продовольства, радіоактивне забруднення великих територій. Тому світова спільнота зосереджена на пошуку альтернативних джерел енергії та націлена розвивати сучасну та безпечну заміну вугільним та атомним електростанціям – відновлювані джерела енергії (ВДЕ).

Альтернативні джерела енергії є менш шкідливими для навколишнього середовища, ніж традиційні джерела, що сприяє покращенню якості повітря та води та збереженню середовищ існування дикої природи. Відновлювані джерела енергії (СЕС, СЕСд, ВЕС, мГЕС, БіоЕС, БіогазЕС), які є невичерпними та екологічно чистими, допоможуть забезпечити енергетичну незалежність України, оскільки не потребують постійних закупівель таких видів палива, як уран, газ та вугілля. Із цього випливає, що відновлювана енергетика може забезпечити достатню кількість тепла та електроенергії для промисловості, домогосподарств, транспорту та сільського господарства. А відтак, альтернативна енергетика є перспективною галуззю, яка має особливе значення і перебуває в центрі наукових досліджень [5].

Правовою основою для розвитку чистої енергії в усіх секторах економіки ЄС є директива про відновлювані джерела енергії (RED)

У 2009 році було прийнято Директиву про відновлювані джерела енергії RED, з метою забезпечити мінімум 20% частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у кінцевому споживанні енергії ЄС до 2020 року.

У 2018 році RED було переглянуто, оновлена Директива отримала назву RED II. У ній було встановлено досягнення цілі ЄС щодо мінімальної частки ВДЕ у кінцевому споживанні енергії до 2030 року (RED II) і стало юридично обов'язковим у червні 2021 року.

14 липня 2021 року Комісія ЄС представила пакет «Досягти 55» («Fitto 55») для узгодження законодавчої бази Європейського Союзу з питань клімату та енергетики, щоб досягти цілі кліматичної нейтральності до 2050 року та скорочення чистих викидів парникових газів щонайменше на 55% до 2030 року, порівняно з 1990 роком. Цей пакет включав значну частину документу RED II.

18 травня 2022 року Європейський Союз запустив REPowerEU у відповідь на труднощі та розлад глобального енергетичного ринку, спричинені вторгненням РФ в Україну.

Основними цілями REPowerEU є енергозбереження, диверсифікація енергопостачання та прискорене впровадження відновлюваних джерел енергії для заміни викопного палива в будинках, промисловості та виробництві електроенергії.

Обговорення щодо перегляду RED II проводилися Комісією, Європейським парламентом і Радою Європейського Союзу; 30 березня 2023 року між парламентом і Радою було досягнуто попередньої угоди щодо посилення RED.

Як результат, 9 жовтня 2023 року Радою Європейського Союзу було офіційно прийнято нову Директиву про відновлювані джерела енергії RED

III, яка підвищує частку відновлюваної енергії в загальному споживанні енергії в Європейському Союзі до 42,5% до 2030 року з додатковим індикативним збільшенням на 2,5%, щоб досягти мети в 45%.

RED III встановлює амбітні галузеві цілі в транспорті, промисловості, будівництві, централізованому опаленні та охолодженні, деякі з яких позитивно вплинуть на водневу промисловість.

2019 році наша держава увійшла до рейтингу ТОП-10 серед країн світу за рівнем розвитку альтернативної енергетики, а у 2020 році – до ТОП-5 країн Європи за рівнем розвитку сонячної енергетики. Окрім цього у 2019 році в рейтингу Climatescope Bloomberg New Energy Finance (Bloomberg NEF) Україна обіймала почесне 8 місце (з 63) серед 104 країн-учасниць зі всього світу за привабливістю країни для інвестування в розвиток низьковуглецевих джерел енергії та побудову зеленої економіки. У 2021 році наша держава посіла 48 місце зі 136 країн за загальним інвестиційним потенціалом країни у рейтингу BloombergNEF. [5]

Енергетичний сектор України у 2021 році перебував на роздоріжжі, очікуючи, яким шляхом розвитку енергетики піде країна. Невизначеність панувала і в секторі альтернативної енергетики. З одного боку, український уряд поступово почав забезпечувати виконання власних зобов'язань за угодою про врегулювання нагальних питань у сфері альтернативної енергетики в Україні, які є проблемними [5].

Загалом, починаючи з 2019 року, інвестиції в нові проекти з альтернативної енергетики в Україні стабільно випереджають інвестиції в проекти з викопних видів палива. Лише за останні десять років провідні міжнародні та вітчизняні інвестори у секторі альтернативної енергетики залучили в економічне середовище України понад 12 млрд дол. США прямих іноземних інвестицій, а відсоткова частка іноземних інвесторів у визначеній потужності альтернативних джерел енергії станом на кінець 2021 року сягнула більш, ніж 35%, що дозволяє характеризувати

український сектор альтернативної енергетики як досить конкурентний та відкритий.

До числа ключовий гравців на міжнародному інвестиційному та кредиторському ринках у сектор альтернативної енергетики в Україні сьогодні належать Міжнародна фінансова корпорація розвитку США (DFC), Європейський банк реконструкції та розвитку, Чорноморський банк торгівлі та розвитку, Баварський земельний банк (BayernLB), Північна екологічна фінансова корпорація (NEFCO), Інвестиційний фонд для країн, що розвиваються (IFU) та ін. Таким чином, географія інвестицій у будівництво вітчизняних відновлювальних електростанцій в рамках альтернативної енергетики включає організації або індивідуальних інвесторів з високорозвинених країн, зокрема: Бельгії, Іспанії, США, Китаю, Великобританії, Данії, Люксембургу, Канади, Німеччини, Норвегії, Франції, Туреччини, Нідерландів, Швеції та ін. [5].

Охарактеризуємо український сектор альтернативної енергетики та визначимо якими особливостями він характеризувався до військового вторгнення РФ в Україну.

24 лютого 2022 року стартував відлік не лише перемоги України над російським агресором у війні, а й її становлення як енергетично незалежної держави. Саме через цю кровопролитну війну важливість альтернативних джерел енергії змістилася від екології до безпеки та економіки. Ще півроку тому відновлювані джерела енергії розглядалися світовою спільнотою насамперед як засіб боротьби з неминучою зміною клімату та скорочення в атмосферу викидів вуглекислого газу. Наразі альтернативна енергетика як ніколи раніше є ключовою для енергетичної безпеки та незалежності від інших держав, а її вартість значно нижча, ніж викопних видів палива.

За результатами аналізу, встановлена потужність сектору альтернативної енергетики в Україні станом на 31 грудня 2021 року досягла 9 655,9 МВт, включаючи домашні сонячні електростанції (СЕСд), або 8 450,8

МВт без урахування СЕС [6], за даними Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) [6].

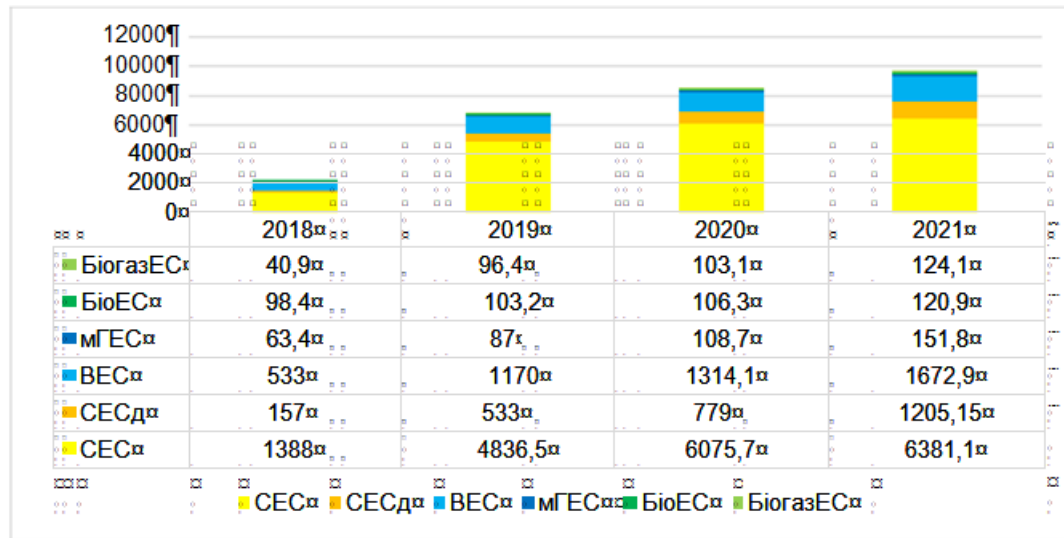


Рис. 2.1. Динамічна зміна тенденцій встановленої потужності об'єктів джерел альтернативної енергетики, які працюють за «зеленим» тарифом, МВт [6]

Однак слід зазначити, що, як і в попередні роки, активні темпи розвитку у 2021 році продемонстрував лише один сегмент – домашні сонячні системи (СЕСд), потужність яких у 2021 році зросла на 426,1 МВт, що відповідає 36,4% нових потужностей ВДЕ, введених в експлуатацію в минулому році. Відтак, загальна встановлена потужність всіх домашніх сонячних систем на кінець року досягла 1 205,1 МВт. На відміну від сектору домашніх фотоелектричних станцій, промислова сонячна енергетика продемонструвала не найкращі показники розвитку, а навпаки – спад. У 2021 році потужність промислової сонячної генерації зросла лише на 305,5 МВт (26,1% від введених у 2021 році нових потужностей ВДЕ), що на 818,1 МВт або у 3,6 рази менше, ніж у 2020 році - 1 123,6 МВт. На кінець року загальна встановлена потужність сектору сонячної енергетики країни склала 7 586,3 МВт (з урахуванням СЕС) [5].

Вітроенергетика залишається другим за величиною сектором альтернативної відновлювальної енергетики в країні після сонячної за загальною встановленою потужністю. Однак слід зазначити, що вітроенергетичний сектор України в минулому році вніс найбільший внесок у загальний баланс «зеленої» енергетики країни. Частка введених у 2021 році вітроенергетичних потужностей склала 30,6% або 358,8 МВт, що у 2,5 рази більше, ніж обсяг нових вітроенергетичних потужностей, введених у 2020 році (144,2 МВт) [5].

Газова криза кінця 2021 – початку 2022 року підтвердила значні перспективи розвитку біоенергетичного сектору України (БіоЕС, БіогазЕС). На тлі рекордно високих цін на природний газ біоенергетика може компенсувати частину дефіциту природного газу у виробництві теплової та електричної енергії. У 2021 році було введено в експлуатацію 21 МВт (або 1,79 %) біогазових установок, що вдвічі більше, ніж у 2020 році, та 43,1 МВт (або 3,68 %) установок на біомасі, що вдвічі перевищує приріст біоенергетичних потужностей у 2020 році.

Частка введених у 2021 році потужностей малої гідроенергетики становить 1,24% або 14,6 МВт.

Географічний розподіл станцій ВДЕ варіюється залежно від джерела альтернативної енергії, яке є природним і відповідає потенціалу відновлювальних джерел електроенергії конкретного регіону. У той час як вітрові електростанції в основному розташовані в південних і південно-східних регіонах, переважно на узбережжі Чорного та Азовського морів (близько 85%), сонячна генерація набагато більш поширена, але знову ж таки, близько 60% промислових сонячних електростанцій зосереджені в південних і південно-східних регіонах України [5].

Отже, із здійсненого аналізу сучасного стану альтернативної енергетики, відзначаємо, що Україна досягла значного прогресу у реформуванні енергетичного сектору у відповідності до законодавства ЄС.

У лютому 2022 року український енергетичний сектор був одним з найефективніших у Європі, і залишається таким і сьогодні, незважаючи на значну шкоду, завдану російським вторгненням. Зокрема, Україна входить до першої десятки країн Європи за встановленими потужностями з виробництва електроенергії, входить до трійки найбільших виробників газу та має найбільші в Європі підземні газові сховища. Розгалужені та надійні системи транспортування газу, нафти та сировини нафти, а також системи передачі електроенергії з'єднують Україну з її сусідами по ЄС та Молдовою. Україна має одну з найвищих часток вуглецево-нейтрального виробництва електроенергії в Європі. Близько 70 % електроенергії виробляється за рахунок атомної енергетики, гідроенергетики та альтернативних («зелених») джерел енергії [5].

Війна мала значний негативний вплив на український енергетичний сектор. Через свою економічну, гуманітарну та геополітичну важливість об'єкти енергетичної інфраструктури є особливо частими цілями російських атак. Численні масовані ракетні обстріли російськими військами енергетичних об'єктів восени та взимку 2022 року пошкодили та зруйнували більше половини електроенергетичної інфраструктури України. Великих втрат зазнала «зелена» енергетика: переважна більшість вітрових і сонячних електростанцій розташовані на півдні країни.

Близько 4% енергетичних потужностей було зруйновано під час бойових дій, а ще 35% потужностей знаходиться на окупованих територіях. Зокрема, найбільша атомна електростанція в Європі (Запорізька АЕС) працює в українській енергосистемі, але перебуває під постійним тиском російських окупантів. Виробнича потужність цієї електростанції становить 6000 МВт, що становить 43% від загальної потужності всіх українських атомних електростанцій. Загалом, близько 50% теплових, 30% сонячних та понад 90% вітрових електростанцій були зруйновані або знаходяться на окупованих територіях. Видобуток газу впав на 10-12% з моменту повного вторгнення. Не працює жоден

нафтопереробний завод (внутрішнє виробництво забезпечувало близько 30% нафтопродуктів), виникли логістичні труднощі з постачанням нафтопродуктів. Станом на середину червня 2022 року прямі збитки, завдані інфраструктурі українського енергетичного та нафтогазового сектору, оцінюються в 47 мільярдів гривень або 1,7 мільярда доларів США. Загальні непрямі збитки в електроенергетиці з початку війни оцінюються в 341,8 млрд грн. У секторі видобутку, транзиту та розподілу газу втрати оцінюються в 61 мільярд гривень. Сектор видобутку та переробки нафти оцінюється в 66 мільярдів гривень [7].

Тим не менш, українська електроенергетична система є дуже стійкою, а інженери-електрики є надзвичайно професійними, коли йдеться про забезпечення стабільної роботи галузі навіть під час війни [7].

Як зазначалося вище, у довоєнний період в Україні було прийнято низку нормативно-правових актів та національних стратегій, які визначають подальший напрямок розвитку альтернативної енергетики в Україні у цьому та наступних десятиліттях. Зокрема, Енергетична стратегія України на період до 2050 року [9] передбачає створення умов для сталого розвитку національної економіки через забезпечення доступу до надійних, стійких і сучасних джерел енергії

Економічна стратегія України до 2030 року зі змінами [] визначає декарбонізацію, розвиток альтернативної енергетики та циркулярної економіки відповідно до Європейського зеленого курсу, а також енергоефективність як один із наріжних каменів розвитку національної економіки. Згідно з економічною стратегією України, частка відновлюваних джерел енергії в загальному виробництві електроенергії має зрости до 25 % до 2030 року [5].

У концепції екологічно безпечного енергетичного переходу в Україні до 2050 року, представленій українським урядом [5], зазначено: «Україна цілком спроможна та економічно доцільно досягти 70% частки

альтернативної енергетики у виробництві електроенергії до 2050 року. Крім того, значна частка (до 15 %) має генеруватися даховими сонячними електростанціями домогосподарств та підприємств» [5].

Однак на тлі повномасштабної війни з російською федерацією положення Плану відновлення України до 2032 року, який український уряд презентував на міжнародній донорській конференції в Лугано в липні 2022 року, є пріоритетними для подальшого розвитку альтернативної енергетики.

На підставі проаналізованих даних щодо сучасного стану альтернативної енергетики в Україні відзначаємо, що наразі українська енергосистема працює з мінімальним запасом міцності як для електромереж, так і для виробництва електроенергії і потребує відновлення та модернізації, оскільки з переходом на альтернативну енергетику енергетика як така перестане бути інструментом політичного чи військового впливу однієї країни на іншу. Тому зазначимо, що як економічні, так і соціальні переваги розвитку альтернативних джерел енергії є беззаперечними.

Перспективи альтернативної електроенергетики суттєві, проте, враховуючи реалії існування української держави сьогодні, вважаємо, що задля досягнення цих перспектив доцільним було забезпечення прийняття єдиного базового стратегічного документу, який визначав би напрямок розвитку енергетики та альтернативної енергетики зокрема в Україні, плану дій на 5-10 років, який має виконуватися як державою, так і учасниками ринку; зобов'язання всіх державних органів та компаній, що працюють в енергетичному секторі, включити заходи плану до своїх програм діяльності/розвитку та встановлення політичної/адміністративної відповідальності за невиконання цих заходів; продовження на законодавчому рівні терміну дії технічних умов для проєктів розвитку альтернативної електроенергетики; розвиток «зеленої» генерації та

створення нової моделі енергетичного сектору України за умови: прийняття чітких національних стратегій розвитку відновлюваних джерел енергії, виробництва відновлюваного водню та офшорної вітроенергетики, які складають важливі перспективи розвитку сектору альтернативної електроенергетики; застосування найкращих практик у сфері охорони довкілля; забезпечення надійного функціонування інфраструктури альтернативної енергетики, вжиття необхідних заходів для її модернізації, зниження рівня аварійності.

Отже, підсумовуючи, відзначаємо, що 2021 році український сектор альтернативної енергетики все ще виборював право працювати на справедливих, гарантованих державою умовах, але вже у 2023 році він готується стати однією з основ післявоєнної відбудови України та ще більше підвищити енергетичну незалежність країни. Реформування сектору вимагає не лише значних інвестицій, але й залучення широкого кола кваліфікованих фахівців та ретельного вивчення таких енергетичних питань, як відновлення та розвиток, диверсифікація енергоресурсів, децентралізація енергетичної мережі, енергоефективність та розвиток альтернативної енергетики, імплементація європейського законодавства в енергетичному секторі та інтеграція в енергетичний ринок ЄС. Вирішення цих питань має важливе значення для зміцнення енергетичної безпеки та енергетичної незалежності України як перспективи її майбутнього процвітання.

РОЗДІЛ 3

СИСТЕМИ СОНЯЧНОГО ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

3.1. Технічні особливості та схемні рішення ССГВ

Природнокліматичні умови України сприятливі для розвитку геліоенергетики (рис. 3.1). Річна тривалість сонячного сяння складає від 1850 год. (Львів) до 2340 год. (Сімферополь), що перевищує ці показники у країнах, які активно використовують сонячну енергію (США, Німеччина, Австрія та ін.) [18].

Коефіцієнт корисної дії сонячного колектора визначається його оптичними характеристиками, якістю теплової ізоляції, інсоляцією і температурою теплоносія та навколишнього середовища. У більшості існуючих установок широти біля 30° середній річний експлуатаційний ККД колектора 40-50%. що робить ці установки привабливими для споживача. Для більш високих широт сонячні водонагрівачі виявляються більш ефективними при сезонному їхньому використанні.

