

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра теплової та альтернативної енергетики

«На правах рукопису»

«До захисту допущено»

УДК \_\_\_\_\_

Завідувачка кафедри

Ольга ЧЕРНОУСЕНКО

(підпис)

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

“ ” \_\_\_\_\_ 2022 р.

**Магістерська дисертація**  
**на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

на тему: «Теплонасосна система теплопостачання індивідуального житлового будинку з використанням теплоти ґрунту»

Виконав(ла): студент(ка) ІІ курсу, групи ТУ-11мп

Антоненко Богдан Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник: проф., д.т.н. Михайло БЕЗРОДНИЙ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Консультанти: з охорони праці к.т.н., доцент Сергій КАШТАНОВ

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

з економіки: ст. викл. Наталка БОЙЧУК

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Рецензент директор Віталій СИТНИК

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент(ка) \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2022 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут Атомної та теплової енергетики

Кафедра Теплової та альтернативної енергетики

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»,

ОПП «Теплоенергетика та теплоенергетичні установки електростанцій»

«До захисту допущено»

Завідувачка кафедри

Ольга ЧЕРНОУСЕНКО

\_\_\_\_\_  
(підпис)

(ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

“    ”    \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
Антоненко Богдану Миколайовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Теплонасосна система тепlopостачання індивідуального житлового будинку з використанням теплоти ґрунту» \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_,  
науковий керівник дисертації Безродний Михайло Костянтинівич д.т.н., проф. \_\_\_\_\_,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації 15.12.2022 р.

3. Об'єкт дослідження Розрахунок оптимальних параметрів ВГТО і нижнього контуру

4. Вихідні дані: місто – с. Биківня, Київської області; Призначення приміщення – житлове; кількість мешканців у будинку – 7; температурний графік системи опалення тепла підлога-40-35°C; ґрунт – насичений вологою; глибина свердловини – 50 м;

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1.) Розрахунок теплових втрат приміщень 2.) Розрахунок витрат теплоти на ГВП 3.) Розрахунок ВГТО і параметрів нижнього контуру 4.) Вибір циркуляційного насосу нижнього контуру 5.) Вибір обладнання системи тепlopостачання 6.) Розрахунок панельної системи тепlopостачання 7.) Теплова схема 8.) Охорона праці 9.) Техніко-економічне обґрунтування

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1. Теплова схема 2. Розташування котельні. Компоновка обладнання котельні. Розрізи 3. Розміщення трубопроводів котельні. Розрізи 4. Схема прокладання контурів тепла підлога 5. План об'єкту. Розташування свердловин на об'єкті.

6. Специфікація обладнання котельні \_\_\_\_\_

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1 стаття в матеріалах конференції \_\_\_\_\_

8. Консультанти розділів дисертації\*

| Розділ        | Ім'я, ПРІЗВИЩЕ та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---------------|---------------------------------------|----------------|------------------|
|               |                                       | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці | Сергій КАШТАНОВ, доцент               |                |                  |
| Економіка     | Наталка БОЙЧУК, ст. викладачка        |                |                  |

9. Дата видачі завдання 27.10.2022 р.

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|
| 1.    | Розрахунок теплових втрат приміщень             | 29.10.2022                                       |          |
| 2.    | Розрахунок витрат теплоти на ГВП                | 01.11.2022                                       |          |
| 3.    | Розрахунок ВГТО і параметрів нижнього контуру   | 07.11.2022                                       |          |
| 4.    | Вибір циркуляційного насоса нижнього контуру    | 11.11.2022                                       |          |
| 5.    | Вибір обладнання системи теплопостачання        | 15.11.2022                                       |          |
| 6.    | Розрахунок панельної системи теплопостачання    | 19.11.2022                                       |          |
| 7.    | Теплова схема                                   | 21.11.2022                                       |          |
| 8.    | Охорона праці                                   | 24.11.2022                                       |          |
| 9.    | Техніко-економічне обґрунтування                | 29.11.2022                                       |          |
| 10.   | Оформлення графічного матеріалу                 | 02.12.2022                                       |          |
| 11.   | Оформлення пояснювальної записки                | 10.12.2022                                       |          |
|       |                                                 |                                                  |          |
|       |                                                 |                                                  |          |

Студент(ка)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Богдан АНТОНЕНКО  
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Михайло БЕЗРОДНИЙ  
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

# **Пояснювальна записка до магістерської дисертації**

на тему: «Теплонасосна система тепlopостачання індивідуального житлового будинку з використанням теплоти ґрунту»

Київ – 2022 року

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Теплонасосна система теплопостачання індивідуального житлового будинку з використанням теплоти ґрунту»: пояснювальна записка на 92 с., 31 рис., 11 табл., 14 бібліографічних найменування; креслень – 7 арк. формату А1, 4 формату А3.

Актуальність теми дослідження - системи з вертикальними ґрунтовими теплообмінниками можуть використовуватися для тепло- та холодопостачання будівель різних розмірів. Для невеликої будівлі достатньо одного теплообмінника; для великих будівель може знадобитися влаштування цілої групи свердловин з вертикальними теплообмінниками.

Установка теплових насосів покращує екологічне становище. При набутті глобального характеру, стан екологічної обстановки може покращитись у рази. Наприклад, Швеція знизила кількість викидів продуктів горіння в атмосферу майже на 400 тисяч тон протягом року за рахунок масового встановлення теплових насосів.

Мета проекту – визначити теплові втрати житлового будинку, забезпечити їх за допомогою теплонасосної системи з використанням теплоти ґрунту, дослідивши оптимальні параметри його роботи.

У даній магістерській дисертації були використані методики розрахунку вертикальних ґрунтових теплообмінників, теплових та гідравлічних розрахунків теплотехнологічного обладнання.

Наведені результати розрахунків теплових втрат через зовнішні огороження будинку у холодний період року, витрат теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря, витрат теплоти на гаряче водопостачання.

За результатами розрахунків витрат теплоти вибране обладнання систем опалення та гарячого водопостачання, що включає тепловий насос, буферну ємність, бойлер непрямого нагріву, розширювальні баки, фанкойли і т. ін.

На основі теплових та гідравлічних розрахунків вибрані циркуляційні насоси та трубопроводи.

Складена та розрахована панельна система опалення типу «тепла підлога».

На кресленнях наведені теплова схема системи теплопостачання, компоновка обладнання цієї системи, схема розводки трубопроводів системи опалення, схема прокладання контурів «тепла підлога», розміщення котельні та специфікація обладнання.

Ключові слова: теплопостачання, опалення, теплові втрати, тепловий насос, теплота, «тепла підлога», низькотемпературний, ВГТО, теплота ґрунту.

## **ABSTRACT**

Master's thesis on the topic: "Heat pump system of heat supply of an individual residential building using soil heat": explanatory note on 92 pages, 31 figures, 11 tables, 14 bibliographic names; drawings - 7 sheets. A1 format, 4 sheets. A3 format.

The relevance of the research topic - systems with vertical soil heat exchangers can be used for heating and cooling of buildings of various sizes. For a small building, one heat exchanger is enough; for large buildings, it may be necessary to arrange a whole group of wells with vertical heat exchangers.

Installation of heat pumps improves the environmental situation. When it acquires a global character, the state of the ecological situation can improve several times. For example, Sweden reduced the amount of emissions of combustion products into the atmosphere by almost 400 thousand tons during the year due to the massive installation of heat pumps.

The goal of the project is to determine the heat losses of a residential building, to provide them with the help of a heat pump system using the heat of the soil, after investigating the optimal parameters of its operation.

In this master's thesis, the methods of calculation of vertical soil heat exchangers, thermal and hydraulic calculations of heat technology equipment were used.

The results of calculations of heat losses due to external fences of the house in the cold period of the year, heat consumption for heating infiltration air, heat consumption for hot water supply are given.

According to the results of heat consumption calculations, the equipment of heating and hot water supply systems, including a heat pump, a buffer tank, an indirect heating boiler, expansion tanks, fan coils, etc., was selected.

Circulation pumps and pipelines are selected based on thermal and hydraulic calculations.

Assembled and calculated panel heating system of the "warm floor" type.

The drawings show the thermal scheme of the heat supply system, the layout of the equipment of this system, the wiring diagram of the heating system pipelines, the layout scheme of the "warm floor" circuits, the location of the boiler room and the equipment specification.