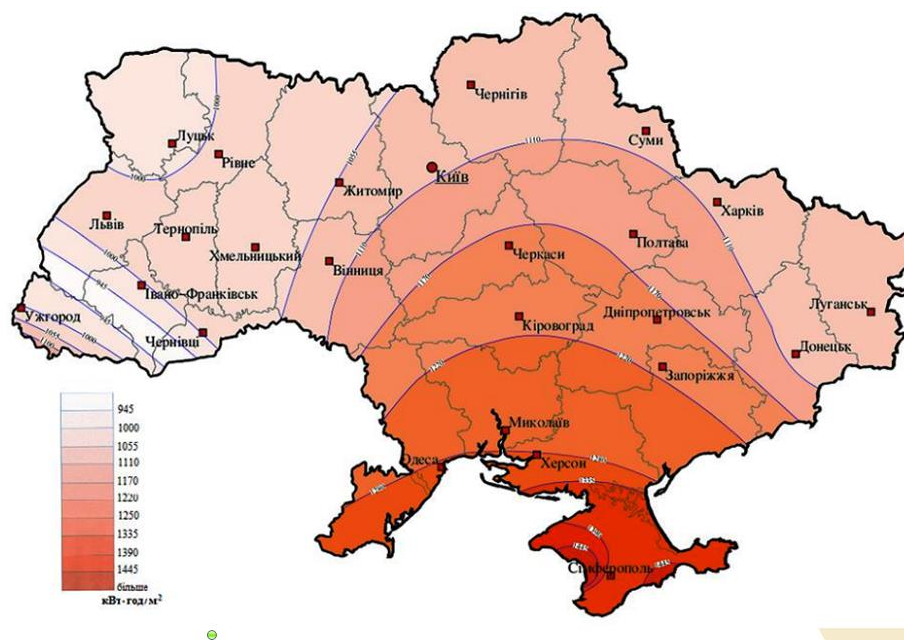


Рис. 3.1. Розподіл питомої сумарної сонячної радіації на території України протягом року

Геліосистеми гарячого водопостачання виконуються з рідинними сонячними колекторами, одно-, дво- або багатоконтурними, з природною або примусовою циркуляцією, накопичувальний бак суміщений або не суміщений з теплообмінником. Найпростішими є одноконтурні проточні системи, до складу яких входять сонячні водонагрівачі та безнапірні накопичувальні баки. Експлуатація за цією схемою допускається тільки при використанні корозійностійких колекторів.

Принципові схеми деяких активних ССГВ показані на рис. 3.2 та 3.3.

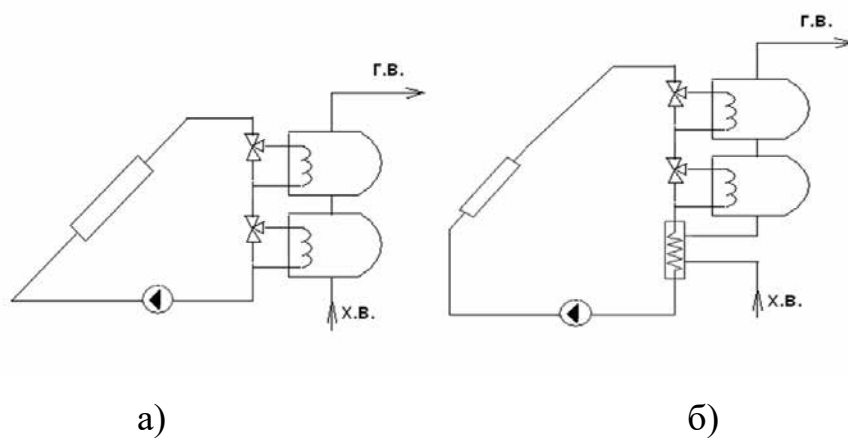


Рис. 3.2. Принципові схеми установок сонячного гарячого водопостачання:

а) з секційним баком-акумулятором;

б) з секційним баком-акумулятором та швидкісним теплообмінником

Для підвищення корозійної стійкості та забезпечення роботи з антифризом в якості теплоносія в зимовий час, системи виконуються дво- або багатоконтурні. Принципова схема найпростішої двоконтурної системи з природною циркуляцією приведена на рис. 4.2, а. Недоліком термосифонних систем є знижена теплова ефективність, викликана малими швидкостями руху теплоносія, і обмеженість площі колекторів, що обмежує коло їх використання невеликими автономними системами, де вони зарекомендували себе досить добре, і на сьогодні це є найбільш масовий тип ССГВ, що забезпечують котеджі, окремі квартири у багатоквартирних домах, невеликі підприємства.

У великих системах, як правило, використовується примусова циркуляція, що збільшує тепловіддачу сонячного колектора і для зменшення його тепловтрат слід прагнути до зниження середньої робочої температури теплоносія, що досягається, крім іншого, за максимально низькою температурою теплоносія, що подається в колектор. Ця схема багато в чому залежить від підключення гідроакумулятора. Найпростішою є схема, при якій бак-акумулятор заповнюється водою, нагрітою в швидкодіючому теплообміннику. Ця схема забезпечує охолодження теплоносія до температури водопостачання. Однак час роботи системи обмежений, оскільки з підвищенням температури води в резервуарі підвищується рівень радіації, який можна використовувати з користю. Тому при роботі системи з постійною витратою вдень температура води в баку обов'язково знижується, а при роботі з нагріванням води до заданої температури вона може працювати тільки близько полудня. Встановлення теплообмінника в бак-акумуляторі зменшує втрати тепла від обладнання, однак за рахунок низьких коефіцієнтів тепловіддачі збільшується площа поверхні теплообмінника. Ця схема також обмежена по часу роботи, але крім того, при підвищенні температури в гідроакумуляторі підвищується температура теплоносія, що подається в сонячний колектор.

Одноконтурна геліоустановка з вимушеною циркуляцією теплоносія (рис. 3.3, а) працює таким чином. Вранці тепловий акумулятор заправляється холодною водою з мережі. По мірі нагріву геліоколектора його температура стає рівною температурі води в теплому акумуляторі. Тоді автоматична система управління вмикає циркуляційний насос і починається процес нагріву води в теплому акумуляторі.

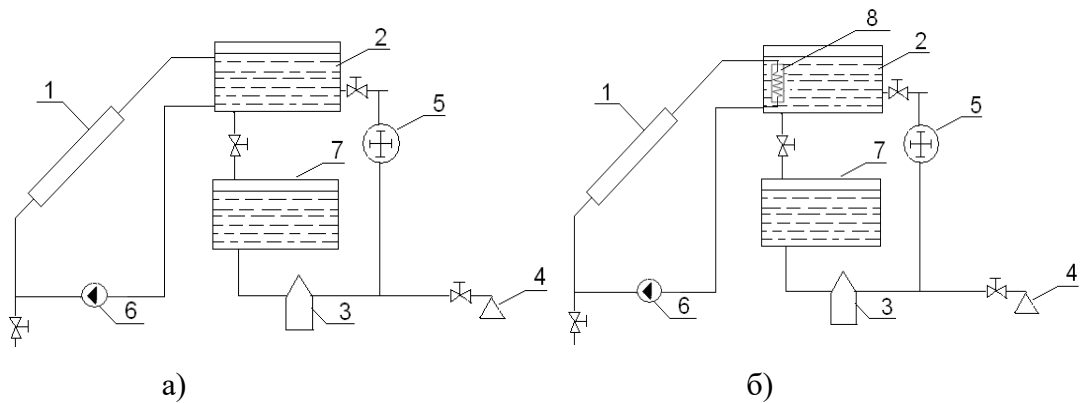


Рис. 3.3. Схеми геліоустановок з вимушеною циркуляцією теплоносія:

а) одноконтурна; б) двоконтурна; 1 – геліоколектор; 2 – тепловий акумулятор; 3 – догрівач; 4 – споживач; 5 – змішувач; 6 – циркуляційний насос; 7 – видатковий бак; 8 – теплообмінник.

Увечері температура води на виході з сонячного колектора знижується і, коли її зниження стає таким же, як і в теплоаккумуляторі, циркуляція води припиняється. Нагріта вода з ТА зливається в живильний бак. САУ контролює температуру споживаної води та підтримує її значення в заданих межах за допомогою нагрівача та змішувача. Така схема забезпечує цілодобове споживання гарячої води за будь-яким графіком.

При двоконтурній схемі (рис. 3.3, б) теплоносій циркулює по окремому контуру сонячного колектора і за допомогою теплообмінника віддає тепло воді в теплоаккумуляторі. Це дозволяє використовувати замість охолоджуючої рідини спеціальні рідини (пом'якшену воду, антифриз, збіднене масло тощо), які покращують експлуатаційні характеристики установки.

3.2. Порівняльна характеристика сонячних колекторів різних типів

Плоский сонячний колектор – найбільш поширений тип сонячних колекторів, який застосовують в геліосистемах, для підігріву води і для підтримки опалення. Конструкція плоских сонячних колекторів використовує пряме або розсіяне сонячне випромінювання і не передбачає його концентрації. Перевагою плоского сонячного колектора є відносна простота конструкції, що дозволяє здешевити систему при досить високих показниках продуктивності і надійності.

Недоліком можна назвати високі теплові втрати, які знижують показники виробництва теплової енергії при низькій температурі повітря.

Конструктивно він виконаний у вигляді прямокутної пластини (рис. 3.4.).

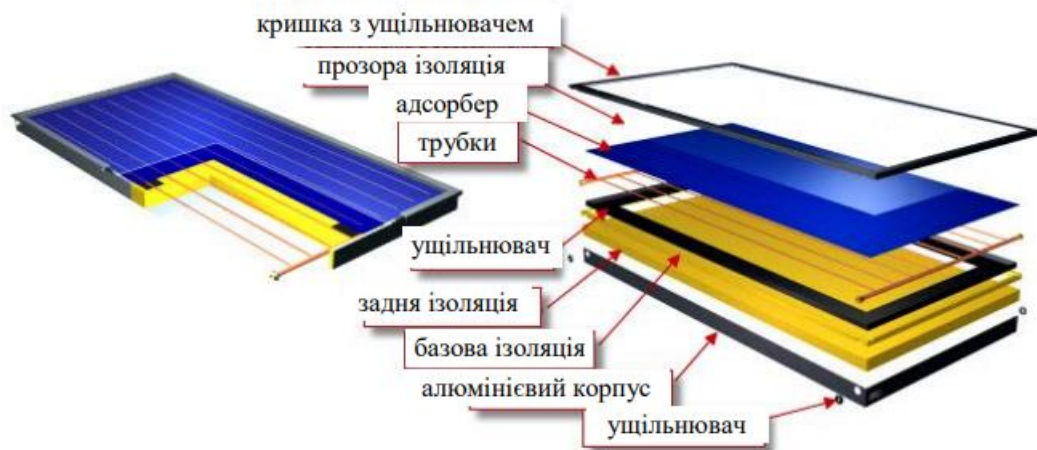


Рис. 3.4. Конструкція плоского сонячного колектора

У теплоізолюваному корпусі колектора знаходиться основний елемент – абсорбер (поглинаюча пластина). До абсорберу припаяні трубки. Матеріал абсорбера і трубок може бути різним, як правило, застосовують метали з гарними теплопровідними характеристиками, такі як мідь і алюміній.

Зверху поглинаюча пластина закрита прозорою ізоляцією. Для цього застосовують загартоване скло з низьким вмістом оксидів заліза. Це сприяє більшому проникненню сонячної енергії на пластину.

Більшість плоских колекторів складається із п'яти основних елементів,

- корпус, що містить усі елементи і захищає їх від атмосферних впливів;
- прозоре покриття з одного або більше шарів скла або пластмасової плівки;
- трубки або канали, виготовлені як одне ціле разом із поглинаючою пластиною або приєднані до неї, по яких проходить вода, повітря або інший теплоносій;
- поглинаюча пластина, зазвичай металева, з чорною поверхнею, хоча можна використовувати безліч інших матеріалів, особливо для повітрянагрівачів;
- ізоляція, яку необхідно передбачати на тіньовій і бічній сторонах колектора, щоб звести до мінімуму теплові втрати.

У ряді випадків ізоляцію можна виключати із пристроїв, призначених для невеликого підвищення температури, як наприклад при нагріванні води в плавальних басейнах.

Під впливом сонячного випромінювання на поверхні абсорбера сонячного колектора відбувається поглинання сонячної енергії, в результаті пластина абсорбера розігрівається, а теплоносій, що перекачується через трубки, відбирає отримане тепло через місця з'єднання пластини абсорбера з трубками. Селективне покриття, яке наноситься на пластину абсорбера, дозволяє поглинути максимально можливу кількість теплової сонячної енергії, при цьому назад ця енергія майже не випромінюється. Прозора ізоляція (гартоване скло з низьким вмістом заліза) і теплоізоляційний шар знижують втрати теплової енергії.

Велика частина сонячної радіації, що надходить на колектор, поглинається поверхнею абсорбера. Частина поглиненої енергії передається циркулюючому в колекторі теплоносію, а решта втрачається в навколишнє середовище. Тепло, що відводиться рідиною, – корисне тепло, яке можна використовувати для тепlopостачання. Щільність потоку сонячної радіації, що поглинається абсорбером, дорівнює добутку

щільності потоку падаючої радіації H , проникної здатності скла τ і поглинаючої здатності адсорбера α .

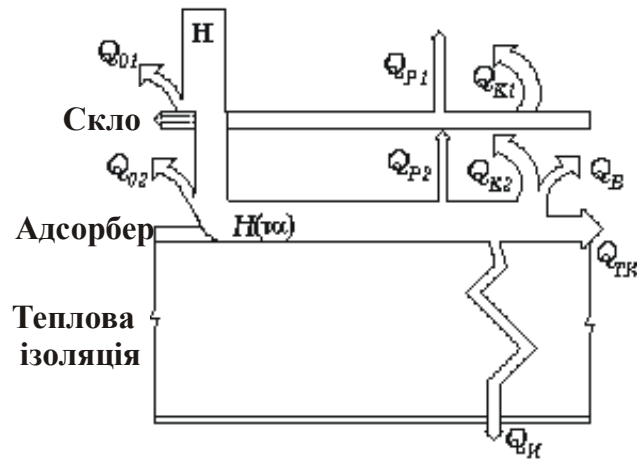


Рис. 3.5. Тепловий баланс геліоколектора

Пряма, дифузна і відбивна складові сонячної радіації надходять на поверхню колектора під різними кутами. Тепловий баланс геліоколектора (ГК) (див. рис. 3.5) включає втрати енергії ГК, що виникають через відображення склом Q_{01} і адсорбера Q_{02} і через поглинання склом Q_c . Втрати Q_{01} , Q_{02} і контролю якості характеризують оптичну досконалість ГК.

Сонячний вакуумний колектор має значно менші теплові втрати в навколишнє середовище, оскільки вакуум є ідеальним теплоізолятором.

Трубчаста форма у вигляді колби найбільш оптимальна для створення і утримання вакууму. Саме тому найбільшого поширення в побутовому секторі отримали вакуумні трубчасті колектори. Існує кілька типів трубчастих колекторів, що є різними за своїми конструктивними особливостями, внаслідок чого у них можуть бути різні експлуатаційні характеристики, цільове використання та ефективності.

Існує два основних типи конструкції скляної трубки:

- коаксіальна трубка (рис. 3.6 а);
- пір'яна трубка (рис. 3. 6 б).

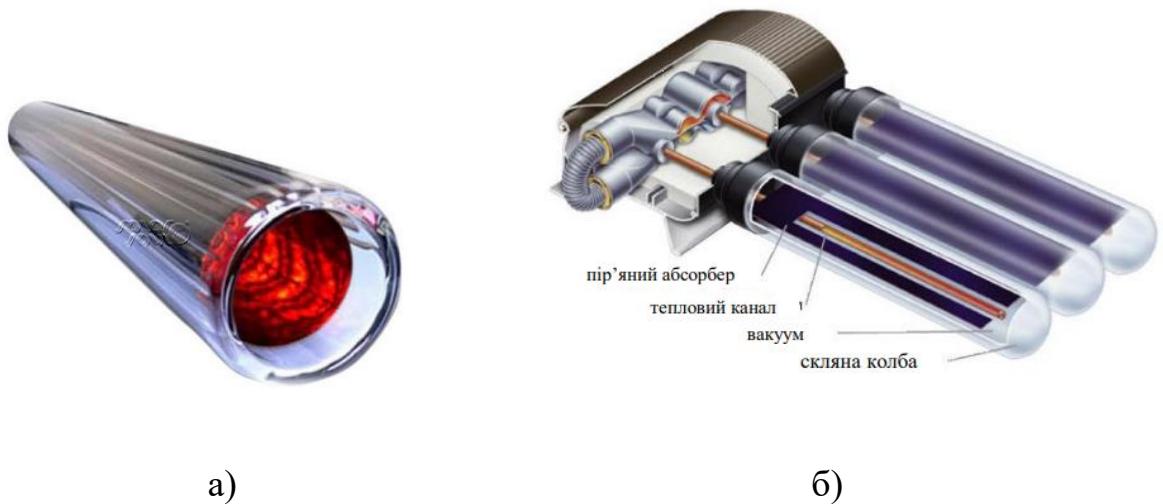


Рис. 3.6. Типи конструкції вакуумованої трубки:
а) коаксіальна; б) пір'яна.

Коаксіальна трубка фактично є термосом та являє собою подвійну скляну колбу. В просторі між трубками відкачано повітря, тобто створено вакуум. На стінці внутрішньої трубки нанесено поглинальне покриття, тому передача тепла відбувається від самої скляної колби.

Пір'яна трубка являє собою одностінну скляну колбу. Вакуум в даній трубці знаходиться в просторі теплового каналу, в дамєандровий трубках частина теплового каналу і абсорбера інтегрована всередині самої колби.

До переваг вакуумованих колекторів можна віднести:

- варіативність розміщення (може бути розміщено не тільки на півдні)
- висока температура нагріву води
- можливість інтегрування до високотемпературних опалювальних систем
- високий обсяг виробництва енергії зимою
- використання розсіяного світла
- здатність роботи при температурах – 30°C

- довгий період роботи протягом доби

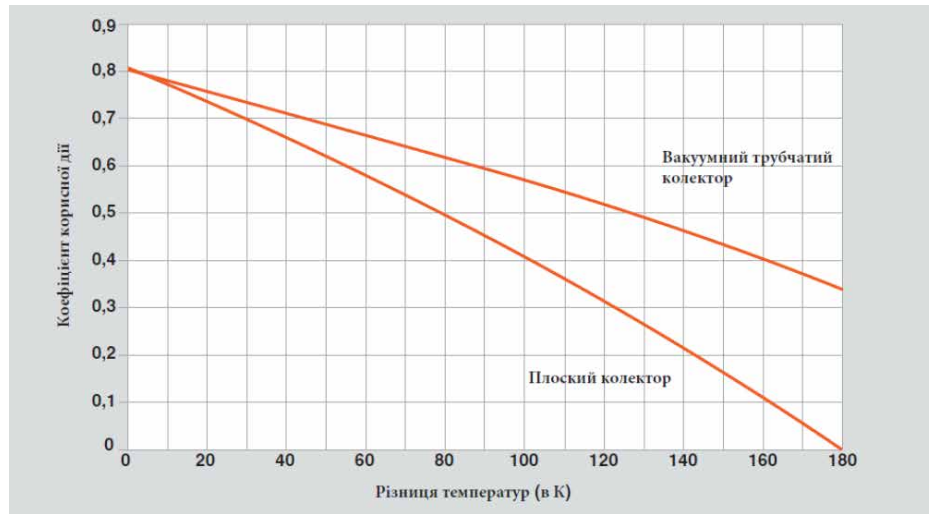


Рис. 3.7. Порівняння ККД сонячних колекторів різного типу

Хоча в діапазоні температур, характерних для систем гарячого водопостачання плоский сонячний колектор за ефективністю роботи не дуже поступає вакуумованому (рис. 3.7), проте відмічені вище його переваги роблять його більш привабливим для використання в складі комплексної альтернативної системи тепlopостачання будівлі.