Key words: heat supply, heating, heat loss, heat pump, heat, "warm floor", low-temperature, vertical soil heat exchanger, ground heat.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Перелік умовних позначень, скорочень, термінів.....                                                                 | 9  |
| Вступ.....                                                                                                          | 11 |
| 1 Характеристика об'єкту санітарно технічних норм.....                                                              | 13 |
| 1.1 Опис об'єкту .....                                                                                              | 13 |
| 1.2 Характеристика огорожувальних конструкцій.....                                                                  | 14 |
| 2 Опис теплонасосної установки з використанням ґрунту .....                                                         | 16 |
| 2.1 Опис теплового насосу .....                                                                                     | 16 |
| 2.2 Принцип роботи теплового насосу .....                                                                           | 18 |
| 2.3 Особливості використання теплоти ґрунту .....                                                                   | 20 |
| 3 Розрахунок теплових втрат приміщень.....                                                                          | 25 |
| 3.1 Вихідні дані.....                                                                                               | 25 |
| 3.2 Теплове навантаження системи опалення .....                                                                     | 25 |
| 3.4 Витрати теплоти через огорожувальні конструкції .....                                                           | 26 |
| 3.5 Визначення коефіцієнтів теплопередачі огорожувальних конструкцій .....                                          | 27 |
| 3.6 Визначення площ огорожувальних конструкцій.....                                                                 | 29 |
| 3.7 Визначення втрат теплоти через огорожувальні конструкції .....                                                  | 30 |
| 3.8 Витрати теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря.....                                                     | 30 |
| 3.9 Середня витрата теплоти на опалення .....                                                                       | 31 |
| 3.10 Річна витрата теплоти на опалення .....                                                                        | 31 |
| 4 Розрахунок витрати теплоти на гаряче водопостачання .....                                                         | 31 |
| 5. Розрахунок ВГТО і параметрів нижнього контуру.....                                                               | 33 |
| 5.1. Методика розрахунку ВГТО і параметрів нижнього контуру .....                                                   | 33 |
| 5.2 Розрахунок ВГТО .....                                                                                           | 37 |
| 5.3. Визначення витрати теплоносія нижнього контуру контуру теплового насосу і втрати тиску в нижньому контурі..... | 39 |
| 5.4. Підбір обладнання .....                                                                                        | 40 |
| 6. Вибір обладнання для систем опалення та ГВП .....                                                                | 45 |
| 6.1 Вибір буферної ємності системи опалення.....                                                                    | 45 |
| 6.2 Розрахунок теплої підлоги.....                                                                                  | 48 |
| 6.3 Вибір розширювальних баків.....                                                                                 | 58 |
| 7 Система кондиціонування повітря.....                                                                              | 64 |

|           |             |          |        |      |                                                                                                                |                                                      |       |
|-----------|-------------|----------|--------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------|
|           |             |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ                                                                                            |                                                      |       |
| Зм.       | Арк.        | № докум. | Підпис | Дата |                                                                                                                |                                                      |       |
| Студентка | Антоненко   |          |        |      | Тепланасосна система<br>теплопостачання індивідуального<br>житлового будинку з<br>використанням теплоти ґрунту | Стадія                                               | Аркуш |
| Керівник  | Безродний   |          |        |      |                                                                                                                |                                                      | 7     |
| П.контр   |             |          |        |      |                                                                                                                | Аркушів                                              | 93    |
| Н.контр   | Середа      |          |        |      |                                                                                                                | НТУУ «КПІ ім. Ігоря<br>Сікорського» ТЕФ, кафедра ТАЕ |       |
| Зав. каф. | Черноусенко |          |        |      |                                                                                                                |                                                      |       |

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.1 Принцип роботи фанкойлів .....                                                                             | 64 |
| 7.2 Вибір фанкойлів.....                                                                                       | 66 |
| 8. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....                                                     | 68 |
| 8.1. Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації технологічного обладнання.....            | 68 |
| 8.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії.....                      | 73 |
| 8.3 Електробезпека .....                                                                                       | 77 |
| 8.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....                                                                      | 79 |
| 8.5 Пожежна безпека .....                                                                                      | 82 |
| 9. Техніко-економічне обґрунтування.....                                                                       | 84 |
| 9.1 Характеристика району розташування об'єкту .....                                                           | 84 |
| 9.2 Аналіз використання теплових насосів для потреб опалення замість традиційних способів теплопостачання..... | 85 |
| 9.3 Розрахунки вартості експлуатації варіантів теплопостачання.....                                            | 86 |
| 9.4 Висновки .....                                                                                             | 87 |
| Висновки .....                                                                                                 | 89 |
| Перелік посилань                                                                                               |    |
| Додатки                                                                                                        |    |
| Додаток А                                                                                                      |    |
| Список наукових праць і досягнень                                                                              |    |
| Додаток Б                                                                                                      |    |
| Перевірка диплому на академічну доброчинність                                                                  |    |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

### Умовні позначення

$F$  – площа поверхні нагріву;  
 $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі;  
 $K$  – коефіцієнт теплопередачі;  
 $t$  – температура;  
 $Q$  – тепловий потік;  
 $G$  – витрата води;  
 $A$  – температурний множник;  
 $Re$  – число Рейнольдса;  
 $Pr$  – критерій Прандтля;  
 $\nu$  – кінематична в'язкість;  
 $\omega$  – швидкість руху теплоносіїв;  
 $d$  – діаметр;  
 $P$  – тиск;  
 $V$  – об'єм;  
 $\lambda$  – теплопровідність;  
 $\rho$  – густина;  
 $c$  – теплоємність.

### Індекси:

– нижні:  
 $o$  – параметри опалення;  
 $op$  – параметри опалювальних приладів;  
 $г$  – параметри гарячої води;  
 $x$  – параметри холодної води;  
 $p$  – розрахункова величина;  
 $з$  – параметри зовнішнього повітря;  
 $вн$  – параметри внутрішнього повітря;  
 $c$  – параметри біля стінки та пристінного шару води;  
 $пл$  – параметри пластина теплообмінного апарату;  
 $рец$  – параметри рециркуляційної води;  
– верхні:  
 $n$  – параметри насосів;  
 $зл$  – параметри точки зламу;

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 9    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

ср – середня значення;  
рік – річне значення;  
л – параметри літнього періоду;

**Скорочення:**

ТОА – теплообмінний апарат;  
ТН – тепловий насос;  
ГТО – горизонтальний ґрунтовий теплообмінник;  
ВГТО – вертикальний ґрунтовий теплообмінник.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 10   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

## ВСТУП

Останнім часом у суспільстві спостерігається значний дефіцит ресурсів органічного палива, зростання цін на деякі види палива, недосконалість та низька ефективність технологій їхнього використання, зростання темпів забруднення довкілля. Для вирішення цих проблем широко використовуються нетрадиційні та відновлювані джерела енергії (НВДЕ), бо саме ці методи енергозабезпечення є сучасними та найбільш перспективними. Головна перевага НВДЕ - це невичерпна ресурсна база та екологічна чистота.

Основними критеріями стабільного та високого рівня розвитку держави вважається використання НВДЕ, пошук нових і вдосконалення існуючих технологій, виведення їх до економічно ефективного рівня та розширення сфер використання.

Альтернативна енергетика - найпоширеніший напрям розвитку технологій у світі. Разом із інформаційними та нанотехнологіями вона займає провідне місце в постіндустріальному технологічному укладі. На сьогодні, частка НВДЕ у виробництві енергії у світі складає близько 14 %. Хоч це і незначний внесок, але їх потенціал в декілька раз перевищує рівень світового споживання паливно-енергетичних ресурсів. В Україні можна спостерігати значне зростання темпів обсягів виробництва енергії за рахунок НВДЕ, що зараз значно перевищують аналогічні для традиційних видів енергії. Так, у найближчі 10 років, прогнозується щорічне зростання світових обсягів виробництва електроенергії традиційної електроенергетики порядком 2,8 %, а електроенергії НВДЕ – 9,2 % [1].

До відновлюваних джерел енергії належать періодичні або сталі потоки енергії, що розповсюджуються в природі і обмежені лише стабільністю Землі як космопланетарного елемента: променева енергія сонця, вітер, гідроенергія, природна теплова енергія, тощо, та відповідно, техногенні джерела теплоти: вентиляційні викиди споруд, каналізаційні стоки (стічні води), промислові скиди.

Україна має значний потенціал основних видів відновлюваних джерел енергії, але на даний час вони становлять досить незначну частку в загальному енергобалансі держави.