РОЗДІЛ 4

ТЕПЛОПОМПОВІ УСТАНОВКИ

4.1. Загальні відомості про теплові насоси

Одним із напрямків економії енергоресурсів є використання теплових насосів для опалення і гарячого водопостачання [26, 27, 30].

Тепловий насос це пристрій для перенесення теплової енергії від низькопотенціального джерела тепла (наприклад, зовнішнє повітря або ґрунт) до споживача тепла з високою температурою. У відповідності із другим законом термодинаміки таке підвищення потенціалу теплової енергії може бути здійснено тільки за умови підведення до термотрансформатора від зовнішнього джерела додаткової енергії того або іншого виду □ електричної, механічної, хімічної й ін.

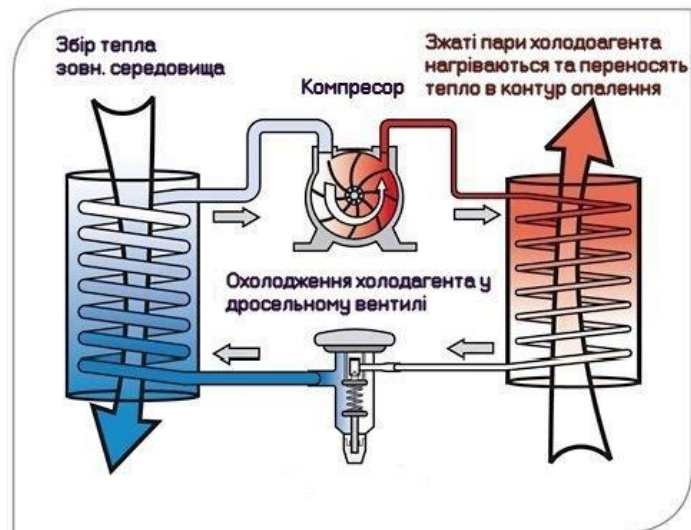


Рис. 4.1. Принцип роботи теплового насоса

Робота теплового насосу проходить у три етапи: (рис. 4.1) відбір тепла із навколишнього середовища, підвищення його температурного рівня, використання цього тепла в системі опалення.

1 ЕТАП

Повітря обдуває систему трубопроводів зовнішнього блоку, по яких циркулює легко кипляча, незамерзаюча рідина. Температура цієї рідини завжди нижча від температури навколишнього повітря. Таким чином холодагент нагрівається повітрям. Даний процес відбується навіть при від'ємних температурах повітря, визначальним для цього є температурний диференціал. Отримане тепло переходить на другий етап.

2 ЕТАП

Холодагент, що циркулює в тепловому насосі, це рідина, яка кипить та випаровується навіть при низьких температурах. Поглинаючи тепло навколишнього повітря, холодагент закипає та переходить в газоодібний стан. Компресор стискає пари холодагента, що викликає підвищення їх температури. На цьому етапі пари холодагента стають достатньо гарячими, щоб передати їх тепло у контур опалення.

3 ЕТАП

Використовуючи отримане тепло можна нагріти воду та опалати оселю. Надалі холодагент віддає своє тепло, при цьому охолоджуючись, знову стає рідким. Але поки він надто теплий і під надто високим тиском, щоб знову забирати тепло зовні. Тиск холодагента знижується при проходженні через дросельний вентиль. При цьому різко знижується його температура. Тепер холодагент знову може поглинати тепло навколишнього повітря, цикл роботи насоса замикається.

За принципом дії - розрізняють теплові насоси парокомпресійні, абсорбційні, адсорбційні й термоелектричні;

За схемою застосування - моновалентні і бівалентні (

Моновалентний режим роботи теплового насоса означає, що тепловий насос повністю покриває всі теплові втрати на опалення та приготування гарячої води для побутових потреб. Для будівлі з тепловою потужністю 10 кВт встановлена електрична потужність теплового насоса буде складати 2,5 кВт, при коефіцієнті перетворення енергії рівному 4, а це в 1,6 разів менше

ніж встановлена електрична потужність на опалення в моноенергетичному режимі роботи. Це дасть змогу зменшити строк окупності обладнання, враховуючи постійне збільшення ціни на природний газ. Таким чином навіть при вільному режимі роботи електрична потужність теплового насосу, особливо в години максимуму навантаження електричної мережі, не буде суттєво збільшуватись порівняно з ввімкненням електричних догрівачів (ТЕНів).

В об'єднаних (бівалентних) системах теплових насосів з водогрійними котлами можливі два режими роботи: бівалентно-паралельний і бівалентно-альтернативний.

Бівалентно-паралельний режим означає, що загальна потреба в тепловій енергії забезпечується тепловим насосом і водогрійним котлом. Водогрійний котел використовується як допоміжне джерело теплоти. Керування всією схемою здійснюється за допомогою регулятора теплового насоса залежно від температури зовнішнього повітря (так званої температури бівалентної точки) і потреби в теплі опалювальних контурів (рис. 3.1, А). Максимальна температура подавального теплоносія у системі опалення не повинна перевищувати 55 °С. У типових схемах бівалентно-паралельних систем приймається, що тепловий насос забезпечує від 50 до 70% потреби об'єкта в теплі. Сумарна тривалість роботи насосів протягом опалювального періоду становить від 75 до 92%. Опалювальні установки, оснащені тепловим насосом і водогрійним котлом, прекрасно працюють на нових, якісно ізольованих об'єктах з низькотемпературними системами опалення, наприклад системами підлогового опалення. У таких систем використовуються теплові насоси типу "розсіл - вода" (BW) або "вода - вода" (WW), що гарантують поставку теплової енергії протягом усього опалювального періоду.

Бівалентно-альтернативний режим означає, що тепловий насос постачає опалювальні контури теплом до певної температури зовнішнього повітря – бівалентної точки. Після того, як температура зовнішнього повітря

опуститься нижче цього значення, теплова насоса відключається, і водогрійний казан покриває 100% потреби об'єкта в теплі (рис. 5.10, В).

Джерелом низькопотенційної теплоти (ДНТ) для теплового насоса може слугувати - зовнішнє повітря, поверхневі води (ріка, озеро, море), підземні води; ґрунт, сонячна енергія, низькопотенційна теплота штучного походження (скидні води, витяжне повітря систем вентиляції та ін.);

4. 2. Особливості вибору джерела теплоти для ТНУ

4.2.1. Умови практичного використання тепла навколишнього середовища

Для практичного використання тепла навколишнього середовища необхідно прийняти до уваги наступні критерії:

- достатня наявність;
- якомога більш висока акумулююча здатність;
- якомога більш високий рівень температур;
- достатня регенерація;
- економічне отримання;
- низькі затрати на технічне обслуговування.

Даним вимогам, для раціонального використання, відповідають такі джерела тепла: ґрунт, вода та оточуюче повітря. Всі вони накопичують сонячну енергію, в результаті чого через ці джерела тепла не прямо використовується сонячна енергія.

За сполученням ДНТ із нагрівом в ТН середовищем розрізняють шість різновидів компресійних теплових насосів (таблиця 4.1).

Щоб найдоцільніше вибрати джерело тепла для теплового насоса потрібно проаналізувати саме джерело а також систему опалення.

Таблиця 4.1

Різновиди компресійних теплових насосів

| Різновид ТП | Характерні ознаки | |
|-------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | У випаровувачі охолоджується | В конденсаторі нагрівається |
| Рідина-рідина | вода або антифриз | вода |
| Рідина -повітря | | повітря |
| Повітря - рідина | повітря | вода |
| Повітря - повітря | | повітря |
| Грунт- рідина | грунт | вода |
| Грунт- повітря | | повітря |

4.2.2 Теплогенерація з навколишнього повітря

Типова структурна схема повітряно-повітряного теплового насосу показана на рис. 4.2. Зовнішнє повітря проганяється через ребрені трубки випаровувача, усередині яких циркулює робоче тіло. Таким чином, теплота відводиться від конденсатора до повітря приміщення, що опалюється. У міру зниження температури навколишнього середовища необхідна кількість теплоти для опалення підвищується, але здатність теплової помпи підтримувати навіть постійну теплову потужність знижується. Для усунення цього недоліку застосовують додаткові нагрівачі - електричні або на органічному паливі. Розміщують випаровувач у місцях, де температура повітря підігрівається сонячним випромінюванням, наприклад під покрівлю на горищі будинку.

Для повітряно- водяних теплових насосів (рис.4.3) параметри джерела тепла задаються конструкцією або розмірами пристрою. При цьому необхідна кількість повітря подається через повітряні канали за допомогою вбудованого вентилятора у випарник і при цьому охолоджується.

Припливні і витяжні отвори мають бути розташовані так, щоб унеможливити "замикання" повітряного потоку.

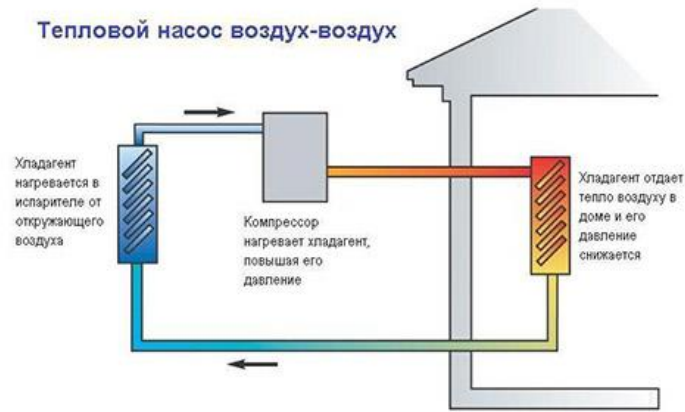


Рис. 4.2. Схема теплового насоса типа «повітря-повітря»:

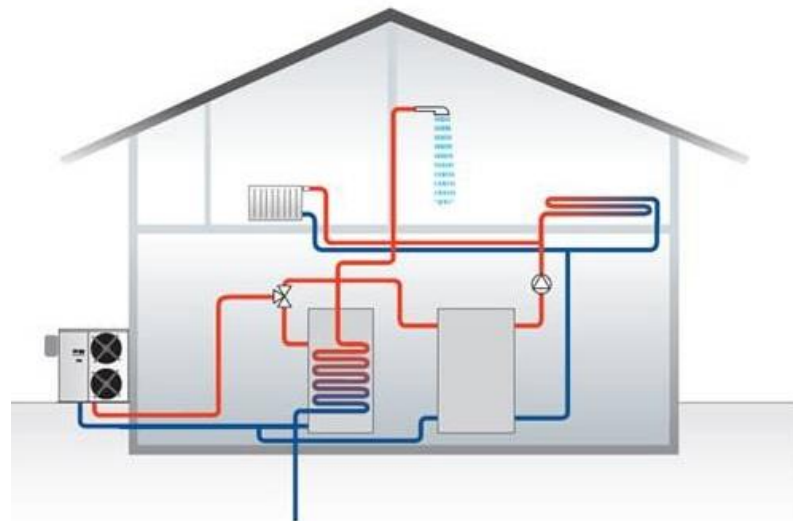


Рис. 4.3. Схема теплового насоса типа «повітря-вода»:

Оскільки температура зовнішнього повітря, в опалювальний період, у переважній більшості районів України може перевищувати -20°C згідно з СНиП 2.04.05-91*У то використання повітряно-водяних теплових насосів є неможливе, їх температура застосування включно до -15°C в той же час коефіцієнт перетворення енергії знижується до 2. Застосування повітряно-водяних теплових насосів можливе лише для південних районів України, Виходячи з чого зовнішнє повітря, як джерело низько потенціального тепла, використовувати важко.

4.2.3. Теплогенерація при використанні тепла землі

Так звані «ґрунтові ТН» як первинні джерела теплової енергії отримують підземні шари ґрунту через «ґрунтові колектори» чи «ґрунтові зонди», в яких використовується розсіл як робочий теплоносіє. Земля має практично необмежений ресурс тепла. На глибині від 3-х метрів температура ґрунту за посередництвом колекторів або ґрунтових зондів цілий рік зберігає температуру $+10^{\circ}\text{C}$. Ґрунт володіє властивістю акумулювати сонячну енергію впродовж довгого періоду часу, що забезпечує порівняно рівномірну температуру джерела тепла впродовж року й, тим самим, високий ККД роботи теплового насоса.

Накопичене у ґрунті тепло добувається з використанням теплообмінників, прокладених горизонтально – ґрунтових колекторів, а також вертикально – так званих земляних зондів. (рис. 4.4)

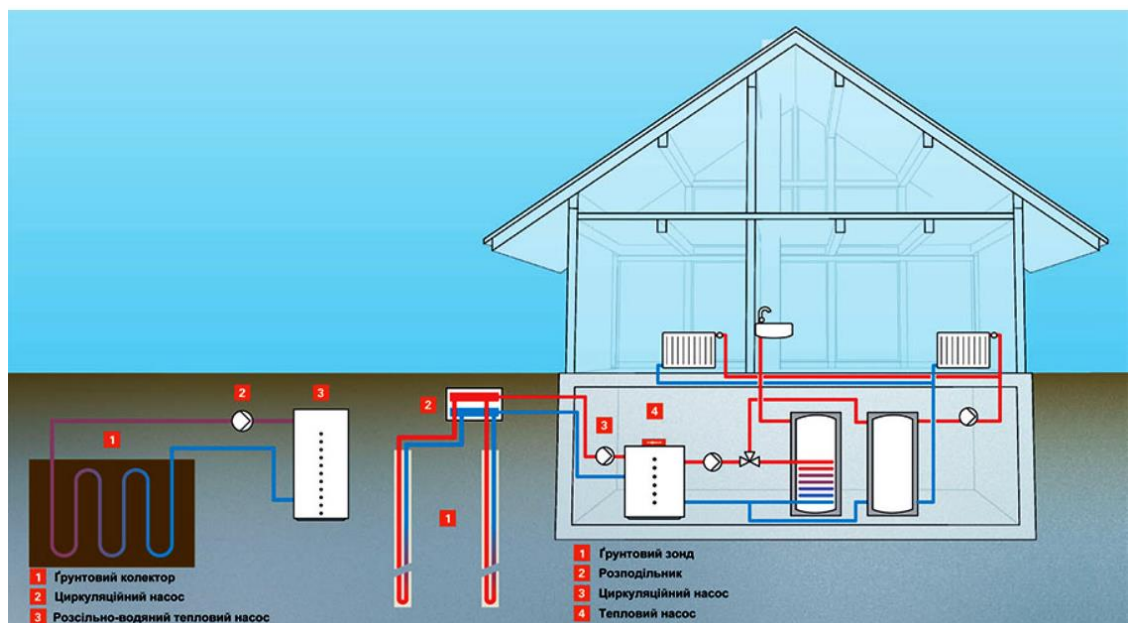


Рис. 4.4 Теплогенерація при використанні тепла землі

Тимчасове замерзання ґрунта в безпосередній близькості від труб – як правило, в другій половині опалювального періода – не має жодної негативної дії на роботу системи і на ріст рослин.

Проте, при цьому не слід саджати рослини з глибоким корінням на ділянці прокладання розсольних труб. Регенерація прогрітого ґрунту відбувається вже в другій половині опалювального періода під дією

підсилюючих інсоляції та опадів, в результаті чого до наступного опалювального періоду ґрунт в якості акумулятора тепла” знову може бути використаний в цілях опалення.

Головним чином, внаслідок великої займаної площі прокладка горизонтальних земляних колекторів для нових споруд часто є проблематичною.. З цієї причини в даний час все частіше знаходять застосування вертикальні земляні теплові зонди, що досягають глибин до 50 – 150 м.

Умовою для проектування і встановлення земляних теплових зондів є точні знання характеристик ґрунту, залягання пластів, опору ґрунту і наявності ґрунтових або пластів вод із з визначенням рівня води і напрямку її течії.

Кількість тепла, яку можна отримати з ґрунту, залежить від різноманітних факторів. Технічна продуктивність (або радше швидкість відбору тепла) теплових насосів «ґрунт-вода» суттєво обмежена швидкістю теплової передачі ґрунту в даній локації. У відповідності з даними, які є в даний момент, в якості джерела тепла найбільш придатна сильно зволожений водою глинистий ґрунт. В ґрунті з великим вмістом піску кількість отримуваної теплової енергії нижче. Тому вибір даного джерела тепла для ТН має деякі особливості при проектуванні та головним чином обмежується кількістю енергії, здатної бути накопиченою та регенованою. Тобто, продуктивність теплових насосів в даному випадку визначається не показником теплової потужності ТН, а характеристиками його холодопродуктивності. Це формує особливості проектування та обмеження використання ТН, щоб уникнути промерзання ґрунту навколо зондів чи колекторів з розсолем, що може призвести до фактичної зупинки роботи ТН через переохолодження «джерела».

4.2.4. Вода як джерело теплоти

Артезіанська вода має майже однакову температуру, приблизно від 10 °С у північних областях до 15 °С поблизу екватора.

Грунтові води, температура яких протягом року складає 8-10 °С, мають сприятливі властивості для використання в теплових насосах без підготовчих процесів. Інфільтрація охолодженої води здійснюється в тому випадку, коли ґрунтова вода не може бути використана для технологічних потреб. Водопідйомні та інфільтраційні колодязі повинні бути розташовані один від одного не менше ніж на 15 м.

Вода відкритих водоймищ, таких, як озера, моря та ріки, також може служити джерелом теплоти. При її використанні, як і у випадку з повітрям, трапляються труднощі взимку.

Використання в якості джерела тепла енергії води можливе за умови наявності поблизу будівлі, яка опалюється, водойми. Також необхідно пам'ятати, що для збереження флори та фауни вода в озерах повинна залишатись в рідкому стані. Найефективніше відбирати тепло проточної води (річок) та оскільки такі умови зустрічаються не часто то таке застосування можливе не часто і не може набути великого розповсюдження.



Рис. 4.5. Тепловий насос «вода-вода»

4.3. Особливості інтеграції теплового насоса в систему опалення будівлі

При необоротному теплонасосному циклі коефіцієнт перетворення енергії можна визначити як [25]

$$\varepsilon_{ТН} = \eta_{К} \cdot \varepsilon_{К} = \eta_{К} \cdot T_{К} / (T_{К} - T_{И}),$$

де $\eta_{К}$ – ККД еквівалентного циклу Карно; $\varepsilon_{К}$ – коефіцієнт перетворення енергії еквівалентного циклу Карно; $T_{К}$, $T_{И}$ – відповідно, температура насичення робочого тіла в конденсаторі і випарнику ТН, К.

На графіку рис. 4.6 представлена залежність COP повітряного теплового насосів від температури зовнішнього повітря при трьох значеннях температури теплоносія в подавальній магістралі..

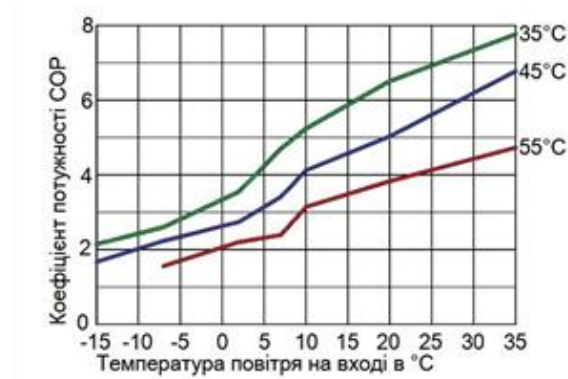


Рис. 4.6. Залежність COP теплових насосів від різниці температур:

Насос споживає менше енергії, коли різниця між температурою зовнішнього повітря і температурою води в магістралі мінімальна. Чим менше температура в лінії подачі, тим вище коефіцієнт перетворення електричної енергії в теплову, а значить тим дешевше 1кВт * год тепла.