Враховуючи, що альтернативна енергетика щороку дешевшає завдяки вдосконаленню технологій її отримання та застосування, можна говорити про суттєве зростання вкладу відновлюваної енергетики в енергетичну незалежність України. З іншого боку, проблеми ефективності використання традиційних джерел енергії в Україні стоять ще гостріше, ніж у світі чи країнах ЄС. Наслідками цього є немодифіковані технології та енергоносії, зменшення ресурсу використання основних систем генерації електроенергії і теплоти, що разом з низькою ефективністю використання палива призводить до значних обсягів шкідливих викидів. Значні втрати при транспортуванні, розподілі та використанні електроенергії і

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 11   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

теплоти, а також монопольна залежність від імпорту енергоносіїв ще більше ускладнюють ситуацію на енергетичних ринках країни. Але найголовніша проблема – це дефіцит потужності в енергосистемі внаслідок обстрілів та агресії Росії.

З метою зменшення залежності України від імпортних енергоносіїв та укріплення своєї енергосистеми до ударів окупантів потрібно впроваджувати енергоефективні технології та забезпечити ширше застосування відновлювальних джерел теплоти, наприклад, за допомогою теплонасосної технології. Одним з найперспективніших нетрадиційним джерелом теплоти на сьогоднішній день є теплові насоси (ТН). Дана технологія сприяє вирішенню проблем енергозбереження, завдяки якій з'явилась можливість відбирати поновлювану енергію з навколишнього середовища. Застосування теплонасосних установок (ТНУ) в системах тепlopостачання, де це впровадження раціональне й конкурентоспроможне, допоможе комплексно вирішити енергетичні, економічні, екологічні й соціальні проблеми, актуальні для України.

Ґрунт є найбільш універсальним джерелом низькопотенційної теплоти, який на глибині 5 м зберігає впродовж усього року постійну температуру на рівні 8–12 °С, забезпечуючи, таким чином, ефективну роботу ТН [2,3]. Для транспортування теплоти з ґрунту та подальшого використання як нижнього джерела теплоти для ТНС використовуються вертикальні та горизонтальні ґрунтові теплообмінники. Сама висока ефективність геотермальних теплонасосних систем (ТНС) може бути досягнута при роботі з водяними низькотемпературними системами опалення (30...50 °С): підлогове опалення (тепла підлога). Можна вважати, що нині широкої популярності набуває поєднання низькотемпературного опалення із сучасною енергозберігаючою технологією генерування теплоти – ТН.

Дана магістерська дисертація виконана на основі проекту замовника, приватної особи. Приватна особа надала вихідні дані, за якими було спроектовано систему теплонасосного опалення з використанням теплоти ґрунту для опалення індивідуального житлового будинку, який знаходиться в селі Биківня, Київської області.

При виконанні роботи було встановлено, що існує декілька методик розрахунку вертикальних ґрунтових теплообмінників [3], проте вони не враховують оптимальні умови роботи теплонасосних систем опалення з використанням ВГТО. Тому, для досягнення поставленої задачі замовником, я дослідив та проаналізував існуючі наукові підходи до визначення оптимальних характеристик ВГТО за умов досягнення мінімальних енергетичних затрат зовнішньої енергії на привід теплонасосної установки, розрахував систему теплонасосного опалення будинку, вибрав обладнання та виконав креслення.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 12   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ І САНІТАРНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

## 1.1 Опис об'єкту

В магістерській роботі розглядається система теплонасосного опалення використанням теплоти ґрунту для індивідуального житлового будинку в селі Биківня Київської області.

Будинок являє собою одноповерхову будівлю з горищем, загальною площею 242,2 м<sup>2</sup>, оснащений ґрунтовим тепловим насосом. План першого поверху з експлікацією приміщень наведено на рисунок.1.1. Будинок оснащений теплою підлогою.

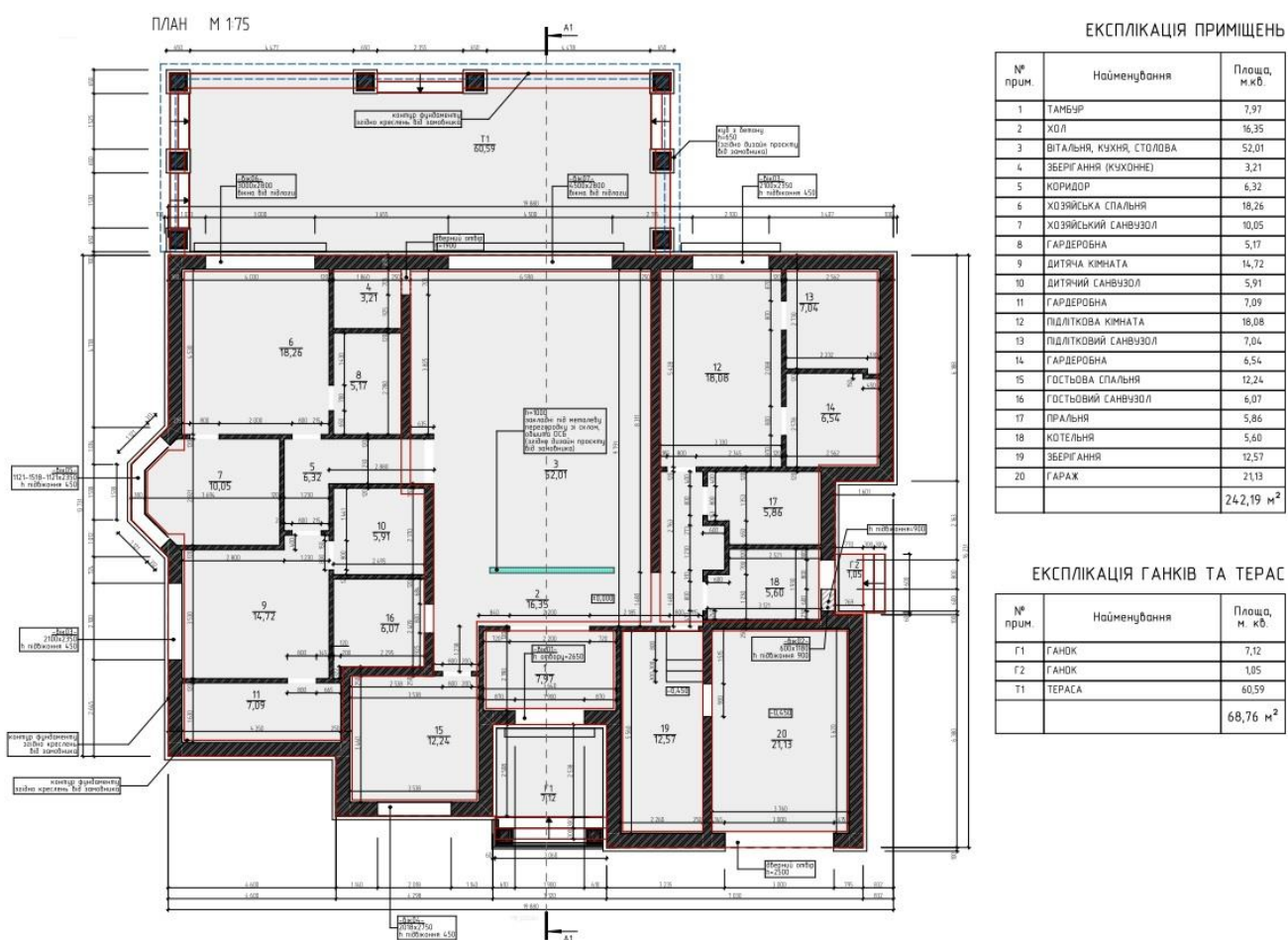


Рисунок 1.1 – План будинку

## 1.2 Характеристика огорожувальних конструкцій

Покрівля виконана з бітумної черепиці, горище утеплене базальтовою мінеральною ватою. Стіни складаються з червоної цегли і ROCKWOOL Frontrock 35, яка використовується в якості утеплювача, цегла ізольована від парів вологи гідроізоляційною мастикою, також нанесена фасадна штукатурка та фасадна атмосферостійка фарба Cerasit СТ-42 поверх утеплювача. Підлога монолітна та утеплена екструдірованим пінополістиролом. Тип вікна: двокамерний склопакет є конструкцію з трьох листів скла і двох повітряних камер фірми «VIKNAR'OFF» типу 4-10-4-10-4.

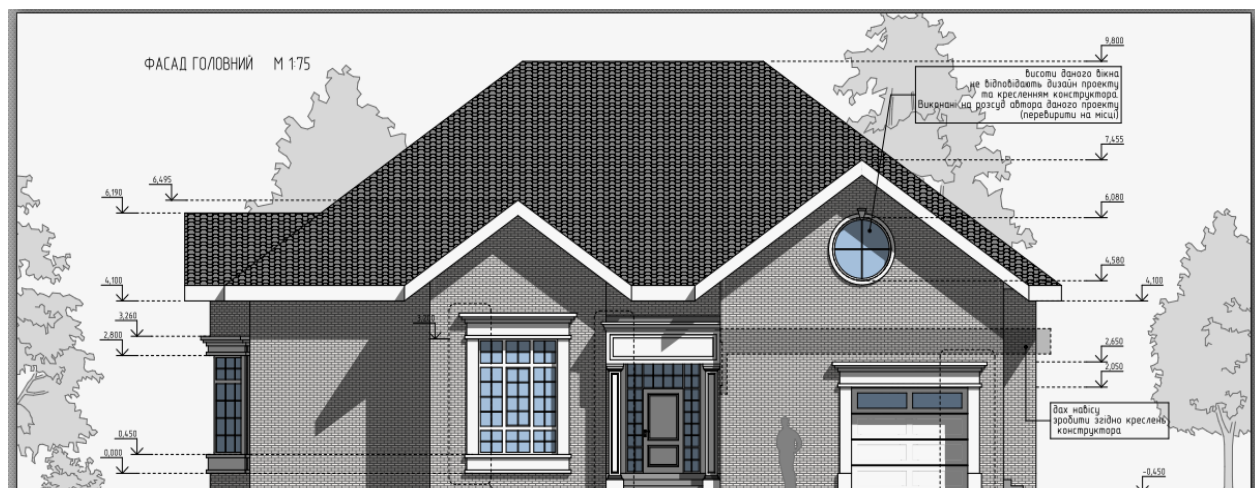


Рисунок 1.2 - Фасад будинку головний

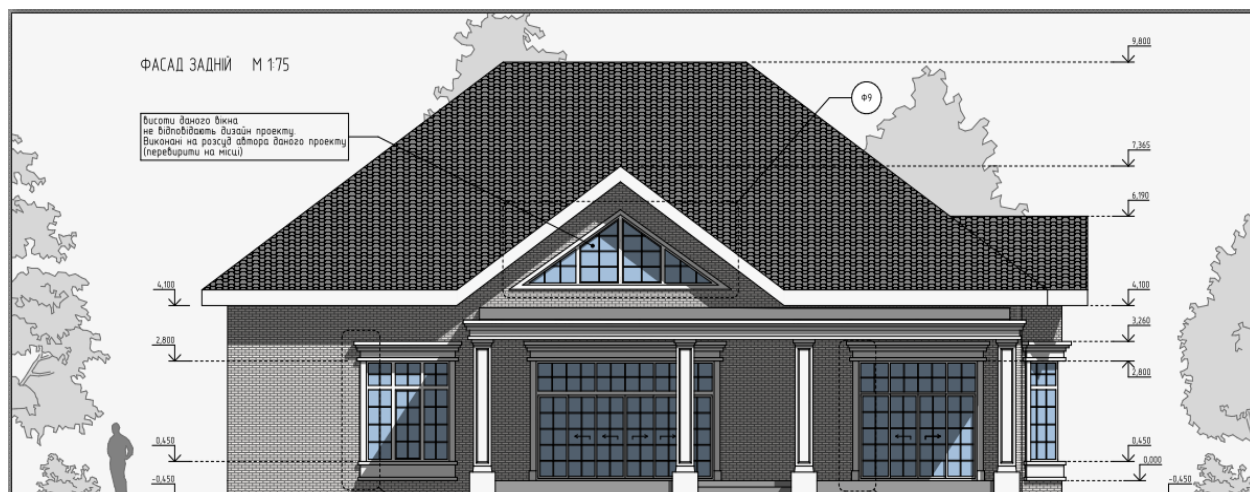


Рисунок 1.3 - Фасад будинку задній

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     | 14   |

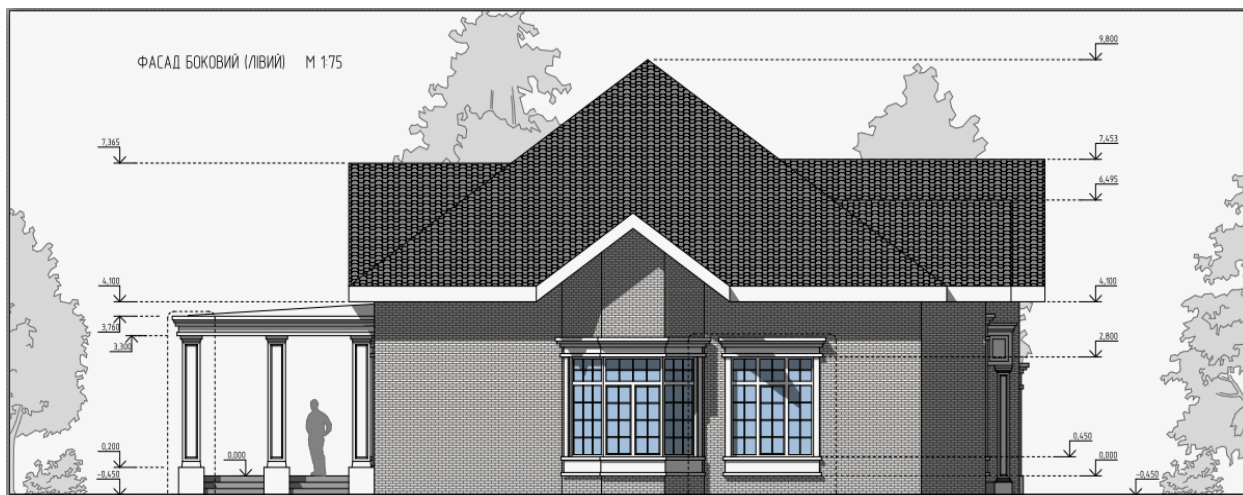


Рисунок 1.4 - Фасад будинку боковий(лівий)

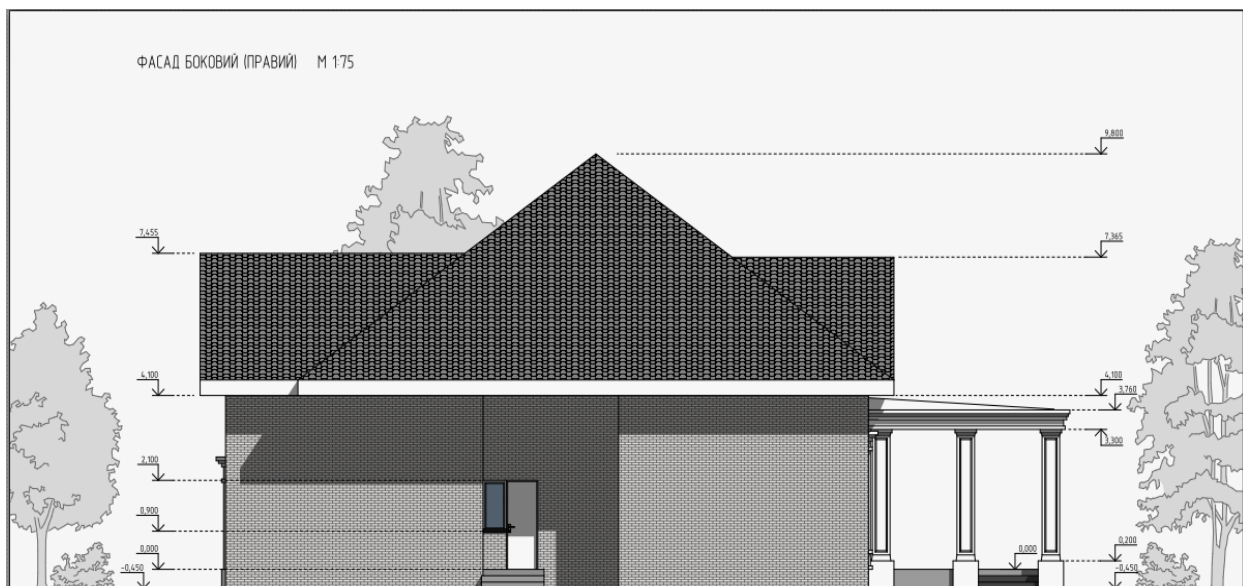


Рисунок 1.5 - Фасад будинку боковий(правий)

## 2 ОПИС ТЕПЛОНАСОСНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОТИ ҐРУНТУ

### 2.1 Опис теплового насоса

Тепловий насос - пристрій (тобто «тепловий котел»), який відбирає розсіяне тепло з навколишнього середовища (ґрунт, вода або повітря) і передає його в контур опалення будинку.