У порівняльних аналізах з урахуванням різного ступеня навантаження ТН внаслідок різної температури подачі води в системи опалення використовується значення середньорічного опалювального коефіцієнта ϕ_r , описуваного як відношення кількості тепла, отриманого в конденсаторі протягом року, до кількості спожитої за цей час електроенергії. Середньорічні опалювальні коефіцієнти пропонованих у цей час ТН, залежно від температури води на виході з конденсатора, дані в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Середньорічні значення опалювальних коефіцієнтів

| Система ТП, тип і джерело низькотемпературного тепла | Температура води на виході з конденсатора, °С | | |
|--|---|-----|-----|
| | 45 | 50 | 70 |
| «вода-вода» (вода): | | | |
| моновалентний | 3,3 | 2,8 | – |
| бівалентний | – | – | 2,8 |
| «грунт-вода» (грунт): | | | |
| моновалентний | 3,0 | 2,5 | – |
| бівалентний | – | – | 2,5 |
| "повітря-вода": | | | |
| моновалентний | 2,2 | – | – |

Таким чином, найбільш застосовувані системи опалення: повітряний обігрів, радіатори та реєстри водяного опалення потребують порівняно високої температури теплоносія, окрім системи «тепла підлога». Згідно нормативам максимальна температура поверхні підлоги для приміщень з постійним перебуванням людей ($T_{ГН} = +26^{\circ}\text{C}$).

Виходячи з температури подачі теплоносія, яка змінюється від 35°C до 65°C , яку забезпечує тепловий насос, а також беручи до уваги якомога більший коефіцієнт перетворення енергії та вище викладені параметри систем опалення, можна зробити висновок, що найдоцільніше використовувати для опалення систему «тепла підлога», яка задовольняє такі умови роботи теплового насоса, як низький потенціал теплоносія на опалення (від 35°C до 45°C), завдяки чому забезпечується високий коефіцієнт перетворення енергії теплового насоса (від 4 до 5,5). В якості системи відбору низькопотенціального тепла використовувати систему „земляний зонд”. Це забезпечить майже постійну температуру первинного контуру теплового насосу (близько 10°C) впродовж майже всього періоду опалювального сезону, чим забезпечується регулювання температури вторинного контуру теплового насосу самим тепловим насосом, а також коефіцієнта перетворення енергії теплового насоса.

РОЗДІЛ 5

СУЧАСНІ СИСТЕМИ ПІДЛОГОВОГО ВОДЯНОГО ОПАЛЕННЯ

5.1. Передумови економічної ефективності підлогового опалення

Системи теплої підлоги (водяні або електричні) відносяться до класу низькотемпературних конвекційно-променевих нагрівальних панелей. Їх відмінною рисою є більша поверхня теплообміну, яка випромінює тепловий потік і тим самим підвищує температуру випромінювання огорожувальних конструкцій приміщення. Отже, згідно з [16], у приміщеннях з системами теплої підлоги допускається приймати температуру повітря нижчою за нормативну, але не нижче 3 °С, зберігаючи при цьому оптимальну температуру приміщення.

Оптимальна кімнатна температура t_{su} враховує комплексний показник радіаційної температури приміщення t_r і температури повітря приміщення t_p , що дозволяє прогнозувати задоволеність тепловим комфортом не менше 90% людей.

Фізіологічний зміст рівняння полягає в підтримці стабільного теплообміну між людиною й навколишнім середовищем ($Q = \text{const}$). Для людини, що виконує легку роботу, дане рівняння представлено в графічному виді на рис. 5.1 [16].

Облік спільного впливу температури повітря й середньої температури конструкцій, що обгороджують (радіаційної температури) на тепловідчуття людини дає можливість додаткової економії енергоресурсів променистими й конвективно-променистими системами опалення. Такими системами забезпечується тепловий комфорт у приміщеннях при менших температурах повітря. Наприклад, у приміщенні з водяною трубною системою опалення людина відчуває тепловий комфорт при температурі повітря $t_p = 18$ °С і середній температурі внутрішньої поверхні огорожень $t_t = 22$ °С. У той час як у приміщенні із традиційною водяною системою опалення аналогічні

тепловідчуття людини (на тім же рівні $t_{su} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$) сприймаються при температурі повітря $t = 22 \text{ }^\circ\text{C}$, тому що температура огорожень у ньому приблизно дорівнює $t_r = 18 \text{ }^\circ\text{C}$. Різниця між температурами повітря в розглянутих приміщеннях становить $22 - 18 = 4 \text{ }^\circ\text{C}$.

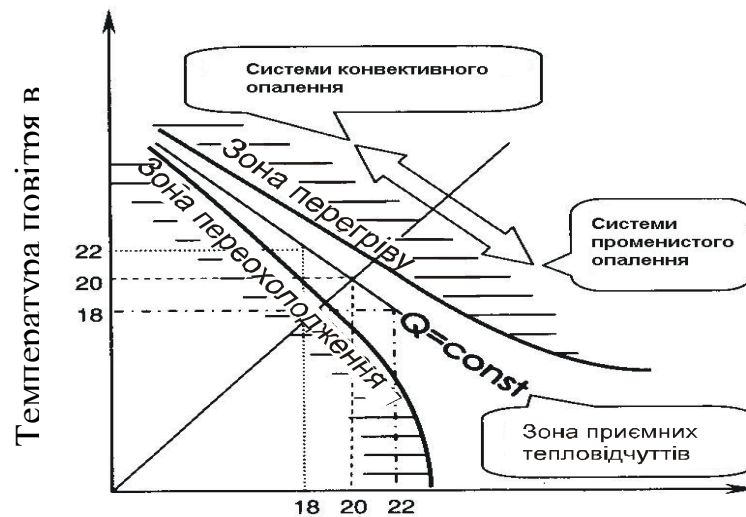


Рис. 5.1. Вплив температурних умов приміщення на тепловідчуття людини

Результуюче зменшення різниці температур повітря зовні і всередині приміщення в результаті використання систем теплої підлоги зменшує втрати тепла в холодну пору року при витяжці повітря вентиляцією і через зовнішні огорожувальні конструкції. При цьому перша складова тепловтрат зростає, а друга зменшується зі збільшенням теплоізоляції будинку [], оскільки за наявності теплої підлоги за рахунок променистого теплообміну нагріваються внутрішні поверхні інших огорожень, компенсуючи конвективний недогрів від зниження температури повітря в приміщенні. Загалом втрати тепла через зовнішні огороження сучасних утеплених будинків не залежать від використовуваної системи опалення.

Зниження температури повітря в приміщенні з променисто-конвективною системою опалення в порівнянні з конвективною системою визначають по [16]. У середньому для житлових приміщень воно зразково дорівнює $2 \text{ }^\circ\text{C}$. Таким чином, при однакових теплових відчуттях в приміщеннях з різними системами опалення, променисто-конвективна

система полегшує дихання людини, створюючи трохи прохолодну температуру повітря. Якість повітря, що сприймається людиною, оцінюється як вище, і вона відчувається свіжішою, що приємно. Цей висновок ґрунтується на останніх дослідженнях сучасних будинків із «нездоровим» синдромом, де тепловий комфорт забезпечується стандартно, але недостатнє конвективне та випарне охолодження дихальних шляхів людини, особливо носа, призводить до сприйняття повітря як задушливого, задушливо і неякісно. Продуктивність праці в таких приміщеннях знижується на 6,5%. Це призводить до економічних втрат, які перевищують загальні капітальні та експлуатаційні витрати на утримання будинку. Використання систем мікроклімату з помірними температурами повітря є завданням ХХІ століття, тим більше, що вони сприяють економії енергоресурсів.

Підлогові системи опалення забезпечують тепловий комфорт у приміщенні при меншій, приблизно на 2 °С, температурі повітря в порівнянні із традиційними водяними системами опалення.

Зниження температури повітря, яке сприймається людиною в приміщенні, поліпшує його якість, а також зменшує тепловтрати з вентиляційним видаляємим повітрям.

5.2. Загальні дані про підлогове опалення

Теоретичні основи теплового розрахунку теплих підлог були докладно розроблені французьким ученим А. Міссенаром в середині минулого століття. Радянське видання його найвідомішою монографії успішно використовувалося багатьма фахівцями при розробці експериментальних проектів. Розрахункові номограми, що додавалися до цієї книги, давали можливість достовірно виконувати всі теплотехнічні розрахунки, пов'язані з пристроєм теплих підлог.

Але минуло кілька десятиліть, перш ніж теплі підлоги почали застосовуватися досить широко, і причиною тому стала поява труб з

полімерних матеріалів, які, на відміну від сталевих трубопроводів, можна замонолічувати в будівельні конструкції будівель без побоювань, пов'язаних з корозією.

Системи підлогового опалення відрізняє висока ступінь теплової комфортності, теплостійкість, прихована прокладка трубопроводів.

Конструктивно система водяного підлогового опалення являє спіраль, яка виконана з пластикових труб, приєднаних до подавального і зворотного колекторів паралельно звичайним нагрівальним приладам і замонолічену в обогріваєму бетонну плиту. Бетонна плита, що обогріває приміщення і яка укладається на перекриття будівлі, повинна бути відділена від огорджувальних конструкцій розділювальними теплоізоляційними матеріалами, як це показано на рис. 5.2.

Щільність укладки пластикових труб в спіралі (крок укладки b на рис. 6.1) залежить від таких факторів:

- потрібного теплотрону з 1 м^2 обогріваємої підлоги (від тепловтрат приміщення);
- типу покриття підлоги (керамічна плитка, лінолеум, дерев'яний паркет тощо);
- прийнятих параметрів подачі теплоносія (води);
- температури повітря в приміщенні.

Рекомендовані в [17] форми укладання спіралі з пластикових труб в бетонній стяжці наведені на рис. 5.3.

Гранична температура поверхні стелі в приміщеннях з постійним перебуванням людей (житлових кімнатах) обмежена санітарно-гігієнічними нормативами в західноєвропейських країнах на рівні $27\text{...}28 \text{ }^\circ\text{C}$, в Україні – $28 \text{ }^\circ\text{C}$; в ванних кімнатах и басейнах – $30\text{...}31 \text{ }^\circ\text{C}$. В зв'язку з цим теплотрону з 1 м^2 обогріваємої підлоги для приміщень з температурою повітря $18\text{...}20 \text{ }^\circ\text{C}$ обмежується величиною теплового потоку в $40\text{...} 50 \text{ Вт/м}^2$.

В [18] рекомендується деяке підвищення температури поверхні підлоги і теплової продуктивності ділянок системи опалення у зовнішніх стін

приміщень, де маються найбільші втрати теплової енергії. Підвищення температури поверхні підлоги в таких граничних зонах досягається ущільненням труб, тобто зменшенням їх кроку укладки.

Товщина бетону над пластиковою трубою повинна складати не менше 5 см [17]. Товщина теплової ізоляції залежить від призначення перекриття:

- для перекриття над обогріваемим приміщенням товщина теплової ізоляції (пінопласту) приймається рівною 3 см;
- для перекриття над необогріваемим приміщенням або для підлог на ґрунті товщину теплової ізоляції (пінопласту) необхідно приймати не меншою 5 см.

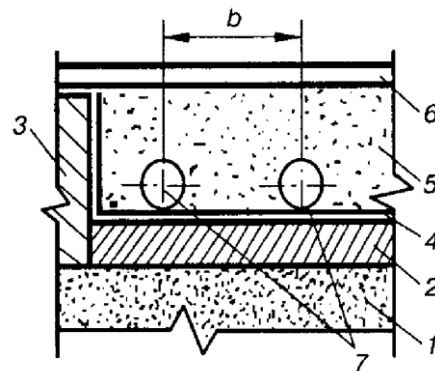


Рис. 5.2. Конструктивна схема системи водяного підлогового опалення:

1 – перекриття, 2 – шар теплової ізоляції, 3 – крайова теплоізоляційна стрічка; 4 – вологостійка ізоляція; 5 – бетонна плита, що нагріває; 6 – покриття підлоги; 7 – нагрівальна спіраль з металопластикових труб

Системи теплої підлоги – це низькотемпературні системи з різницею температур води в подавальному та зворотному трубопроводах системи опалення/охолодження, що дорівнює 55 оС/45 оС; 5 оС/40 оС або 45 оС/35 оС. Тому при сумісній роботі системи теплої підлоги з традиційними системами опалення, які розраховані на перепад температур 90 оС (або близько до нього), необхідний спеціальний змішувальний пристрій, що знижує параметри теплоносія, що подається до підлогової системи.

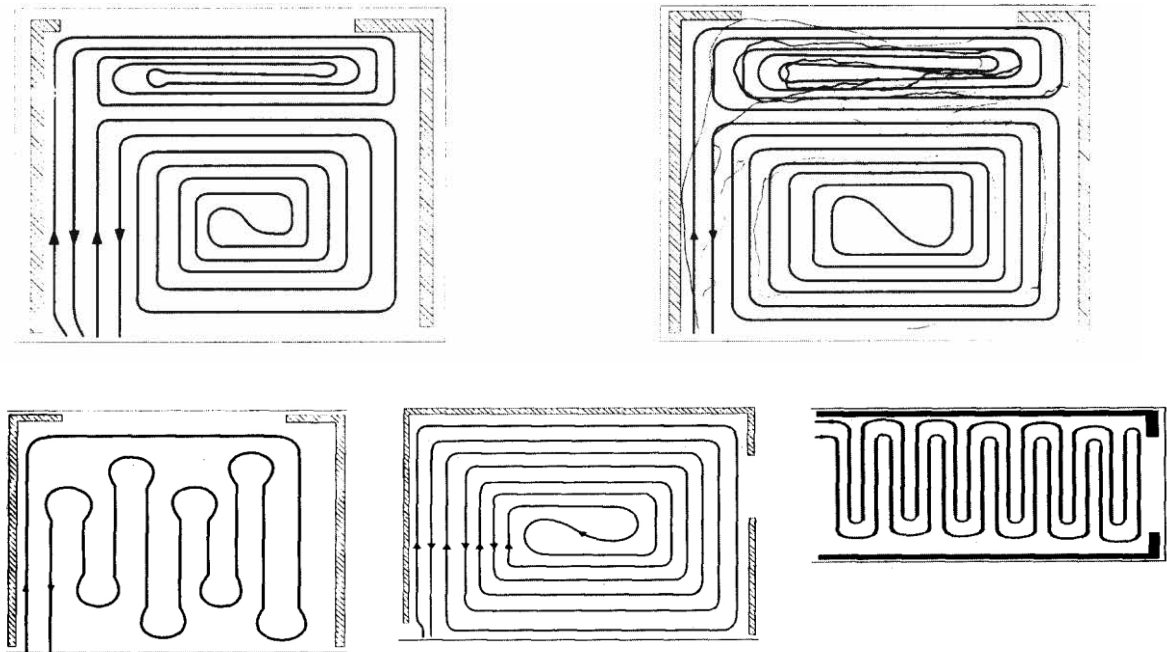


Рис. 5.3. Схеми (форми) укладання труб в гріючому контурі підлогового опалення:

- а) – форма меандру; б) – форма спіралі; в) – форма спіралі для випадку подовжених та вузьких підлог; г) – форма спіралі з граничною зоною за рахунок окремого контуру нагрівання; д) – форма спіралі з граничною зоною за рахунок того самого контуру нагрівання

У випадках, коли системами підлогового опалення обладнані всі приміщення будівлі, а конвекційні опалювальні прилади використовуються періодично для компенсації «пікових» тепловтрат в найбільш холодні години опалювального періоду, можливо проектування всієї системи на знижені температури теплоносія від 55 до 45 °С. В таких системах конвекційні прилади підключаються паралельно підлоговим спіралям і обладнуються відсічною арматурою.

На рис. 5.4-5.6 показані основні конструкції водяної теплої підлоги.



Рис. 5.4. Схема водяної теплої підлоги з кріпленням труб гарпунами до шару теплоізоляції

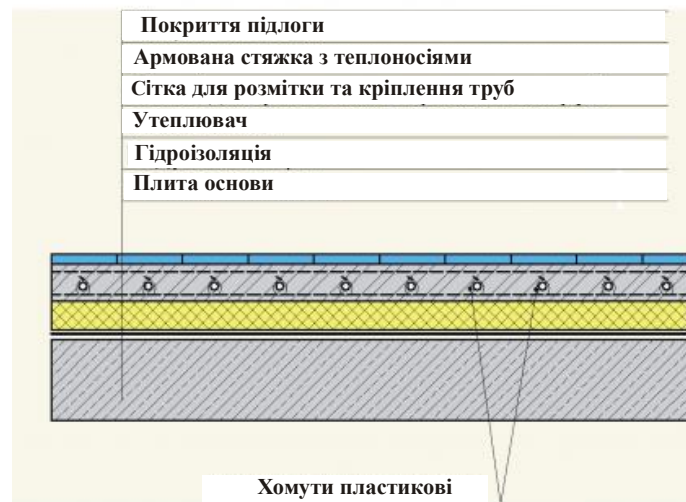


Рис. 5.5. Схема теплої підлоги з кріпленням труб хомутами до арматурної сітки

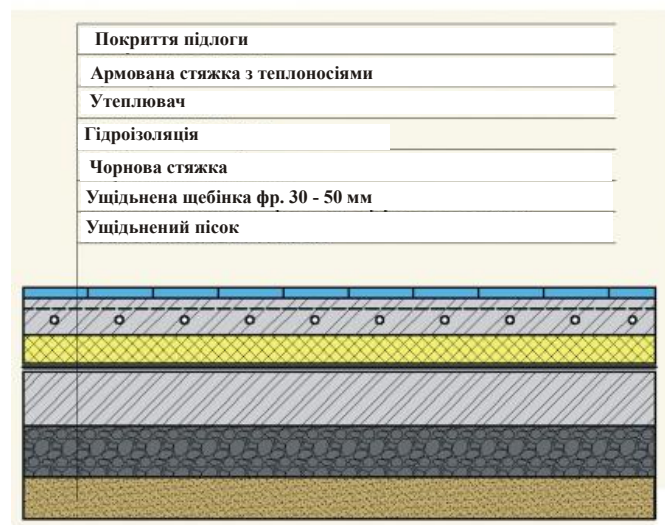


Рис. 5.6. Схема водяної теплої підлоги по ґрунту

Поняття «металопластикові» і «металополімерні» труби в даний час включають в себе досить великий клас полімерних трубопроводів, основна відмінність яких від інших полягає в наявності армуючого прошарку з металевої (як правило, алюмінієвої) фольги між зовнішнім і внутрішнім шаром термопласту. При цьому, в якості матеріалу зовнішнього та внутрішнього шару може використовуватися поліетилен (PE, PEHD), зшитий поліетилен (PEX), термостійкий поліетилен (PERT), поліпропілен (PP-R). Активне використання полімерних труб в Україні почалося з 1997 року, коли були внесені відповідні доповнення в СНиП 2.04.01-85 * «Внутрішній водопровід і каналізація будівель» і СНиП 2.04.05-91 * «Опалення, вентиляція і кондиціювання повітря».