Завдяки сонячним променям, які безперервно надходять в атмосферу та на поверхню землі відбувається постійна віддача тепла. Саме таким чином поверхня землі цілий рік отримує теплову енергію.

Повітря частково поглинає тепло від енергії сонячного проміння. Залишки сонячної теплової енергії майже повністю поглинаються землею.

Крім того, геотермальне тепло з надр землі постійно забезпечує температуру ґрунту  $+8^{\circ}\text{C}$  (починаючи з глибини 1,5-2 метри і нижче). Навіть холодною зимою температура на глибині водойм залишається в діапазоні  $+4-6^{\circ}\text{C}$ .

Саме це низькопотенційне тепло ґрунту, води та повітря конвертує тепловий насос із навколишнього середовища в опалювальний контур приватного будинку, попередньо підвищивши температурний рівень теплоносія до необхідних  $+35-80^{\circ}\text{C}$ .

В основі роботи теплового насоса лежить зворотний термодинамічний цикл (зворотний цикл Карно), що складається з двох ізотерм та двох адіабат, але на відміну від прямого термодинамічного циклу (прямого циклу Карно, що зображено рисунку 2.1) процес протікає у зворотному напрямку проти годинникової стрілки.

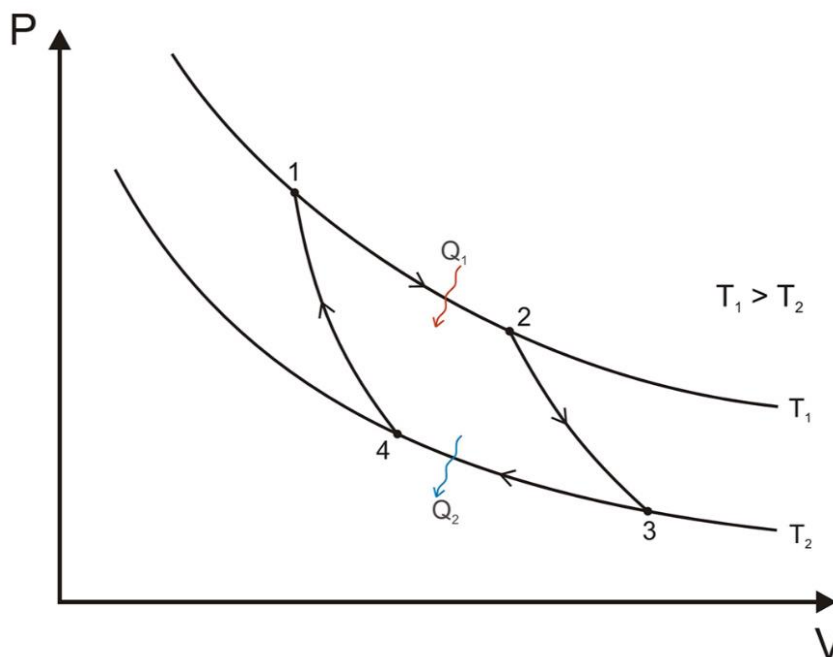


Рисунок 2.1 – Прямий цикл Карно

У зворотному циклі Карно докiлля виступає у ролi холодного джерела тепла. При роботi теплового насоса тепло докiлля завдяки виконанню роботи передається споживачевi, але з вищою температурою.

Передати тепло вiд холодного тiла (грунт, вода, повітря) можливо лише при витраті роботи (у випадку з тепловим насосом - витрати електричної енергії на роботу компресора, циркуляційних насосів та ін.) або iншого компенсаційного процесу.

Ще тепловий насос можна назвати «холодильником навпаки», так як тепловий насос це та ж холодильна машина, тiльки на вiдмiну холодильника тепловий насос забирає тепло зовні і передає його в приміщення, тобто обігріває приміщення (холодильник же охолоджує шляхом вiдбору тепла з холодильної камери і викидає його через конденсатор назовні)

Основі особливості теплового насосу:

1. Тепловий насос здатний витягувати тепло навіть за негативної температури.

Бiльшiсть майбутніх домовласників не можуть зрозуміти принцип роботи теплового насоса «Повітря-Вода», тому що не розуміють, яким чином може вилучатися тепло з повітря при негативній температурі взимку.

Теплота - форма руху матерії, що є безладним рухом утворюють тiло частинок (атомів, молекул, електронів та ін).

Навіть при температурі 0°C (нуль градусів за Цельсієм), коли замерзає вода, у повітрі все ще є теплота. Її значно менше ніж, наприклад, при температурі +36°C, але тим не менш і при нульовій і при негативній температурі відбувається рух атомів, а отже, і відбувається виділення теплоти.

Рух молекул і атомів повністю припиняється за температури -273°C (мiнус двісті сімдесят три градуси за Цельсієм), що вiдповiдає абсолютному нулю температури (нуль градусів за шкалою Кельвіна). Тобто і взимку за мiнусової температури в повітрі є низькопотенційне тепло, яке можна витягувати і переносити в будинок.

2. Робоча рiдина в теплових насосах – холодоагент (фреон).

Що таке холодильний агент? Холодоагент - робоча речовина в тепловому насосі, яка вiдбирає теплоту вiд об'єкта, що охолоджується при випаровуванні і передає тепло робочому середовищу (наприклад, воді або повітрі) при конденсації.

Особливість холодоагентів у тому, що вони здатні закипати і при негативних і вiдносно низьких температурах. Крім того, холодоагенти можуть переходити з рідкого стану в газоподібний і навпаки. Саме під час переходу з рідкого стану в газоподібне (випаровування) вiдбувається поглинання теплоти, а під час переходу з газоподібного до рідкого (конденсації) вiдбувається передача теплоти (вiддiлення тепла).

3. Робота теплового насоса можлива завдяки його чотирьом ключовим компонентам.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 17   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

Для того, щоб зрозуміти принцип роботи теплового насоса, його пристрій можна розділити на 4 основні елементи:

- Компресор, який стискає холодоагент для підвищення його тиску та температури.
- Розширювальний клапан - терморегулюючий вентиль, який різко знижує тиск холодоагенту.
- Випарник - теплообмінник, в якому холодоагент з низькою температурою поглинає тепло від навколишнього середовища.
- Конденсатор – теплообмінник, у якому вже гарячий холодоагент після стиснення передає тепло у робоче середовище опалювального контуру.

Саме ці чотири компоненти дозволяють холодильним машинам виробляти холод, а тепловим насосам тепло.

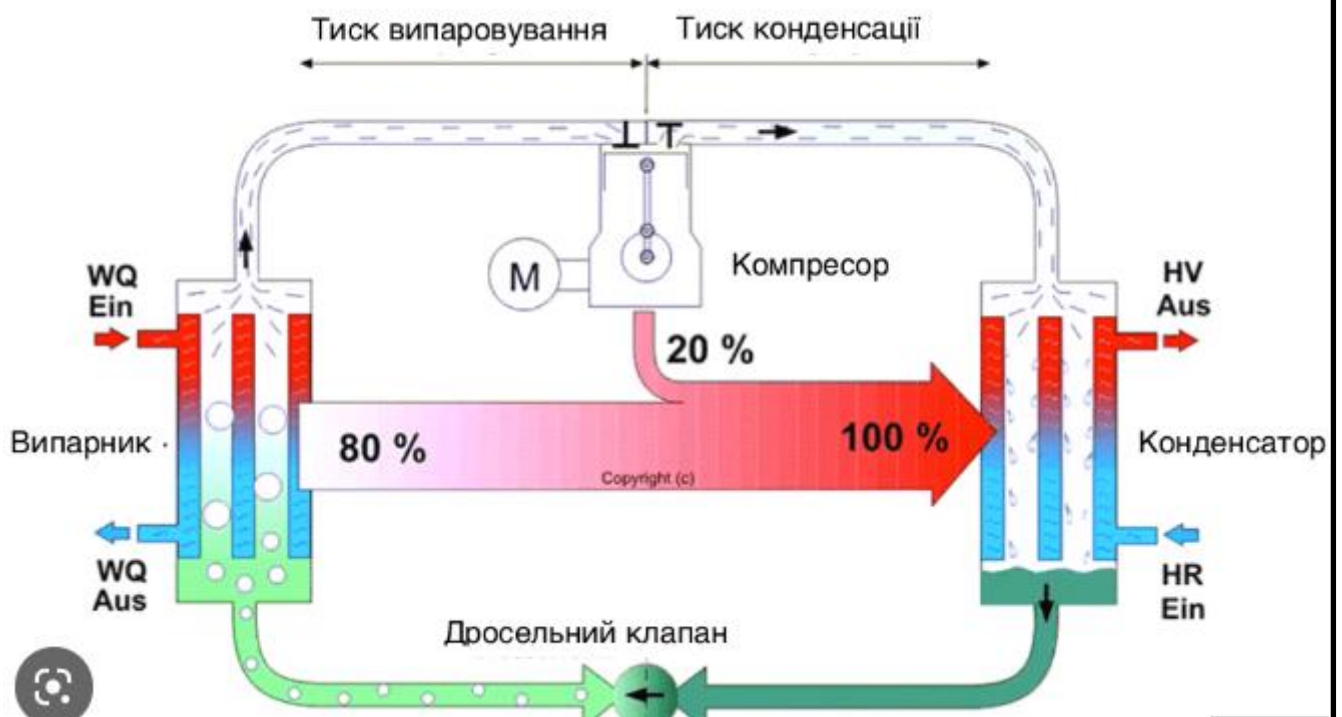


Рисунок. 2.2 - Принципова схема теплового насоса

## 2.2 Принцип роботи теплового насосу

Розглянемо кожний етап роботи теплового насоса. Як уже говорилося раніше, в основі роботи теплових насосів лежить термодинамічний цикл. Це означає, що робота теплового насоса складається з кількох етапів циклу, які повторюються знову і знову у певній послідовності.

Робочий цикл теплового насоса можна розділити на чотири наступні етапи:

1. Поглинання тепла з довкілля (кипіння холодоагенту).

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     | 18   |

У випарник (теплообмінник) надходить холодоагент, який знаходиться в рідкому стані та має низький тиск. Як ми вже знаємо при низькій температурі, холодоагент здатний закипати і випаровуватися. Процес випаровування необхідний у тому, щоб речовина поглинула тепло.

Згідно з другим законом термодинаміки тепло передається від тіла з високою температурою до тіла з нижчою температурою. Саме на цьому етапі роботи теплового насоса холодоагент з низькою температурою проходячи теплообмінником відбирає тепло від теплоносія (розсолу), який раніше піднявся зі свердловин, де відібрав низькопотенційне тепло ґрунту (у випадку з ґрунтовими тепловими насосами «ґрунт-вода»).

Справа в тому, що температура ґрунту під землею у будь-яку пору року становить +7-8°C. При використанні геотермального теплового насоса типу «ґрунт-вода» встановлюються вертикальні зонди, якими циркулює розсіл (теплоносіє). Завдання теплоносія - нагрітися до максимально множинної температури під час циркуляції по глибинних зондах.

Коли теплоносіє відібрав тепло з ґрунту, він надходить у теплообмінник теплового насоса (випарник), де «зустрічається» з холодоагентом, який має нижчу температуру. І згідно з другим законом термодинаміки відбувається теплообмін: тепло від більш нагрітого розсолу передається менш нагрітому холодоагенту.

Важливий момент: поглинання тепла можливе під час випаровування речовини і, навпаки, віддача теплоти відбувається при конденсації. Під час нагрівання холодоагенту від теплоносія він змінює свій фазовий стан: холодоагент переходить із рідкого стану в газоподібний (відбувається процес закипання холодоагенту, він випаровується).

Пройшовши через випарник холодоагент перебуває в газоподібній фазі. Це вже не рідина, але газ, який відібрав тепло теплоносія (розсолу).

## 2. Стиснення холодоагенту компресором.

На наступному етапі холодоагент у газоподібному стані потрапляє у компресор. Тут компресор стискає фреон, який рахунок різкого збільшення тиску нагрівається до певної температури.

Аналогічно працює і компресор звичайного побутового холодильника. Єдина істотна відмінність компресора холодильника від компресора теплового насоса значно менша продуктивність.

## 3. Передача тепла у систему опалення (конденсація).

Після стиснення в компресорі холодоагент, який має високу температуру, надходить у конденсатор. В даному випадку конденсатор - це теж теплообмінник, в якому під час конденсації відбувається віддача теплоти від холодоагенту до робочого середовища опалювального контуру (наприклад, воді в системі теплої підлоги, або радіаторів опалення).

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 19   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

У конденсаторі холодоагент із газової фази знову переходить у рідку. Цей процес супроводжується виділенням тепла, яке використовується для системи опалення в будинку та гарячого водопостачання (ГВП).

#### 4. Зниження тиску холодоагенту (розширення).

Тепер рідкий холодоагент потрібно підготувати до повторення робочого циклу. Для цього холодоагент проходить через вузький отвір терморегулюючого вентиля (розширювального клапана). Після "продавлювання" через вузький отвір дроселя холодоагент розширюється, внаслідок чого падає його температура та тиск.

Цей процес можна порівняти з розпорошенням аерозолі з балончика. Після розпилення балончик на короткий час стає холоднішим. Тобто відбулося різке падіння тиску аерозолі внаслідок продавлювання назовні, температура відповідно також падає.

Тепер холодоагент знову перебуватиме під таким тиском, при якому він здатний закипіти і випаровуватися, що необхідно нам для поглинання тепла від теплоносія.

Завдання TRV (терморегулюючий вентиль) - знизити тиск фреону шляхом розширення його на виході з вузького отвору. Тепер фреон знову готовий закипати та поглинати тепло.

Цикл знову повторюється, доки система опалення та ГВП не отримає від теплового насоса необхідний об'єм тепла.

### 2.3 Особливості використання теплоти ґрунту для теплонасосних систем опалення

Тепловий режим ґрунту поверхневих шарів землі формується під дією двох основних факторів – падаючої на поверхню сонячної радіації та потоком радіогенного тепла із земних надр. Сезонні та добові зміни інтенсивності сонячної радіації та температури зовнішнього повітря викликають коливання температури верхніх шарів ґрунту. Глибина проникнення добових коливань температури зовнішнього повітря та інтенсивності падаючої сонячної радіації в залежності від конкретних ґрунтово-кліматичних умов коливається в межах від кількох десятків сантиметрів до півтора метра. Глибина проникнення сезонних коливань температури зовнішнього повітря та інтенсивності падаючої сонячної радіації не перевищує, як правило, 15–20 м.

Температурний режим шарів ґрунту, розташованих нижче цієї глибини («нейтральної зони»), формується під впливом теплової енергії, що надходить із надр землі, і практично не залежить від сезонних, а тим більше добових змін параметрів зовнішнього клімату. Зі збільшенням глибини температура ґрунту зростає відповідно до геотермічного градієнта (приблизно 3°C на кожні 100 м). Величина потоку радіогенного тепла, що надходить із земних надр, для різних місцевостей відрізняється. Для Центральної Європи ця величина становить 0,05-0,12 Вт/м<sup>2</sup>.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 20   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

В експлуатаційний період масив ґрунту, що знаходиться в межах зони теплового впливу регістра труб ґрунтового теплообмінника системи збору низькопотенційного тепла ґрунту (системи теплозбору), внаслідок сезонної зміни параметрів зовнішнього клімату, а також під впливом експлуатаційних навантажень на систему теплозбору, як правило, піддається багаторазовому відтаванню. При цьому, природно, відбувається зміна агрегатного стану вологи, укладеної в порах ґрунту і яка знаходиться в загальному випадку як в рідкій, так і в твердій та газоподібній фазах одночасно. Інакше кажучи, ґрунтовий масив системи теплозбору, незалежно від того, в якому стані він знаходиться (у мерзлом або талом), є складною трифазною полідисперсною гетерогенною системою, «скелет» якої утворений величезною кількістю твердих частинок різноманітної форми і величини і може бути як жорстким, так і рухомим, залежно від того, чи міцно пов'язані між собою частинки або вони відділені один від одного речовиною в рухомій фазі. Проміжки між твердими частинками можуть бути заповнені мінералізованою вологою, газом, парою і льодом або тим і іншим водночас. Моделювання процесів тепломасоперенесення, що формують тепловий режим такої багатокомпонентної системи, є надзвичайно складним завданням, оскільки вимагає обліку та математичного опису різноманітних механізмів їх здійснення: теплопровідності в окремих частинці, теплопередачі від однієї частинки до іншої при їх контакті, молекулярної теплопровідності в середовищі, що заповнює проміжки між частинками, конвекції пари та вологи, що містяться в поровому просторі, та багатьох інших.