Якщо поліпропіленові й полівінілхлоридні труби в більшій масі застосовуються в каналізаційних мережах, то труби на поліетиленовій основі все активніше витісняють традиційну сталь з внутрішніх систем опалення, холодного і гарячого водопостачання. Ця можливість з'явилася, завдяки розробці технології «зшивання» (PEX-технології) і «зчеплення» (PERT-технології) поліетилену, а також завдяки появі багат шарових металополімерних труб.

Металополімерна труба являє собою п'ятишарову конструкцію (рис. 5.7), що складається з тонкостінної алюмінієвої труби, на яку зсередини й зовні наноситься клейова основа, а потім – "зшитий" поліетилен.

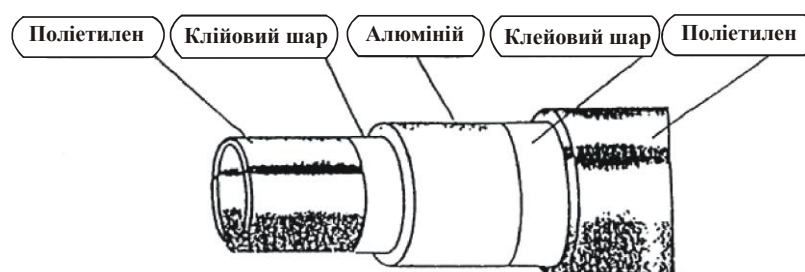


Рис. 5.7. Конструктивна схема металополімерної труби

Металополімерні труби можуть використовуватися в наступних системах [18]:

- господарське та господарсько-питне холодне водопостачання;
- гаряче водопостачання;
- радіаторне опалення при температурі теплоносія не вище 95 ° С;
- водяне підлогове опалення або охолодження («теплі підлоги»; «холодні підлоги»);
- водяне настінне безрадіаторне опалення або охолодження («теплі стіни»;
- «холодні стіни»);
- обігрів відкритих майданчиків, пандусів, сходів, експлуатованих покрівель, атриумів,
- пригаражних території, злітно-посадкових смуг і спортивних майданчиків (у тому числі – футбольних полів);
- обігрів вхідних пандусів промислових холодильних камер;
- ґрунтовий підігрів ґрунту в теплицях, парниках, зимових садах, квітниках і оранжереях;
- обігрів ємкісних споруд (баків запасу води, паливосховищ, станцій біологічного очищення і т.п.);
- трубопроводи ґрунтових теплових насосів;
- обв’язки вентиляційних водяних калориферів і теплових завіс при температурі теплоносія не вище 95 ° С;
- паливопроводи;
- системи поливу;
- технологічні трубопроводів для харчових і нехарчових рідин, в відповідно до таблиці хімічної стійкості.

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ФЕРМЕРСЬКОГО БУДИНКУ

Для системи теплопостачання фермерського будинку в роботі проектується комплексна система теплопостачання на базі двох альтернативних систем: сонячної та теплонасосної (СК + ТН).

Запроектвані режими роботи комплексної система теплопостачання (по сезонах року):

- опалювальний сезон: основне теплогенеруюче обладнання системи теплопостачання будівлі – теплонасосна установка (ТНУ); резервне джерело енергії – електронагрівачі, сонячні колектори;
- перехідні періоди (весна, осінь): основне теплогенеруюче обладнання системи опалення будівлі – сонячні колектори; резервне джерело енергії – теплонасосна установка, електронагрівач;
- неопалювальний сезон (літо): основне теплогенеруюче обладнання системи – сонячна система гарячого водопостачання; теплонасосна установка в комплекті з підлоговим опалення будинку працює в зворотному режимі для природного охолодження; компресор ТН при цьому відключений.

6.1. Термомодернізація фермерського будинку. Визначення теплових втрат будівлі

Результати розрахунків тепловтрат неутепленої будівлі (розділ 1 магістерської роботи) свідчать, що теплозахисний стан існуючих зовнішніх конструкцій (найбільш відповідальних в балансі теплових втрат споруди) не відповідають діючим в Україні нормам з енергозаощадження: відповідний

діючий нормативний показник для кліматичної зони Київської області дорівнює $R_o^{норм} \cong 4$ (м²·К)/Вт, тобто, практично в 5 разів більший за аналогічний показник існуючої житлової будівлі.

Такий теплозахисний стан зовнішніх конструкцій обумовлює, відповідно, й завищений рівень теплової потужності системи опалення споруди в цілому.

Згідно діючих нормативних документів [15], для зовнішніх огороджувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розділяють приміщення, температури повітря в яких відрізняються на 3 °С та більше, обов'язкове виконання умов:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{q \min}, \quad (6.1)$$

$$\Delta t_{пр} \leq \Delta t_{cr}, \quad (6.2)$$

$$\tau_{в \min} > t_{\min}. \quad (6.3)$$

де $R_{\Sigma пр}$ – приведений опір теплопередачі непрозорої огороджувальної конструкції чи непрозорої частини огороджувальної конструкції (для термічно однорідних огороджувальних конструкцій визначається опір теплопередачі), приведений опір теплопередачі світлопрозорої огороджувальної конструкції, м²·К/Вт; $R_{q \min}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огороджувальної конструкції чи непрозорої частини огороджувальної конструкції, мінімальне значення опору теплопередачі світлопрозорої огороджувальної конструкції, м²·К/Вт; $\Delta t_{пр}$ – температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції, °С; Δt_{cr} – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої

поверхні огорожувальної конструкції, °С; $\tau_{\text{вmin}}$ – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, °С; t_{min} – мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього й зовнішнього повітря, °С.

Мінімально допустиме значення, $R_{q \text{ min}}$, опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій і дверей житлових і громадських будинків встановлюється згідно з табл. 6.1 залежно від температурної зони експлуатації будинку.

Питомі тепловитрати на опалення будинків повинні відповідати умові

$$q_{\text{буд}} \leq E_{\text{max}}. \quad (6.4)$$

де $q_{\text{буд}}$ – розрахункові або фактичні питомі тепловитрати; E_{max} – максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку за опалювальний період, кВт·год./м² або кВт·год./м³, що встановлюється згідно з табл. 6.2 залежно від призначення будинку, його поверховості, та температурної зони експлуатації будинку.

Таблиця 6.1

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будинків, $R_{q \text{ min}}$, м²·К/Вт [8]

| Ч.ч. | Вид огорожувальної конструкції | Значення $R_{q \text{ min}}$, м ² ·К/Вт, для температурної зони | |
|------|--|---|------|
| | | I | II |
| 1 | Зовнішні стінові огорожувальні конструкції | 4,00 | 3,50 |
| 2 | Суміщені покриття, що межують із зовнішнім повітрям | 7,00 | 6,00 |
| 3 | Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів), мансард, горищні перекриття неопалюваних горищ | 6,00 | 5,50 |
| 4 | Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям, та над неопалюваними підвалами | 5,00 | 4,00 |
| 5 | Світлопрозорі огорожувальні конструкції | 0,90 | 0,70 |
| 6 | Зенітні ліхтарі | 0,80 | 0,70 |
| 7 | Зовнішні двері | 0,70 | 0,60 |

Таблиця 6.2

Нормативні максимальні тепловитрати багатопверхових будинків,
 E_{\max} , кВт·год/м², [кВт·год/м³]

| № з/п | Вид будівлі (еталонні будівлі) | Граничне значення питомого енергоспоживання будівель при опаленні та охолодженні, E_{p} , кВт·год/м ² [кВт·год/м ³], для температурної зони України | |
|--|------------------------------------|--|--------------------------|
| | | I | II |
| 1 | Будівлі житлові (поверховість): | | |
| | від 1 до 3 | 120 | 110 |
| | від 4 до 9 | 85 | 75 |
| | від 10 до 16 | 75 | 70 |
| | 17 і більше | 70 | 65 |
| 2 | Громадські будівлі (поверховість): | | |
| | від 1 до 3 | $[38\Lambda_{bci} + 15]$ | $[34\Lambda_{bci} + 13]$ |
| | від 4 до 9 | [30] | [25] |
| | 10 і більше | [25] | [20] |
| 3 | Окремі типи громадських будівель: | | |
| 3.1 | Будівлі готельні | $57\Lambda_{bci} + 60$ | $50\Lambda_{bci} + 55$ |
| 3.2 | Будівлі закладів освіти | $[55\Lambda_{bci} + 24]$ | $[52\Lambda_{bci} + 23]$ |
| 3.3 | Будівлі закладів дошкільної освіти | [32] | [28] |
| 3.4 | Будівлі закладів охорони здоров'я | [30] | [26] |
| 3.5 | Будівлі торгівельні | $[33\Lambda_{bci} + 17]$ | $[26\Lambda_{bci} + 15]$ |
| Примітка: | | | |
| Λ_{bci} - коефіцієнт компактності будівлі, м ⁻¹ , знаходиться згідно з ДБН В.2.6-31:2016 "Теплова ізоляція будівель". | | | |

В рамках термомодернізації існуючої будівлі в магістерській роботі приймаються наступні рішення:

- утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій шляхом нанесення теплозахисного покриття на зовнішній поверхні стін; тип утеплювача – пінополістирол, товщина теплозахисного покриття $\delta = 100$ мм. Схема огорожувальної конструкції з нанесенням теплозахисної плити товщиною 100 мм на зовнішню поверхню стіни показана на рис. 6.1;
- заміна старих вікон з подвійним склінням ($R_{скл} = 0,38$ (м²·°С)/Вт) на сучасні термопластикові вікна: подвійний склопакет, відстань

між склом 10 мм, енергозберігальне скло з нанесенням твердого вілзеркалюваного покриття, заповнення повітрям; опір теплопередачі $R_{\text{скл}} = 0,59 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Теплотехнічні характеристики пінополістиролу, який вкладений щільно:

- густина ρ , кг/м³ - 60;
- теплопровідність у сухому стані λ , Вт/(м·К) – 0,004

Розрахунок теплових втрат будівлі після термомодернізації виконувався на ПЕВМ (персональному комп'ютері)

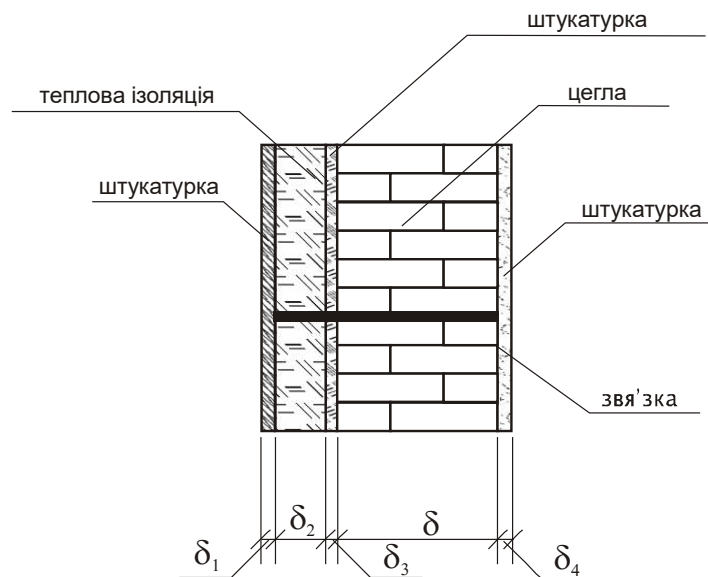


Рис. 6.1. Схема утеплення зовнішньої огорожувальної конструкції:

$$\delta_1 = 15 \text{ мм}; \delta_2 = 100 \text{ мм}; \delta_3 = 10 \text{ мм}; \delta = \sim 400 \text{ мм}; \delta_4 = 15 \text{ мм}$$

Теплотехнічні характеристики та конструктивні особливості зовнішніх стін будівлі після термомодернізації наведені в таблиці 6.3 відомість зовнішніх огорожень – в таблиці 6.4.

Таблиця 6.3

Теплотехнічні характеристики зовнішніх стін житлової будівлі
(після термомодернізації)

| Символ | d , мм | Опис матеріалу | λ , Вт/(м·К) | ρ , кг/м ³ | R , (м ² ·К)/Вт |
|---|----------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| SZ-51 | Стіна зовнішня 51 см | | | | |
| Тип огороження, Стіна зовнішня, вологісний режим нормальний | | | | | |
| Штукатурка-Ц | 0.015 | Штукатурка цементно-вапняна | 0.820 | 1850 | 0.018 |
| Цегла дирчаста | 0.120 | Кладка із цегли дирчастої | 0.620 | 1400 | 0.194 |
| Пінополістірол | 0.100 | Пінополістірол, вкладений щільно | 0.040 | 30 | 3.000 |
| Цегла дирчаста | 0.240 | Кладка із цегли дирчастої | 0.620 | 1400 | 0.387 |
| Штукатурка-Ц | 0.015 | Штукатурка цементно-вапняна | 0.820 | 1850 | 0.018 |
| Опір теплообміну внутр. $R_{в}$: | | | | | 0.130 |
| Опір теплообміну зовн. $R_{н}$: | | | | | 0.040 |
| Опір теплопередачі R : | | | | | 4.08 |
| Коефіцієнт теплопередачі k , (Вт/м ² ·К): | | | | | 0.264 |

Таблиця 6.4

Загальна відомість зовнішніх огорожень житлової будівлі
(після термомодернізації)

| Символ | Опис огороження | K , Вт/(м ² ·К) | F , м ² | $Q_{ог}$, Вт | Вид огороження |
|--------------|---------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------|---------------------------|
| DZ | Двері | 2.500 | 3.6 | 360 | Двері зовнішні |
| OD3 | Вікна, потрійне скління | 2.000 | 13.6 | 1130 | Вікно зовнішнє |
| PGI-P | Підлога на ґрунті I зона в кімнаті 1 | 0.395 | 48.4 | 791 | Підлога на ґрунті I зона |
| PGII-P | Підлога на ґрунті II зона в кімнаті 1 | 0.334 | 13.1 | 53 | Підлога на ґрунті II зона |
| STD-W | Горищне перекриття | 0.235 | 61.5 | 599 | Горищне перекриття |
| SW-30 | Стіна внутрішня 30 см | 0.493 | 53.3 | 0 | Стіна внутрішня 30 см |
| <u>SZ-51</u> | Стіна зовнішня 51 см | 0.264 | 103.1 | 1291 | Стіна зовнішня |

Розрахункова тепла відомість приміщень житлової будівлі (споруда після термомодернізації) приведена в таблиці 6.5

Таблиця 6.5

Теплова відомість приміщень житлової будівлі
(споруда після термомодернізації)

| Символ прим. | Опис приміщення | $T_{вн}$ °С | Q_o Вт | Q_f Вт/м ² | Q_v Вт/м ³ | $Q_{огр}$ Вт | Q_B Вт | N 1/год | V_B м ³ /год |
|--------------|---------------------|----------------|-------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|-------------|--------------|------------------------------|
| 1 | Спальня | 20 | 992 | 76 | 27 | 738 | 194 | 1.0 | 37 |
| 2 | Вітальня | 20 | 1207 | 95 | 34 | 888 | 188 | 1.0 | 36 |
| 3 | Кабінет | 20 | 599 | 77 | 27 | 451 | 115 | 1.0 | 22 |
| 4 | Їдальня | 20 | 1013 | 109 | 39 | 491 | 509 | 2.0 | 52 |
| 5 | Душова | 22 | 573 | 133 | 48 | 307 | 236 | 2.0 | 24 |
| 6 | Коридор | 18 | 940 | 157 | 56 | 772 | 77 | 1.0 | 17 |
| 7 | Технічне приміщення | 18 | 981 | 130 | 47 | 577 | 423 | 2.0 | 46 |

Загальні дані результату розрахунків теплового навантаження та показників енергоефективності житлової будівлі після термомодернізації наведені в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6

Загальні дані результату розрахунків теплового навантаження та показників енергоефективності житлової будівлі (після термомодернізації)

| | | | |
|--|--|-------------------------------------|-------------|
| Назва проекту | Теплове навантаження будівлі (утепленої) | | |
| Розташування | м. Ржищів Київська обл.. | | |
| Кліматична зона..... | 1 | Розрахункова температура, °С | -22 |
| Площа будівлі, м ² | 62 | Об'єм будівлі, м ³ | 172 |
| Розрахункові тепловтрати Q_o , Вт | | | 6405 |
| Витрати тепла на вентиляцію, $Q_{вент}$ | | | 1742 |
| Споживання тепла на 1 м ² поверхні опалення Q_f , Вт/м ² | | | 104,1 |
| Граничне значення питомого енергоспоживання будівель при опаленні та охолодженні, EP_p , кВт×год/м ² для I температурної зони України | | | 120 |
| Різниця в % значення питомих тепловитрат, $q_{буд}$, від максимально допустимого значення, | | | -13 |
| Клас енергетичної ефективності будинку | | | B |

Таким чином, порівняльний аналіз результатів теплового розрахунку будівлі до і після модернізації показує:

- після утеплення зовнішніх стін будівлі пінополістиролом товщиною 100 мм тепловий опір збільшився в ~5 разів і становить величину $R_o^{yt} \approx 4,0 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$, тобто, запропоновані заходи дозволяють довести теплозахисний стан зовнішніх стін до нормативних значень;
- загальне теплове навантаження будівлі після реконструкції (утеплення зовнішніх стін та заміна вікон) зменшилось практично в 2 рази і становить величину **6405 Вт**.

6.2. Тепловий розрахунок системи опалення будівлі

При проектуванні сучасної системи опалення житлової будівлі в магістерській роботі дотримувались таких умов та вимог:

- система опалення виконується комбінованою «радіаторно»-«панельно-променевою»;
- базовий опалювальний прилад приміщень 1-4: система „тепла підлога” на базі сучасного обладнання „KAN-therm” фірми-виробника „KAN” (Польща); базова труба підлогового опалення – поліетиленова KAN-therm труба типу PE-RT (LPE Dowlex) з антидифузійним захистом;
- базовий опалювальний прилад приміщень 5-7: сталевий панельний радіатор типу “RADIK KLASIK” моделі 21500, виробник – фірма „CORADO” (Чехія);
- температурний графік теплоносія:
 - в системі підлогового опалення – 45/35 °С;
 - в системі радіаторного опалення – 60/40 °С;
- система опалення проектується двотрубною з горизонтальними гілками;
- циркуляція теплоносія в системі опалення – примусова, насосна;

- кожний опалювальний прилад оснащений радіаторними термостатичними клапанами (РТК);
- приготування теплоносія для системи підлогового опалення здійснюється в контурі насосного змішування з чотирьоходовим автоматичним клапаном;
- підключення окремих нагрівальних контурів підлогового опалення – через колекторні розподільвачі типу KAN-therm серії 75A.

План розташування опалювальних приладів кожного приміщення показаний на рис. 6.2.

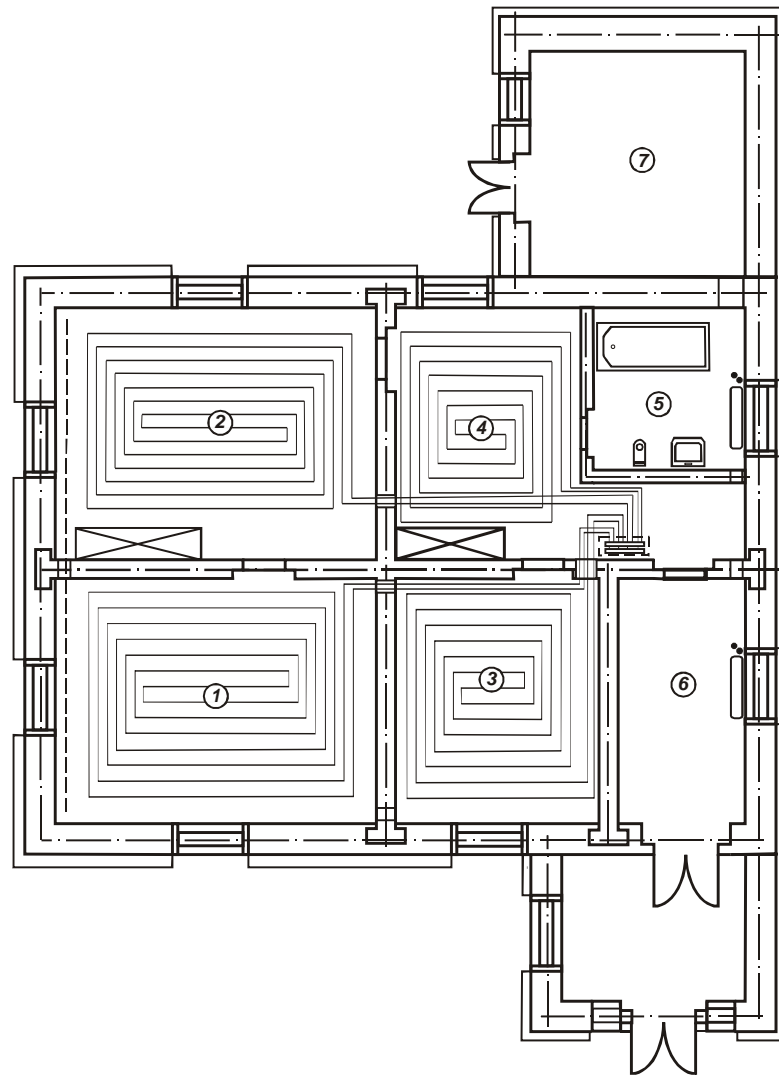


Рис. 6.2. План розташування опалювальних приладів приміщень

Теплотехнічні характеристики підлогових опалювальних приладів системи опалення приведені в таблиці 6.7.

Результати теплового розрахунку системи опалення житлової будівлі після модернізації наведені в наступних таблицях:

- теплотехнічні характеристики підлогових опалювальних приладів – таблиця 6.8;
- теплотехнічні характеристики сталевих панельних радіаторів – таблиця 6.9;

Таблиця 6.7

Конструктивні характеристики підлогових опалювальних приладів

| Символ | d , м | Опис матеріалу | λ , Вт/(м·К) | ρ , кг/м ³ | R , (м ² ·К/Вт) |
|--|---------|---|----------------------|----------------------------|------------------------------|
| GP-ТЕРАКОТА Підлоговий опалювальний прилад - теракота | | | | | |
| Розташування: на ґрунті | | | | | |
| ТЕРАКОТА | 0.005 | Теракота – керамічна неглазурована плитка з пористої кольорової глини | 1.050 | 2000 | 0.005 |
| БЕТОН-1900 | 0.050 | Бетон тяжкий, заповнення з природного каміння | 1.000 | 1900 | 0.050 |
| Символ труб: CAN-PEX; d_{min} : 14 мм; d_{max} : 20 мм; L_{max} : 120 м; B_{min} : 0.100 м; B_{max} : 0.250 м; $B_{\text{вим}}$: 0.050 м | | | | | |
| NP | 0.005 | Плитка монтажна NP до підлогового опалення | | | 0.010 |
| POL-BT-ZH | 0.060 | Плити POLMIN BT-ZH із мінеральної вати | 0.040 | 145 | 1.500 |
| КОН-DZ3-26 | 0.260 | Конструкція стіни-панелі DZ3 товщиною 26 см | | | 0.280 |

Таблиця 6.8

Розрахункові теплотехнічні характеристики підлогових опалювальних приладів

| Приміщення | Тип опалювального приладу | F_o [м ²] | L_o [м] | B [м] | T_f [°C] | $Q_{\text{рас}}$ [Вт] | $Q_{\text{он}}$ [Вт] | d_n [мм] |
|------------|---------------------------|-------------------------|-----------|---------|------------|-----------------------|----------------------|------------|
| 1 | GP-ТЕРАКОТА | 14.5 | 58.2 | 0.250 | 26.31 | 992 | 984 | 14 |
| 2 | GP-ТЕРАКОТА | 14.6 | 73.0 | 0.200 | 27.50 | 1207 | 1195 | 16 |
| 3 | GP-ТЕРАКОТА | 9.8 | 32.8 | 0.300 | 25.69 | 599 | 594 | 14 |
| 4 | GP-ТЕРАКОТА | 7.8 | 78.0 | 0.100 | 30.46 | 1013 | 920 | 16 |

Таблиці 6.9

Розрахункові теплотехнічні характеристики сталевих панельних радіаторів

| Приміщення | Тип опалювального приладу | n [ел.] | L [м] | Q_{TP} [Вт] | Q_{pea} [Вт] | t_p [°C] |
|------------|---------------------------|---------|-------|---------------|----------------|------------|
| 7 | RADIK 208-90 | 14 | 1.40 | 1032 | 1034 | 59.73 |
| 5 | RADIK 208-90 | 8 | 0.80 | 551 | 550 | 59.42 |
| 6 | RADIK 208-90 | 14 | 1.40 | 931 | 929 | 59.02 |

6.3. Система сонячного гарячого водопостачання цілорічної дії фермерського будинку

В якості базового геліоколектора ССГВ прийнятий вакуумований трубчастий колектор типу Vitosol-300, (VIESSMANN, Німеччина).

Потужний колектор Vitosol 300-TM належить до найбільш ефективних моделей, присутніх на ринку. Він особливо вартий застосування в умовах обмеженого простору для монтажу. Завдяки індивідуальному налаштуванню позиції кожного абсорбера на ± 25 градусів, навіть при не надто вигідному розташуванні колектора відносно Сонця можна досягти продуктивності, вищої за середню.

- Високоєфективний вакуумний трубчастий колектор, що використовує принцип "теплової труби", з системою захисту від перегріву ThermProtect для високої надійності в роботі
- Захист від перегріву при тривалій дії сонячного проміння
- Тривалий строк служби завдяки низьким температурам стагнації та роботі без закипання
- Нечутливі до забруднення, інтегровані у вакуумні трубки абсорбційні поверхні з високоселективним захисним шаром
- Ефективна теплопередача через конденсатори, оточені з усіх боків подвійними мідними трубками теплообмінника Duotec

- Оптимальна орієнтація на Сонце завдяки зручному розташуванню абсорбера
- Суха обв'язка: немає прямого контакту між теплоносієм геліосистеми та теплоносієм в абсорбері, тобто при заповненій системі можна здійснювати заміну окремих трубок
- Корпус колектора і абсорберні трубки темно-синього кольору стильно виглядають разом
- Високоєфективна ізоляція основного корпусу мінімізує втрати тепла
- Простий і швидкий монтаж завдяки монтажно-з'єднувальній системі Viessmann

Вакуумованні трубчасті колектори з тепловою трубою типу Vitosol-300 випускаються в двох модифікаціях:

- Н20, які виконані з 20 високовакуумованих скляних трубок;
- Н30, які виконані з 30 високовакуумованих скляних трубок.

Трубчаста форма надає геліоколектору високу стабільність. Додаткове вакуумування трубок не потрібне. Трубки довготерміновано герметизовані.

Вакуум забезпечує в скляних трубках оптимальну теплоізоляцію, практично повністю виключаються втрати на конвекцію між скляною трубкою і поглиначем. Це дозволяє використовувати навіть слабке дифузійне випромінювання.

В кожному вакуумовану трубку вбудований мідний поглинач з геліотитановим покриттям, який гарантує високий рівень поглинання сонячної енергії і малу емісію теплового випромінювання.

На поглиначі встановлена теплова труба (двофазний термосифон), яка заповнена рідиною, що випаровується. За допомогою гнучкого з'єднального елемента теплова труба під'єднується до конденсатору, який знаходиться в теплообміннику типу „труба в трубі”. З'єднання відноситься до т.з. „сухому”

типу, що дозволяє повертати або замінювати труби і при заповненій установці, яка знаходиться під тиском.

Теплота передається поглиначем теплової труби, що викликає випаровування робочої рідини термосифону. Пара, яка утворюється, надходить до конденсатора. В теплообміннику типу „труба в трубі”, де знаходиться конденсатор, теплота передається теплоносію, при цьому відбувається конденсація пари. Конденсат повертається до теплової труби і процес повторюється.

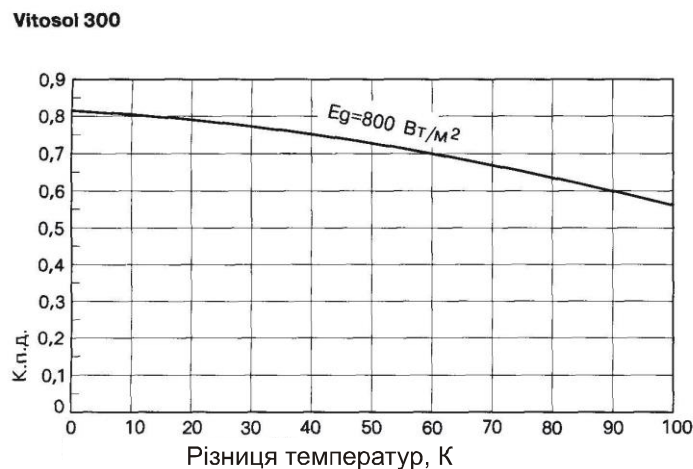


Рис. 6.3. Залежність ККД колектора Vitosol-300 від різниці температур

Таблиця 6.10

Теплотехнічні характеристики сонячного колектору з двофазними термосифонами VITOSOL 300, (VIESSMANN)

| Параметр | Од. вим-ня | Тип колектору | |
|---------------------------|---------------|---------------|-------|
| | | H20 | H30 |
| Довжина | мм | 2028 | 2028 |
| Ширина | мм | 1440 | 2149 |
| Коефіцієнт теплових втрат | – k | 1,19 | 1,19 |
| | – k_2 | 0,009 | 0,009 |
| Оптичний ККД η_0 | % | 82,5 | 82,6 |
| Об'єм теплоносія | л | 1,38 | 2,20 |

Геліоколектори типу Vitosol-300 можуть об'єднуватись в панель із загальною площею до 6 м².

Вихідні дані для розрахунку сонячної системи гарячого водопостачання (ССГВ):

- споживач гарячої води – житлова будівля;
- кількість мешканців $N = 4$;
- географічна широта, град. п.ш., – 50;
- температура холодної води в періоди року $t_x, ^\circ\text{C}$,:
 - жовтень ... березень – 5;
 - квітень ... вересень – 15;
- температура гарячої води в точках розбору $t_r, ^\circ\text{C}$, – 55;
- теплова схема активної ССГВ – двоконтурна;
- тип теплообмінника – ємнісний бойлер;
- тип колектору сонячної енергії: VITOSOL 300 VITOSOL 300 (VIESSMANN) ;з двофазними термосифонами;
- місце розміщення колектору сонячної енергії – на даху будівлі;
- кут нахилу колектору до горизонту, град, – 35;
- орієнтація колектора по сторонах світу – південна;
- тривалість роботи ССГВ на протязі року – цілорічна;
- вид теплоносія:
 - в контурі сонячних колекторів – антифриз;
 - в контурі теплового акумулятора – вода;
- циркуляція теплоносія в нагрівальному контурі ССГВ – примусова;
- резервне джерело теплової енергії: тепло насосна установка з ґрунтовим зондом;

Згідно рекомендацій виробника, ККД колектора визначається за формулою:

$$\eta = \eta_o - k_1 \cdot \frac{\Delta T}{E_g} - k_2 \cdot \frac{\Delta T^2}{E_g}, \quad (6.5)$$

де η_o – оптичний ККД, %; k_1, k_2 – коефіцієнти теплових втрат, Вт/(м²·К), Вт/(м²·К²); ΔT – різниця температур між колектором та зовнішнім середовищем, °С.

Середньомісячна добова сумарна кількість сонячної енергії, яка надходить до похилої поверхні сонячного колектору, $E_{\kappa}^{\text{доб}}$, МДж/(м²·доб), розраховується за формулою

$$E_{\kappa}^{\text{доб}} = R \cdot E, \quad (6.6)$$

де E , МДж/(м²·доб) – середньомісячна добова сумарна кількість сонячної енергії, яка надходить до горизонтальної поверхні; R – відношення середньомісячних добових кількостей сонячної енергії, які надходять до похилої та горизонтальної поверхонь.

Для похилої поверхні з південною орієнтацією величину R слід визначати таким чином

$$R = \left(1 - \frac{E_d}{E}\right) \cdot R_n + \frac{1 + \cos\beta}{2} \cdot \frac{E_d}{E} + \rho \cdot \frac{1 - \cos\beta}{2}, \quad (6.7)$$

де E_d , МДж/(м²·доб) – середньомісячна добова кількість дифузійної сонячної енергії, яка надходить до горизонтальної поверхні; R_n – коефіцієнт перерахунку прямого випромінювання з горизонтальної на похилу поверхню;

β – кут нахилу колектора до горизонту; ρ – коефіцієнт відбивання для поверхні Землі; $\rho = 0,2$ влітку і $\rho = 0,7$ взимку.

Площу поглинальної поверхні сонячного колектора A , m^2 , для заданої середньодобової теплової потужності системи гарячого водопостачання $Q_{2.6}$ при наявності резервного джерела теплоти слід розраховувати за формулою :

$$A = \frac{Q_{2.6}}{\eta \cdot R \cdot E}, \quad (6.8)$$

де η – К.К.Д. установки сонячного гарячого водопостачання. К.К.Д. установки визначаємо за формулою (6.5).

Результати розрахунків площі поглинальної поверхні сонячного колектора типу Vitosol 300 з тепловими трубами – двофазними термосифонами) наведені в таблиці 6.11

Таблиця 6.11

Результати розрахунків площі поглинальної поверхні сонячного колектору типу Vitosol 300 (VISSMANN) з двофазними термосифонами

| Пара метр | Од. вим | I | II | III | IV | V | VI |
|------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $t_{\text{сеп}}$ | °C | -6,1 | -5,6 | -0,7 | 7,2 | 14,3 | 17,6 |
| Δt | °C | 66,1 | 65,6 | 60,7 | 52,8 | 45,7 | 42,4 |
| η | – | 0,656 | 0,658 | 0,659 | 0,660 | 0,660 | 0,660 |
| A | m^2 | 15,75 | 9,08 | 6,29 | 4,91 | 3,29 | 2,85 |

| Пара метр | Од. вим | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $t_{\text{сеп}}$ | °C | 18,8 | 17,7 | 13,7 | 7,2 | 1 | -1,7 |
| Δt | °C | 41,2 | 42,3 | 46,3 | 52,8 | 59 | 61,7 |
| η | – | 0,660 | 0,660 | 0,660 | 0,660 | 0,656 | 0,655 |
| A | m^2 | 3,08 | 3,35 | 3,81 | 7,25 | 16,92 | 21,68 |

Середня за період дії ССГВ (за рік) значення площі поглинальної поверхні геліоколектора складає величину $A = 5,46 m^2$.

На основі аналізу даних таблиці з урахуванням терміну роботи ССГВ на протязі року приймаємо:

сонячний колектор Vitosol 300 (VIESSMANN) типу SP3C 2 шт.

Загальна площа поглинача – 5,83 м²;



Рис 6.4 Загальний вигляд колектора Vitosol 300

Визначення терміну окупності впровадження ССГВ

Місячна доля сонячної енергії в покритті теплового навантаження на гаряче водопостачання (ступінь заміщення палива) дорівнює:

$$f = \frac{Q_c^{mic}}{Q_n^{mic}} = \frac{Q_n^{mic} - Q_{PD}^{mic}}{Q_n^{mic}} = 1 - \frac{Q_{PD}^{mic}}{Q_n^{mic}}, \quad (6.9)$$

де Q_n^{mic} , Q_c^{mic} , Q_{PD}^{mic} , МДж/міс – місячні величини теплового навантаження, теплоти, яка забезпечується сонячною і додатковою енергією.

Кількість теплоти $Q_{уст}$, ГДж, що вироблена геліоустановкою за рік, визначаємо за формулою:

$$Q_{уст} = A \cdot \left(\sum_{i=1}^n \eta_p^i \cdot E_k^i \right), \quad (6.10)$$

де η_p – ККД установки;

Результати розрахунків теплопродуктивності геліоустановок сонячними колекторами наведені відповідно в таблицях 6.12.

Таблиця 6.12

Результати розрахунків теплопродуктивності геліоустановки з сонячним колектором типу Vitosol 300 (VIESSMANN)

| Параметр | Од. вим. | I | II | III | IV | V | VI |
|----------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $Q_{уст}$ | МДж/міс | 828 | 1347 | 2082 | 2586 | 3189 | 3557 |
| $f_{зам}$ | – | 0,242 | 0,420 | 0,608 | 0,780 | 1,163 | 1,341 |
| Параметр | Од. вим. | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| $Q_{уст}$ | МДж/міс | 3411 | 3136 | 2663 | 1808 | 746 | 601 |
| $f_{зам}$ | – | 1,244 | 1,144 | 1,004 | 0,528 | 0,225 | 0,175 |
| $Q_{уст}$ за рік, ГДж | | | | | | | 36,0 |
| $f_{зам}$, середнє за рік | | | | | | | 0,6 |
| Зекономлене паливо B , т. у.п. | | | | | | | 1,39 |

Кількість зекономленого за рік умовного палива завдяки використанню сонячної радіації B , т.у.п.:

$$B = \frac{0,0342 \cdot Q_{уст}}{\eta_{зам}}, \quad (6.11)$$

де $Q_{уст}$, ГДж – сумарна кількість теплоти, яка вироблена установкою за рік;

$\eta_{зам}$ – К.К.Д. котельного агрегату; $\eta_{зам} = 0,9$.

Для умов проектування маємо:

$$B = 1,39 \text{ т у.п.};$$

Оцінку терміну окупності проведемо для геліосистеми з резервним джерелом теплової енергії – водогрійним газовим котлом при таких умовах.

Сумарна вартість обладнання ССГВ: $75800 \times 2 = 151600$ грн грн.

при перерахунку палива в тони умовного слід керуватися таким коефіцієнтом перерахунку: газ нафтопереробних підприємств, сухий: 1 тис. $\text{м}^3 = 1,5$ т.у.п.;

Кількість зекономленого природного газу внаслідок впровадження ССГВ при резервному джерелі теплоти – газовому водогрійному котлі складає величину: 1,39 т.у.п.; $\times 1,5 = 2,085$ тис. м^3 .

Річна економія дорівнює: $2085 \times 8 = 16680$ грн.

Таким чином, термін окупності впровадження геліосистеми (для умов проектування) складає величину:

$$\frac{151600}{16680} \sim 9,0 \text{ років,}$$

тобто впровадження ССГВ є привабливим інвестиційним проектом.

6.4. Теплонасосна установка КАСТ

Основні технічні рішення, які приймаються в магістерській роботі при розробці ТНУ:

- базовий теплогенератор – тепловий насос типу “розсіл-вода”;
- джерело низькопотенційної теплоти – земляний зонд;
- режим роботи теплового насосу – моноенергетичний;
- пікове тепловантаження системи тепlopостачання при зниженні зовнішньої температури нижче бівалентної точки (-5°C) підтримується електричним нагрівачем, який інтегрований в схему теплового насосу;
- система опалення будівлі – комбінована “тепла підлога – радіаторна”;
- температурний режим в системі опалення:

- в системі “тепла підлога” – 45/35 °С;
- в радіаторній системі – 60/40 °С;
- приготування гарячої води – в зовнішньому ємнісному бойлері з додатковим піковим електронагрівачем.