Особливо слід зупинитися на вплив вологості ґрунтового масиву та міграції вологи в його поровому просторі на теплові процеси, що визначають характеристики ґрунту як джерела низькопотенційної теплової енергії.

У капілярно-пористих системах, якою є ґрунтовий масив системи теплозбору, наявність вологи в поровому просторі помітно впливає на процес поширення тепла. Коректний облік цього впливу на сьогодні пов'язаний із значними труднощами, які, перш за все, пов'язані з відсутністю чітких уявлень про характер розподілу твердої, рідкої та газоподібної фаз вологи в тій чи іншій структурі системи. Досі не з'ясовано природу сил зв'язку вологи з частинками скелета, залежність форм зв'язку вологи з матеріалом на різних стадіях зволоження, механізм переміщення вологи в поровому просторі.

За наявності в товщі ґрунтового масиву температурного градієнта молекули пари переміщуються до місць, що мають знижений температурний потенціал, але в той же час під дією гравітаційних сил виникає протилежно спрямований потік вологи в рідкій фазі. Крім цього, на температурний режим верхніх шарів ґрунту впливає волога атмосферних опадів, а також ґрунтові води.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 21   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

**Основні фактори, під впливом яких формується температурний режим ґрунтового масиву систем збирання низькопотенційного тепла ґрунту.**

Ґрунтові теплообмінники пов'язують теплонасосне обладнання із ґрунтовим масивом. Крім «вилучення» тепла землі, ґрунтові теплообмінники можуть використовуватися і для накопичення тепла (або холоду) у ґрунтовому масиві. Загалом можна виділити два види систем використання низькопотенційної теплової енергії землі:

1. відкриті системи: як джерело низькопотенційної теплової енергії використовуються ґрунтові води, що підводяться безпосередньо до теплових насосів;
2. замкнуті системи: теплообмінники розташовані у ґрунтовому масиві; при циркуляції по них теплоносія зі зниженою відносно ґрунту температурою відбувається «відбір» теплової енергії від ґрунту та перенесення її до випарника теплового насоса (або, при використанні теплоносія з підвищеною відносно ґрунту температурою, його охолодження).

Основна частина відкритих систем – свердловини, що дозволяють витягувати ґрунтові води з водоносних шарів ґрунту та повертати воду назад у ті ж водоносні шари. Зазвичай при цьому влаштовуються парні свердловини.

Перевагою відкритих систем є можливість отримання великої кількості теплової енергії за відносно низьких витрат. Проте свердловини потребують обслуговування. Крім того, використання таких систем можливе не у всіх місцевостях. Головні вимоги до ґрунту та ґрунтових вод такі:

- достатня водопроникність ґрунту, що дозволяє поповнюватися запасам води;
- хороший хімічний склад ґрунтових вод (наприклад, низький залізоміст), що дозволяє уникнути проблем, пов'язаних з утворенням відкладень на стінках труб і корозією.

Відкриті системи найчастіше використовуються для тепло- або холодопостачання великих будівель. Найбільша у світі геотермальна теплонасосна система використовує як джерело низькопотенційної теплової енергії ґрунтові води. Ця система розташована в США в м. Луїсвілль (Louisville), штат Кентуккі. Система використовується для тепло- та холодопостачання готельно-офісного комплексу; її потужність становить приблизно 10 МВт [2].

Іноді до систем, що використовують тепло землі, відносять і системи використання низькопотенційного тепла відкритих водойм, природних та штучних. Такий підхід ухвалено, зокрема, у США. Системи, що використовують низькопотенційне тепло водойм, відносяться до відкритих, як і системи, що використовують низькопотенційне тепло ґрунтових вод.

Горизонтальний ґрунтовий теплообмінник (в англійській літературі використовуються також терміни «ground heat collector» та «horizontal loop») влаштовується, як правило, поряд

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 22   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

з будинком на невеликій глибині (але нижче за рівень промерзання ґрунту в зимовий час). Використання горизонтальних ґрунтових теплообмінників обмежено розмірами наявного майданчика.

Вертикальні ґрунтові теплообмінники (в англomовній літературі прийнято позначення «ВНЕ» – «borehole heat exchanger») дозволяють використовувати низькопотенційну теплову енергію ґрунтового масиву, що лежить нижче за «нейтральну зону» (10–20 м від рівня землі). Системи з вертикальними ґрунтовими теплообмінниками не вимагають ділянок великої площі та не залежать від інтенсивності сонячної радіації, що падає на поверхню. Вертикальні ґрунтові теплообмінники ефективно працюють практично у всіх видах геологічних середовищ, за винятком ґрунтів із низькою теплопровідністю, наприклад, сухого піску або сухого гравію. Системи з вертикальними ґрунтовими теплообмінниками набули дуже широкого поширення.

Теплоносій циркулює по трубах (найчастіше поліетиленовим або поліпропіленовим), укладеним у вертикальних свердловинах глибиною від 50 до 200 м. Зазвичай використовується два типи вертикальних ґрунтових теплообмінників, які зображені на рисунку 2.3:

- U-подібний теплообмінник, що є двома паралельними трубами, з'єднаними в нижній частині. В одній свердловині розташовуються одна або дві (рідше три) пари таких труб. Перевагою такої схеми є досить низька вартість виготовлення. Подвійні U-подібні теплообмінники – тип вертикальних ґрунтових теплообмінників, що найбільш широко використовується в Європі.

- Коаксіальний (концентричний) теплообмінник. Найпростіший коаксіальний теплообмінник є дві труби різного діаметра. Труба меншого діаметра розташовується усередині іншої труби. Коаксіальні теплообмінники можуть бути і складніших конфігурацій.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 23   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

## Geothermal Energy for the Home

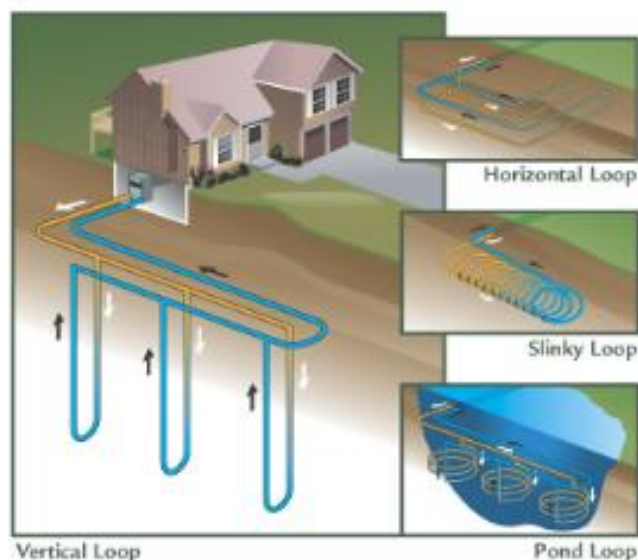


Рисунок 2.3 - Види прокладки труб горизонтальних ґрунтових теплообмінників

Для збільшення ефективності теплообмінників простір між стінками свердловини та трубами заповнюється спеціальними теплопровідними матеріалами.

Системи з вертикальними ґрунтовими теплообмінниками можуть використовуватися для тепло- та холодопостачання будівель різних розмірів. Для невеликої будівлі достатньо одного теплообмінника; для великих будівель може знадобитися влаштування цілої групи свердловин з вертикальними теплообмінниками.

Ґрунтовий масив (у разі вертикальних ґрунтових теплообмінників) та будівельні конструкції із ґрунтовими теплообмінниками можуть використовуватися не тільки як джерело, а й як природний акумулятор теплової енергії або «холоду», наприклад тепла сонячної радіації.

Існують системи використання низькопотенційного тепла землі, які не можна однозначно віднести до відкритих чи замкнутих. Наприклад, одна і та ж глибока (глибиною від 100 до 450 м) свердловина, заповнена водою, може бути як експлуатаційною, так і нагнітальною. Діаметр свердловини зазвичай становить 15 см. У нижню частину свердловини поміщається насос, з якого вода зі свердловини подається до випарників теплового насоса. Зворотна вода повертається у верхню частину водяного стовпа у ту ж свердловину. Відбувається постійне підживлення свердловини ґрунтовими водами, і відкрита система працює подібно до замкнутої.