Визначення теплової потужності теплового насосу

В даній магістерській роботі прийнятий моноенергетичний режим роботи теплового насосу.

Для покриття енергетичних піків навантаження тепловий насос оснащується додатковим електричним підігрівачем, який може підтримувати опалення і, по можливості, приготування гарячої витратної води.

Для визначення параметрів теплового насосу, в моноенергетичному режимі роботи, необхідно знати: режим роботи (вільний, вільний з відімкненням в години максимального навантаження електричної мережі, акумуляційний, з акумулюванням теплоти в години нічного зниження навантаження електричної мережі) теплового насоса, теплові втрати будівлі на опалення та прибавку на приготування гарячої води (в залежності від кількості жителів).

Згідно розрахунків, які виконані в підрозділі 6.2 магістерської роботи, потужність системи опалення об’єкту після реконструкції огорожувальних конструкцій складає величину

$$Q_o = 6,41 \text{ кВт.}$$

Розрахункова потужність теплового насоса

$$Q_{\text{THY}} = Q_o = 6,41 \text{ кВт.}$$

В якості базового обладнання приймаємо теплонасосне устаткування типу VITOCAL 300-G BW: тепловий насос “ґрунт-вода” «VISSMANN » (Німеччина) [25].

Компактний тепловий насос типу “ґрунт-вода” Viessmann VITOCAL 300-G

Температура подачі до +65°C

Особливості теплових насосів VITOCAL 300-G BWC:

Інвертор компресору для регулювання потужності

Високий коефіцієнт ефективності COP (Coefficient of performance) до 5,0 (при умовах: розсіл 0°C, вода 35°C)

Іноваційна система RCD-system (Refrigerant Cycle Diagnostic System) для діагностики роботи холодильного модуля

Електронний терморегулюючий вентель EEV

Можливість управління одним опалювальним контуром без змішувача і двома опалювальними контурами зі змішувачем

Низький рівень шуму і вібрацій, 33-46 dB(A)

Габаритні розміри (ДхШхВ), мм: 680x600x975

Низькі експлуатаційні витрати завдяки макси-мальній продуктивності в кожній робочій точці

Простий в управлінні контролер Vitotronic 200, тип W01C, для режиму погодозалежної теплогенерації

Регулятор VITOTRONIC 200 тип W01C

Цифровий регулятор для погодозалежного програмного управління тепловим насосом з датчиком температури зовнішнього повітря

Графічний дисплей з текстовим меню, інтуїтивно зрозуміле управління

Режим автоматичного приготування гарячої води

Можливість управління одним опалювальним контуром без змішувача і двома опалювальними контурами зі змішувачем (другий контур зі змішувачем (МЗ) – через модуль розширення)

Управління додатковим котлом (резервне/пікове джерело тепла)

Управління електричним проточним нагрівачем теплоносія

Функції охолодження «natural cooling»

Функція нагріву басейну

Можливість комунікації з Vitocom 100 або Vitosconnect OPTO2 для дистанційного керування через інтернет зі смартфона чи планшета

Система розрахунку річного коефіцієнта ефективності / розрахунок енергетичного балансу

Таблиця 6.13

Теплонасосне устаткування типу VITOCAL 300-G BW

| Параметр | BW104 | BW106 | BW108 | BW110 | BW113 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Номінальна теплова потужність, кВт | 4,8 | 6,4 | 8,3 | 10,8 | 14 |
| Номінальна електрична потужність, кВт | 1,1 | 1,4 | 1,8 | 2,4 | 3,05 |
| Коефіцієнт перетворення енергії (коефіцієнт потужності) | 4,36 | 4,57 | 4,61 | 4,5 | 4,59 |

Для системи тепlopостачання проектного фермерського будинку приймаємо тепловий насос VITOCAL 300-G BW-106 : (Німеччина), теплової потужності 6,4 кВт.

Строк окупності впровадження теплового насосу для опалення житлового будинку розрахуємо згідно методиці, яка викладена в [28].

Строк окупності додаткових капітальних витрат визначається, як правило, у результаті техніко-економічного розрахунку, що виконується на основі проектних пророблень об'єкта, на якому передбачається використання теплового насоса.

Економія експлуатаційних витрат на енергоносії E , грн./рік, при застосуванні теплового насоса може бути обчислена по формулі

$$E = q \cdot \left(\frac{T_T}{\eta} - \frac{T_E}{\varepsilon} \right), \quad (6.11)$$

де q – кількість кВт·год. теплової енергії, яка необхідна для опалення будинку протягом одного опалювального періоду; T_E – тариф на електричну енергію; T_T – тариф на один із традиційних енергоносіїв; ε – коефіцієнт перетворення теплового насоса; η – коефіцієнт корисної дії традиційного генератора тепла

Величину q можна визначити за формулою:

$$q = \frac{10^{-3} \cdot 24 \cdot N \cdot S}{t_b - t_z}, \quad (6.12)$$

де N – теплова потужність, Вт, опалювальної системи; S – число градусо-днів опалювального періоду; $t_b - t_z$ – розрахункова різниця температур внутрішнього й зовнішнього повітря.

Для Київської обл. $S = 3572$ градусо-днів, внутрішня температура приміщення $t_b = 18$ °С, середня температура опалювального сезону $t_z = -0,6$ °С

Тоді
$$q = \frac{10^{-3} \cdot 24 \cdot 6,4 \cdot 3572}{18 + 0,6} = 29,44$$

К, грн. – одноразові капітальні витрати на придбання й установку теплового насоса – можуть бути попередньо оцінені як його ринкова вартість $K = 232$ тис. грн

Простий строк окупності C , років, може бути визначений за формулою:

$$C = \frac{K}{E} = \frac{K}{q \cdot \left(\frac{T_T}{\eta} - \frac{T_E}{\varepsilon} \right)}. \quad (6.13)$$

При діючих тарифах на енергоносії в Україні на 2024 рік, а саме: $T_T = 1,42$ грн./кВт год; $T_E = 4,32$ грн./кВт·год строк окупності впровадження теплової помпи для будівлі, що проектується:

$$C = \frac{K}{E} = \frac{232}{29,44 \cdot \left(\frac{1,42}{0,9} - \frac{4,32}{4,3} \right)} = 13 \text{ років.}$$

6.4. Принципова тепла схема системи тепlopостачання фермерського будинку на базі «СК – ТН»

В підрозділі приводяться результати розробки принципової теплової схеми комплексної альтернативної системи тепlopостачання фермерського будинку на базі «СК – ТН» (рис. 6.4).

В розробленій схемі комплексної альтернативної системи тепlopостачання фермерського будинку на базі «СК – ТН» можна виділити такі основні функціональні контури:

- I – контур сонячних колекторів Vitosol 300 типу H20 (20 теплових трубок) – 2 шт., загальна площа поглинача – 5,83 м²;
- II – контур теплового насосу типу; VITOCAL 300-G BW-106 фірма-виробник – «VISSMANN» (Німеччина), тепла потужність 6,4 кВт;
- III – контур земляних зондів ТНУ;
- IV – буферний накопичувальний бак системи опалення;
- V – ємнісний бак ГВП; об'єм – 0,4 м³;
- VI – станція пасивного охолодження (функція "природного охолодження");
- VII – контур системи підлогового опалення.

Приготування гарячої води здійснюється за пріоритетної дії сонячної радіації. ССГВ повністю задовольняє потреби в гарячій воді в період з квітня по жовтень. В інші пори року додатковим джерелом енергії є тепловий насос.

Радіаційна панель геліосистеми складається з двох колекторів типу Vitosol 300 з тепловими трубками: тип Н20 - 2 шт. із загальною площею поверхні поглинання 5,83 м², з'єднаних паралельно. Колекторна панель монтується на даху будівлі, орієнтація сторін світу - південь, кут нахилу колекторної панелі до горизонту - 35 градусів.

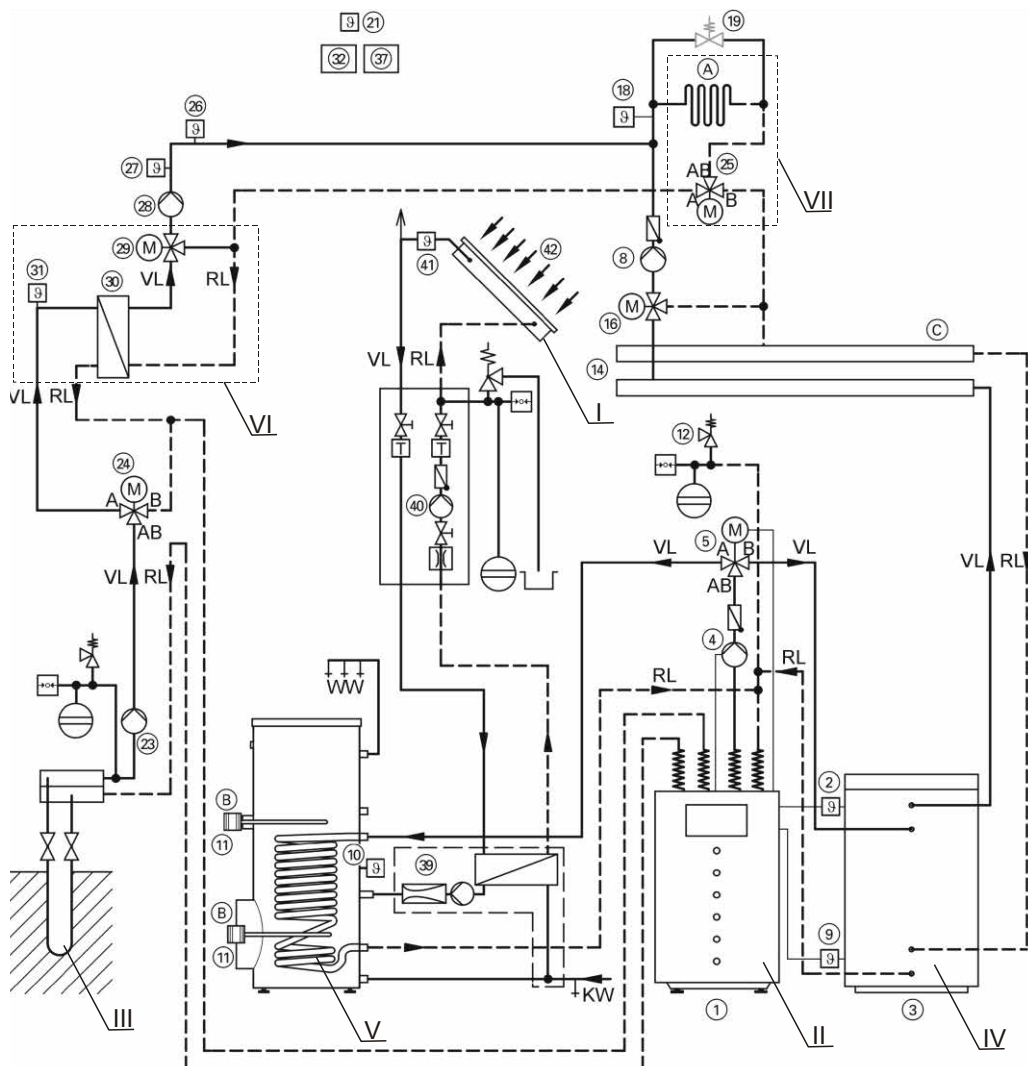


Рис. 6.5. Принципова тепла схема комплексної альтернативної системи тепlopостачання фермерського будинку на базі «СН – ТП»

На рис. 6.5: I – контур сонячних колекторів Vitosol 300 Н 20; II – контур теплового насосу типу Logatherm WPS-9; III – контур земляних зондів ТНУ; IV – буферний накопичувальний бак системи опалення; V – ємнісний бак ГВП; VI – станція пасивного охолодження (функція "природного охолодження"); VII – контур системи підлогового опалення;

A – контур зі змішувачем 2 (контур стосується систем опалення); B – альтернативно вгорі чи вниз; C – можливо підключення другого опалювального контуру (без змішувача, з насосом опалювального контуру, підключеним монтажною організацією); KW – трубопровід холодної води; RL – зворотна магістраль; VL – подавальна магістраль; WW – трубопровід гарячої води;

1 – тепловий насос Vitocal 300; 2 – датчик для реєстрації температури в буферній ємності нагрівального контуру (верхній); 3 – буферна ємність нагрівального контуру Vitocell 100-E, тип SVP; 4 – вторинний насос (1 - Wilo RS 25-70R, - Grundfos UPS 25-60); 5 – триходовий перемикаючий клапан опалення/гарячої води; 6 – ємнісний водонагрівач Vitocell 100-V, тип CVW (обсяг 390 л); 8 – модульний регулятор опалювального контура Divicon з триходовим змішувачем і насосом опалювального контуру зі змішувачем 2; 9 – датчик для реєстрації температури в буферній ємності нагрівального контуру (нижній); 10 – датчик температури ємнісного водонагрівача для реєстрації температури води в контурі водорозбору ГВП; 11 – електронагрівач (1 - електронагрівальна вставка для монтажу вгорі; 2 - електронагрівальна вставка для монтажу вниз); 12 – група безпеки із збіркою запобіжних пристроїв; 13 – допоміжний контактор для активації електронагрівальної вставки; 14 – розподільний колектор модуля Divicon; 16 – сервопривід змішувача, контур із змішувачем 2; 18 –

датчик температури подачі, контур із змішувачем 2 (опалювальний контур); 19 – пропускний клапан 2 при використанні модуля Divicon; 20 – можливість підключення комплекту для переналадження на режим трифазного відключення енергопостачальною організацією; 21 – датчик зовнішньої температури;

Функція "природного охолодження":

23 – первинний насос; 24 – триходовий перемикаючий клапан опалення / охолодження; 25 – триходовий перемикаючий клапан опалення / охолодження; 26 – навісний датчик вологості "природного охолодження"; 27 – датчик температури подачі системи охолодження; 28 – циркуляційний насос контуру охолодження (контур із змішувачем 1); 29 – змішувач для контуру охолодження (контур із змішувачем 1); 30 – теплообмінник системи охолодження; 31 – регулятор температури захисту від замерзання; 32 – пристрій дистанційного керування з датчиком температури приміщення; 33 – допоміжний контактор для активізації системи охолодження

Приготування гарячої води геліоустановки:

37 – Vitosolic 100; 38 – датчик температури ємнісного водонагрівача (геліоустановки); 39 – теплообмінний агрегат геліоколектору; 40 – циркуляційний насос контуру геліоустановки (Solar-Divicon); 41 – датчик температури колектора; 42 – геліоколектор

Нагрівання води в системі відбувається в накопичувальному водонагрівачі (6) Vitocell 100-V, тип CVW (об'єм 390 л);

Циркуляція теплоносія в замкнутому контурі геліосистеми здійснюється за допомогою циркуляційного насоса типу UPS 25-60 (Grundfos) геліонасосного агрегату (40) типу Solar-Division P10, споживаною потужністю $N = 45$ Вт; витрата $V = 0,35$ м³ / год; напір $H = 2,2$ м.с.п. Геліонасосна установка включає: (геліоустановки); - проміжний теплообмінний вузол (39), а також датчик температури накопичувального

водонагрівача (38), допоміжну арматуру, теплоізоляцію подаючого і зворотного трубопроводів геліосистеми, станцію дистанційного керування насосами.

Надійне та безпечне функціонування геліосистеми забезпечується встановленням відповідного (узгодженого з тепловими та гідравлічними параметрами системи) обладнання: розширювального мембранного бака, запобіжного клапана тощо.

Контур теплонасосної установки системи тепlopостачання фермерського будинку виконаний на базі теплового насосу типу «розсіл-вода» VITOCAL 300-G BW-106 фірма-виробник – «VISSMANN» (Німеччина), тепла потужність 6,4 кВт.

Джерелом низькопотенційної теплоти для ТНУ вибраний земляний зонд з двох подвійних U-образних петель з полімерного трубопроводу в одній свердловині. Всі проміжки між трубами і ґрунтом заповнюються матеріалом з хорошою теплопровідністю (бетону).

Охолоджений теплоносій з домішкою антифризу (розсіл) перетікає до нижньої точки і потім назад до випарника теплового насоса.

При цьому він поглинає тепло. Досвід показує, що питомий тепловий потік значною мірою не стабільний і становить від 20 до 100 Вт/м довжини зонда.

Можливий питомий відбір потужності для земляних зондів (подвійних U-подібних трубчастих зондів) при середньому відборі потужності q складає $E = 50$ Вт/м зонда при 2000 годинах роботи.

Згідно рекомендацій фірми-виробника [14], для об'єкта проектування вибираємо земляний зонд з параметрами:

- довжина зонда – 85 м;
- кількість зондів – 2 (два);
- тип труби зонду – металопластикові PE 32 x 2,9;
- об'ємні витрати первинного теплоносія – 2700 л/год.;
- кількість розподільвачів для розсолу – 1 (один).

Теплоносії подається в систему опалення з буферної ємності (3) опалювального контуру Vitocell 100-E типу SVP. Температура у верхній частині буферної ємності контуру опалення фіксується датчиком (2). Температура в нижній частині буферної ємності контуру опалення вимірюється датчиком (9).

Циркуляція теплоносія в розподільних трубах системи опалення здійснюється модульним регулятором опалювального контуру Divicon (8) з триходовим змішувачем і насосом опалювального контуру зі змішувачем.

Управління роботою ТНУ здійснюється модульною цифровою мікропроцесорною системою управління Vitotronic 200, тип WO1C яка встановлюється в тепловий насос і входить в його базову комплектацію.

Функціональні можливості системи: рідкокристалічний дисплей з текстовою індикацією; керує тепловими насосами для опалення та охолодження; режими роботи: бівалентний альтернативний, бівалентний паралельний, моновалентний або моно енергетичний; забезпечення умов експлуатації та захисних функцій теплового насоса управління підключеним безпосередньо опалювальним контуром без виконавчого органу, а також додатковим опалювальним контуром із змішувачем; управління двома додатковими опалювальними контурами з виконавчим органом або без нього через модуль змішувача; регулює процес приготування гарячої води, за бажанням з підтримкою від електронагрівача; приготування гарячої води для ГВП одночасно з опалювальним контуром; приготування гарячої води на вибір в пріоритетному або паралельному режимі.

Необхідні умови функціонування розробленої схеми системи теплопостачання

При впровадженні системи підлогового опалення обов'язково наявність контуру із змішувачем. Для догрівання води в контурі водорозбору ГВП використовуються електронагрівачі 9 або 15.

Накладні датчики температури 2 і 7 для реєстрації температури в буферній ємності нагрівального контуру повинні бути розміщені належним чином.

Первинний контур теплового насоса

Якщо фактична температура, виміряна на верхньому накладному датчику температури 2 Vitocell 340-M3 або при включенні теплового навантаження приготування гарячої води на датчику температури 4 Vitocell 340-M3, нижче налаштованого в контролері заданого значення температури, включаються в роботу первинні насоси і вторинний насос 5, а потім з затримкою за часом – тепловий насос 1.

Вторинний контур теплового насоса і геліоустановки

Тепловий насос 1 постачає опалювальний контур теплом. Підтримку тепловому насосу 1 в перехідний період, головним чином, - надає геліоустановка С в залежності від інсоляції. Контролером теплового насоса 1 і за допомогою 3-триходового змішувача D регулюється температура подачі теплоносія в опалювальному контурі. При включенні теплового навантаження опалювальним контуром спочатку тепло до нього надходить від Vitocell 340-M3.

Коли виміряна на верхньому накладному датчику 2 Vitocell 340-M3 фактична температура стане нижчою налаштованого у пристрої управління заданого значення, включається теплової насос 1. Нагрівання Vitocell 340-M3 здійснюється через 3-ходовий перемикаючий клапан 6 (положення "АВ - В").

Вторинний насос 5 подає теплоносій до Vitocell 340-M3 або в опалювальний контур.

Коли на нижньому накладному датчику температури Vitocell 340 -M3 буде досягнута налаштована в контролері задана температура, тепловий насос 1 виключається. Тільки після того, як температура на верхньому накладному датчику 2 Vitocell 340-M3 стане нижче заданої температури, знову включається тепловий насос 1. Коли виміряна на верхньому

накладному датчику 2 температура вище налаштованого в контролері заданого значення (достатній нагрів Vitocell 340-М3 геліоустановкой), тепловий насос 1 не запускається. При цьому опалювальний контур забезпечується теплом за допомогою насоса опалювального контура 8 Vitocell 340 -М3.

Витрата в опалювальному контурі регулюється відкриттям і закриттям терморегулювальних вентилів радіаторів або вентилів на розподільнику систем опалення підлоги. Витрата, яка використовується при розрахунку насоса опалювального контуру 8, може відрізнятись від витрати в контурі теплового (вторинного 5) насоса. Для компенсації різниці цих витрат води передбачено паралельно опалювального контуру Vitocell 340-М3 в якості буферної ємності нагрівального контуру. Тепло, не використане опалювальними контурами, паралельно накопичується в Vitocell 340-М3. Крім того, тим самим досягається рівномірний режим роботи теплового насоса (тривалий час роботи).

У періоди відключення подачі електроенергії опалювальний контур забезпечується теплом від Vitocell 340-М3.

Приготування гарячої води тепловим насосом з підтримкою геліоустановки

Приготування гарячої води за допомогою теплового насоса 1 встановлено як пріоритетний режим по відношенню до опалювального контуру в стані поставки.

Опалювальне навантаження вмикається датчиком температури бойлера 4 і контролером, який керує 3-х ходовим клапаном 6 (положення «АВ - А») і вмикає або вимикає тепловий насос 1.

Температура бойлера підвищується контролером до значення у верхній частині бойлера, необхідного для приготування гарячої води.

Нагріта вода зберігається в Vitocell 340-М3 в теплообміннику великого перетину зі спіральною трубкою з нержавіючої сталі. Після вичерпання

запасу холодна вода спочатку нагрівається за проточним принципом теплоносієм, який знаходиться в нижній частині водонагрівача.

Вода нагрівається до необхідного рівня температури водою з верхньої частини водонагрівача Vitocell 340-M3, де підтримується задана температура контуру ГВП.

При достатній інсоляції приготування гарячої води може здійснюватися виключно геліоустановкою.

Догрів при приготуванні гарячої води може здійснюватися додатковим електронагрівальним приладом 9 (наприклад, електронагрівальною вставкою). Коли фактичне значення на датчику температури ємнісного водонагрівача 4 перевищить налаштоване в контролері задане значення, контролер через 3-ходовий перемикаючий клапан 6 переключає подачу теплоносія на опалювальний контур (положення «АВ - В»).

Станція пасивного охолодження приміщень PKSt

У літні місяці рівень температури первинного контуру може бути використаний для охолодження будинку. Функція охолодження "природного охолодження" може бути реалізована в двох варіантах:

- на опалювальному контурі, використовуваному також для опалення;
- з окремим контуром охолодження, змонтованим додатково до опалювальних контурів. У цьому випадку для керування контуром охолодження повинен бути використаний окремий датчик температури приміщення.

У режимі охолодження тепловий насос вмикається лише для приготування гарячої води. Якщо зовнішня температура перевищує граничну температуру охолодження, встановлену на контролері, контролер вмикає функцію природного охолодження «Free cooling». Первинний насос увімкнено, а комплект розширення «вільне охолодження» керує первинним

насосом контуру охолодження, 3-ходовим перемикаючим клапаном «Обігрів/охолодження» та запірним клапаном контуру розсолу.

Крім того, розширювальний комплект "природного охолодження" оброблює сигнали навісного датчика вологості і термостатного регулятора захисту від замерзання. Змішувач контуру охолодження регулюється контролером. теплообмінник, встановленого для системного поділу контурів розсолу і води, передає низькі температури розсолу на нагрівний контур і контур охолодження.

Станція пасивного охолодження сконструйована для підключення до теплового насоса потужністю від 6 кВт до 17 кВт і систем опалення підлоги або конвекторам з дуттьовим вентилятором. Вона складається з теплообмінника, циркуляційного насоса, змішувача, а також материнській плати для регулювання режиму охолодження. У режимі охолодження система утримує кімнатну температуру в приміщенні, незважаючи на підвищення зовнішньої температури, і створює прийнятний мікроклімат.

Пристрій станції пасивного охолодження приміщень PKSt показаний на рис. 6.5.

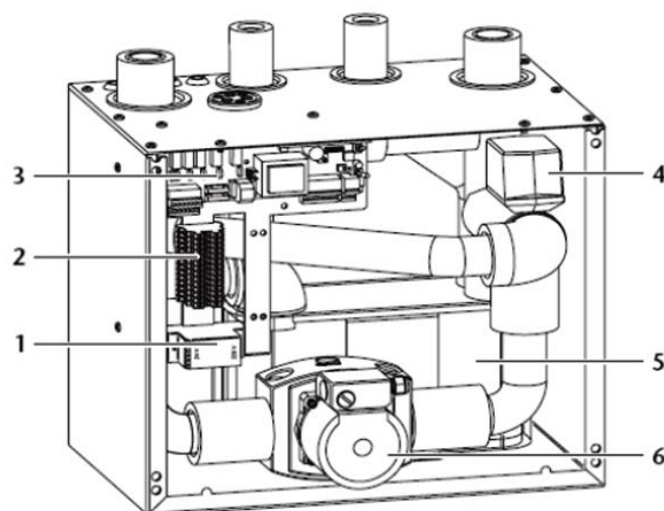


Рис. 6.6. Пристрій станції пасивного охолодження приміщень PKSt:

- 1 – трансформатор (24 вольт); 2 – приєднувальна панель; 3 – материнська плата; 4 – змішувач; 5 – теплообмінник; 6 – циркуляційний насос

При пасивному охолодженні компресор теплового насосу не використовується. Замість нього застосовується управління охолодженням за видатковим потоком розсолу.

Пасивне охолодження в поєднанні з системою опалення підлоги

У цьому опалювальному рішенні для охолодження кімнат використовується існуюча система підігріву підлоги. У цій системі не повинно бути конденсату. Для запобігання утворенню конденсату в прямому трубопроводі необхідно встановити досить високу температуру. Крім того, система може бути оснащена кімнатним кондиціонером і реле контролю вологості в приміщенні. Кімнатний кондиціонер підтримує температуру в прямому трубопроводі на рівні, при якому не відбувається конденсація. Реле контролю вологості в приміщенні вмикає функцію охолодження, якщо конденсація все одно виникає.

Теплотехнічні характеристики станції пасивного охолодження (PKSt) наведені в таблиці 6.14.

Таблиці 6.14

Теплотехнічні характеристики станції пасивного охолодження (PKSt)

| Станція пасивного охолодження | | PKSt |
|--|-----|----------------|
| Режим роботи станції пасивного охолодження | | |
| Холодопродуктивність B5/W201) | кВт | 15,5 |
| Холодопродуктивність B10/W201) | кВт | 10,4 |
| Холодопродуктивність B15/W201) | кВт | 5,2 |
| Падіння температури при B10/W20 і витраті води 0,38 л/с | °C | 6,5 |
| Розсільний контур | | |
| Об'ємний потік розсолу | л/с | 0,42 |
| Допустиме зовнішнє падіння тиску при об'ємному потоці розсолу | кПа | 32 |
| Максимальний тиск | бар | 4 |
| Робоча температура | °C | від -5 до +20 |
| Засіб захисту від замерзання | | Етиленгліколь |
| Мінімально допустима концентрація розсолу (точка замерзання - 15 °C) | % | 30 |
| Штуцери для підключення трубопроводів | мм | 35 |
| Охолоджуюча вода | | |
| Температура | °C | від +15 до +40 |
| Внутрішнє падіння тиску при видатковому потоці води 0,38 л/с | кПа | 2 |
| Максимальний тиск | бар | 3 |

Продовження таблиці 6.14

| | | | |
|---------------------------------------|------|-----------------|----|
| Штуцери для підключення трубопроводів | | мм | 28 |
| Електричне підключення | | | |
| Електричне підключення | В/Гц | 230/1–50 | |
| Споживана потужність | кВт | 0,1 | |
| Габаритні розміри (В × Ш × Г) | мм | 500 × 373 × 433 | |
| Вага | кг | 32 | |

ВИСНОВКИ

Об'єктом проектування магістерської роботи є розробка комплексної альтернативної системи теплопостачання фермерського будинку.

В розділі 1 магістерської роботи приводиться характеристика об'єкту проектування.

Існуючий житловий будинок представляє собою одноповерхову будівлю площею (за зовнішніми замірами) 74,5 м² та прибудованим технічним приміщенням (тепловим пунктом) площею за зовнішніми замірами 8,9 м².

Визначені теплові втрати огорожувальними конструкціями існуючої будівлі..Проведені розрахунки теплового навантаження будівлі на гаряче водопостачання.

Визначені основні задачі магістерської роботи.

В розділі 2 розглядаються особливості розвитку альтернативної енергетики в Україні. Особливу увагу приділено таким видам поновлювальної енергії як сонячна енергія та низькопотенціальна теплота ґрунту для теплових насосів.

Приведені деякі схемні рішення впровадження комплексних альтернативних джерел теплопостачання на основі сонячних колекторів та теплових насосів.

В розділі 3 магістерської роботи проведений аналіз різноманітних схем геліосистем гарячого водопостачання. Аналіз оптичних та теплотехнічних характеристик різних видів колекторів сонячної енергії, який проведений в розділі 3, показав, що ефективність колекторів з двофазними термосифонами завдяки покращанню оптичних характеристик та зменшенню теплових втрат значно вища, ніж у досить поширених в практиці впровадження плоских сонячних колекторів.

Особливості впровадження теплових насосів у промислових та комунально-побутових об'єктах розглянуті в розділі 4 магістерської роботи.

Визначені основні техніко-економічні показники теплонасосних установок та аналізуються термодинамічні аспекти парокомпресійного теплонасосного циклу. Аналізуються можливі режими роботи теплового насоса.

В розділі 5 магістерської роботи розглядаються конструктивні особливості та теплотехнічні параметри сучасного опалювального приладу типу водяне підлогове опалення.

В розділі 6 магістерської роботи приведені результати розробки комплексної альтернативної системи теплопостачання фермерського будинку. Для системи теплопостачання фермерського будинку в роботі проектується комплексна система теплопостачання на базі двох альтернативних систем: сонячної та теплонасосної (СК + ТН).

В рамках термомодернізації існуючої житлової будівлі в магістерській роботі приймаються наступні рішення:

- утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій шляхом нанесення теплозахисного покриття на зовнішній поверхні стін; тип утеплювача – пінополістирол, товщина теплозахисного покриття 120 мм.
- заміна старих вікон з подвійним склінням ($R_{\text{скл}} = 0,38 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$) на сучасні термопластикові вікна: подвійний склопакет, відстань між склом 10 мм, енергозберігальне скло з нанесенням твердого вілзеркалюваного покриття, заповнення повітрям; опір теплопередачі $R_{\text{скл}} = 0,59 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Порівняльний аналіз результатів теплового розрахунку будівлі до і після модернізації показує:

- після утеплення зовнішніх стін будівлі пінополістиролом товщиною 120 мм тепловий опір збільшився в $\sim 4,8$ рази і

становить величину $R_o^{yt} \approx 3,8 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$, тобто, запропоновані заходи дозволяють довести теплозахисний стан зовнішніх стін до нормативних значень;

- загальне теплове навантаження будівлі після реконструкції (утеплення зовнішніх стін та заміна вікон) зменшилось практично в 2 рази і становить величину 6405 Вт.

Запроектвані режими роботи комплексної система теплопостачання (по сезонах року):

- опалювальний сезон: основне теплогенеруюче обладнання системи теплопостачання будівлі – теплонасосна установка (ТНУ); резервне джерело енергії – електронагрівачі, сонячні колектори;
- перехідні періоди (весна, осінь): основне теплогенеруюче обладнання системи опалення будівлі – сонячні колектори; резервне джерело енергії – теплонасосна установка, електронагрівач;
- неопалювальний сезон (літо): основне теплогенеруюче обладнання системи – сонячна система гарячого водопостачання; теплонасосна установка в комплекті з підлоговим опалення будинку працює в зворотному режимі для природного охолодження; компресор ТН при цьому відключений.

В якості базового геліоколектора системи сонячного гарячого водопостачання цілорічної дії фермерського будинку прийнятий вакуумований трубчастий колектор з тепловою трубою (двофазним термосифоном) типу Vitosol-300, (VISSMANN, Німеччина). Вибраний колектор за своїми теплотехнічними характеристиками є одними з кращих у своєму класі.

В результаті теплового розрахунку ССГВ на приймаємо:

- сонячний колектор Vitosol 300 (VISSMANN) типу H20 (20 теплових трубок) – 2 шт.;
- об'єм бака-акумулятора – 0,4 м³;
- ступень заміщення органічного палива – 0,6.

Визначена теплова потужність теплового насосу, в якості базового теплогенеруючого обладнання проєктованої житлової будівлі прийнятий маємо тепловий насос типу VITOCAL 300-G BW-106 фірма-виробник – «VISSMANN» (Німеччина), теплова потужність 6,4 кВт.

Детально описана принципова тепла схема комплексної альтернативної системи тепlopостачання фермерського будинку на базі «СК – ТН».

При діючих тарифах на енергоносії в Україні на 2024 рік термін окупності впровадження геліосистеми (для умов проєктування) складає 9 років, а строк окупності впровадження теплового насосу для житлової будівлі, що проєктується, складає 13 років. тобто впровадження КАСТ фермерського будинку є привабливим інвестиційним проєктом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про енергетичну ефективність»
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-IX#Text>
2. Закон України «Про альтернативні джерела енергії»
https://ips.ligazakon.net/document/view/t030555?ed=2019_07_11
3. Ришард Титко. Відновлювані джерела енергії (Досвід Польщі для України). //Ришард Титко, Володимир Калініченко. - Варшава, 2010. - 533 с.
4. Корчемний М. та інш. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. – Тернопіль: 2001 .-984 с/
5. Прокопов Д., Бялковська О. Сучасний стан і перспективи розвитку альтернативної енергетики для України. Йолодіжна наукова ліга. №2 (2023) <https://archive.liga.science/index.php/universum/article/view/486>
6. Офіційний сайт Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. URL: <https://www.nerc.gov.ua/>.
7. Проект Плану відновлення України: Матеріали робочої групи «Енергетична безпека». Національна рада з відновлення України від наслідків війни. 2022. 164 с. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/energy-security.pdf>
8. Україна – енергетичний хаб Європи.
<https://mev.gov.ua/novyna/ukrayina-enerhetychnyy-khab-yevropy-uryad-skhvalyv-enerhetychnu-stratehiyu-do-2050-roku>
9. Енергозбереження в університетських містечках. Посібник для студ. вищих закл. освіти / К.Р,Сафіуліна, А.Г.Колієнко, Р.Ю.Тормосов –

К.:ТЩВ «Поліграф плюс», 2010. – 329 с.

10. Энергозбереження в університетських містечках. Збірник задач для студ. вищих закл. освіти / К.Р.Сафіуліна, А.Г.Колієнко, Р.Ю.Тормосов – К.:ТЩВ «Поліграф плюс», 2011. – 196 с.

11. Справочник по теплоснабжению сельского хозяйства/Л. Герасимович, А. Цубанов, Б. Драганов и др. – Мн.: Ураджай, 1993. – 368 с.

12. Єнін П.М., Швачко Н.А. Теплопостачання (частина I «Теплові мережі та споруди»). Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2007. – 244 с.

13. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 . Будівельна кліматологія – К.: Мінбуд України, 2011. – 127 с.

14. ДБН В.2.5-39:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі. - Київ: Мінрегіонбуд України, - 2009. – 56

15. ДБН В.2.6-31:2006 ДБН В.2.6-31:2016 "Теплова ізоляція будівель".

16. ДБН В.2.5-24-2003 "Електрична кабельна система опалення". К.: Укрархбудінформ, 2004. 30 с.

17. Современное внутреннее оборудование горячего и холодного водоснабжения, центрального отопления и подпольного отопления: Справочник проектировщика системы KAN-therm.–Варшава: KAN S.c., 1999. – 121с.

18. СП 41-102-98. Проектування й монтаж трубопроводів систем опалення з використанням металополімерних труб.

19. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы. К.: Наукова думка, 1999. – 311 с.

20. Мхитарян Н.М. Энергосберегающие технологии в жилищном и гражданском строительстве. – К.: Наукова думка, 2000. – 420 с.
21. Стратегія теплозабезпечення населених пунктів України (до обговорення проекту Енергетичної стратегії України на період до 2035 р.) // Вісник НАН України. 2015. № 4. С. 98–105.
22. Сиворакша В.Ю., Марков В.Л., Петров Б.Є. та інші. Теплові розрахунки геліосистем. – Дніпропетровськ: Вид-во ДГУ, 2003. – 132 с.
23. Мацевитый Ю.М., Богданович Л.С., Клепанда А.С., Чиркин Н.Б. О внедрении в экономику Украины нетрадиционных источников теплоты на базе тепловых насосов. // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит, 2007, №3.
24. Бекман, У. Расчет систем солнечного теплоснабжения / У.Бекман, С.Клейн, Д.Даффи. – М.: Энергоиздат, 1982. – 80 с.
25. Й. С. Мисак. Сонячна енергетика: теорія та практика: Монографія / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. - 340 с
26. Теплові насоси в системах теплохолодопостачання: монографія ЮФ Снежкін, ДМ Чалаєв, ВС Шаврін, НО Дабіжа - НАН України АА Долінського, 2008
27. Кідрук М.І. Моделювання та оптимізація систем тепlopостачання будівель з використанням відновних джерел енергії. Частина 1: Моделювання теплового режиму будинку. – Журнал «Нова тема», №4/2007. – с. 13–16.
28. Гершкович В.Ф. – Особенности проектирования систем энергоснабжения зданий с тепловыми насосами. – Киев ЗНИИЭП, 2009. – 60 с.

29. .Б.Х.Драганов, В.В.Іщенко, О,В,Шеліманова. Експлуатація теплоенергетичних установок і систем. К.:Аграрна освіта. 2017.-230 с.

30. Тепловые насосные установки Viessmann Vitocal 300/350. Инструкция по проектированию. - №4. – 2007. – 96 с.

31. Шеліманова О.В. Гриценюк І.О., Самсоненко Ю.В.. Особливості інтеграції теплового насоса в систему опалення будівлі. Тези доповіді 2 Міжнародної конференції «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування» (теорія, практика, історія, освіта)»
https://drive.google.com/file/d/1HS8p-UctNgJ_UHClFoRfdAOc7TKwext1/view