Зазвичай свердловини такого типу використовуються і для постачання питної води. Однак така система може працювати ефективно тільки в ґрунтах, які забезпечують постійне підживлення свердловини водою, що запобігає її замерзанню. Якщо водоносний горизонт

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     | 24   |

залягає надто глибоко, для нормального функціонування системи буде потрібний потужний насос, що потребує підвищених витрат енергії. Велика глибина свердловини обумовлює досить високу вартість подібних систем, тому вони не використовуються для тепло- та холодопостачання невеликих будівель. Нині у світі функціонує кілька таких систем (у США та Європі).

Один із перспективних напрямів – використання як джерела низькопотенційної теплової енергії води з шахт та тунелів. Температура цієї води стала протягом усього року. Вода з шахт та тунелів легко доступна.

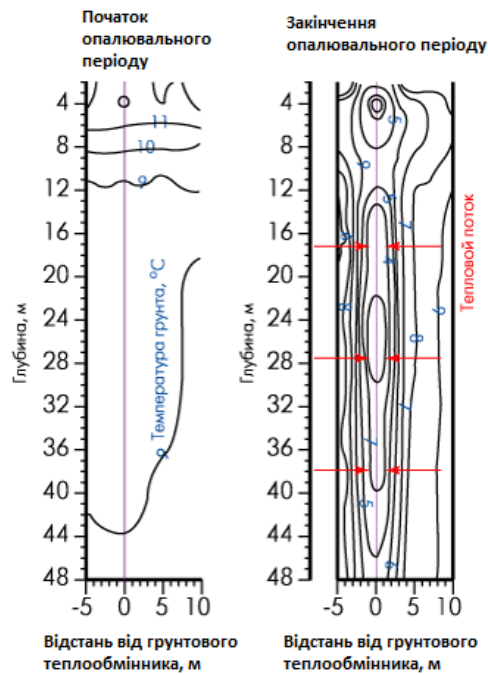


Рисунок 2.4 - Схеми розподілу температур у ґрунтовому масиві навколо вертикального ґрунтового теплообмінника на початку та наприкінці першого опалювального сезону

### 3 РОЗРАХУНКИ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ПРИМІЩЕНЬ

#### 3.1 Вихідні дані

Визначаємо кліматологічні дані для м. Києва [10]:

– тривалість опалювального періоду складає  $n_{оп} = 176$  діб [10];

– середня температура найхолоднішої п'ятиденки  $t_{p.o} = -22$  °C [10];

Температура внутрішнього повітря приймається  $t_{вн} = 20$  °C [10];

Коефіцієнт тепловіддачі від внутрішнього повітря до внутрішніх поверхонь стін  $\alpha_v = 8,7$  Вт/( $m^2 \cdot K$ ).

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні стіни до оточуючого повітря  $\alpha_z = 23$  Вт/( $m^2 \cdot K$ ).

Коефіцієнт теплопередачі через вікна (двокамерні склопакети VIKNAR'OFF 4-10- 4-10-4)  $K_{вік} = 0,953$  Вт/( $m^2 \cdot K$ ).

Коефіцієнт теплопередачі через зовнішні двері (металічні фірми SOPRANO)  $K_{дв.зовн} = 1,7$  Вт/( $m^2 \cdot K$ ).

Коефіцієнт теплопередачі через гаражні секційні ворота (виробництва компанії «Alutech»)  $K_{вор} = 1,5$  Вт/( $m^2 \cdot K$ ).

Вистав першого поверху будинку  $H = 4$  м, середня висота горища = 4,2825 м.

Кількість людей які знаходяться в будівлі  $n = 7$ , з яких 3 чоловіка и 4 жінки.

#### 3.2 Теплове навантаження системи опалення

Розрахунок теплового навантаження опалення має здійснюватися за формулою:

$$Q = Q_{вт} + Q_2 - Q_3, \quad (3.1)$$

де  $Q_{вт}$  – розрахункові втрати теплоти будинку, кВт;

$Q_2$  – втрати теплоти трубопроводами, які прикладені в неопалюваних приміщеннях,

$Q_3$  – тепловий потік, який поступає в приміщення через вікна та прозорі конструкції, від обладнання та людей, кВт.

#### 3.3 Теплові втрати приміщення

Теплові втрати громадського приміщення, кВт, розраховуються для холодного періоду року за формулою:

$$Q_{вт} = \Sigma Q_{ог.і} + Q_{інф}, \quad (3.2)$$

де  $\Sigma Q_{ог.і}$  – сумарні втрати теплоти через зовнішні огорожувальні конструкції (зовнішні стіни, вікна, зовнішні двері, перекриття для останнього поверху, підлогу для першого поверху), кВт;

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 26   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

$Q_{\text{інф}}$  – витрати теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря, яке надходить до приміщень, кВт.

### 3.4 Втрати теплоти через огорожувальні конструкції

Втрати теплоти через зовнішні огорожувальні конструкції складаються з основних та додаткових і розраховуються для кожного елемента огорожувальної конструкції за формулою

$$Q_{\text{обг.і}} = (1/\tau_i) F_i \Delta t_i (1 + \Sigma \beta) n_i \cdot 10^{-3}, \quad (3.3)$$

де  $\tau_i$  – питомий термічний опір теплопередачі елемента огорожувальної конструкції, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;

$F_i$  – поверхня елемента огорожувальної конструкції, що передає теплоту, м<sup>2</sup>;

$\Delta t_i$  – розрахункова різниця температур між внутрішнім та зовнішнім повітрям, оС;

$n_i$  – поправковий коефіцієнт на розрахункову різницю температур, залежить від геометричного положення елемента огорожувальної конструкції або його типу (згідно СНиП II-3-79,  $n=1$  для всіх зовнішніх стін даного будинку);

$\Sigma \beta$  – додаткові втрати теплоти в частках до основних;

$K_i$  – коефіцієнта теплопередачі елемента огорожувальної конструкції, Вт/(м<sup>2</sup> · К).

Термічний опір теплопередачі

$$\tau_i = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (3.4)$$

де  $\alpha_{\text{вн}} = 8,7$  та  $\alpha_3 = 23$  – коефіцієнти тепловіддачі для внутрішнього та зовнішнього повітря відповідно, Вт/(м<sup>2</sup>·К) [10];

$\delta_i$  та  $\lambda_i$  – товщина (м) та теплопровідність (Вт/(м·К)) матеріалів окремих шарів огорожень.

Поверхні  $F_i$  зовнішніх стін визначаються за зовнішніми розмірами, поверхні вікон – за розмірами у світлі, поверхні перекриття (підлоги) – за внутрішніми розмірами.

Різниця температур  $\Delta t_i$  визначається за рекомендаціями при висоті приміщень  $H_{\text{п}}=4$ м. Якщо висота приміщення  $H_{\text{п}} \leq 4$  м (наприклад, житлові будівлі), то величина

$$\Delta t = t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о}}, \quad (3.5)$$

де  $t_{\text{вн}}$  – розрахункова температура повітря усередині приміщень;

$t_{\text{р.о}}$  – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення [10].

Різниця температур для приміщень, суміжних із навколишнім середовищем:

$$\Delta t = t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о}} = 20 - (-22) = 42^\circ\text{C}.$$

Значення додаткових втрат теплоти у частках до основних беруть наступними [10]:

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 27   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

– для зовнішніх вертикальних і нахилених огорожень, які орієнтовані за напрямками, звідки в січні дує вітер зі швидкістю, що перевищує 4,5 м/с з повторюваністю не менше як 15 % – 0,05 при швидкості вітру до 5 м/с і 0,10 – при швидкості 5 м/с і більше;  
при типовому проектуванні додаткові втрати теплоти рекомендовано враховувати у розмірі 0,05 для всіх приміщень; – для зовнішніх вертикальних і нахилених огорожень багатоповерхових будівель з

кількістю поверхів 16 і більше – 0,20 для першого та другого поверхів, 0,15 – для третього і 0,10 для четвертого поверхів; для 10...15 – поверхових будинків – 0,10 для першого і другого поверхів і 0,15 – для третього поверху. Згідно з [10] для вертикальних та похилих огорожуючих конструкцій при розрахунковій швидкості зовнішнього повітря (в січні)  $\Sigma\beta = 0,05$ .

### 3.5 Визначення коефіцієнтів теплопередачі огорожувальних конструкцій

-Підвал

Поділ площі підвалу на зони, подано на рисунку 3.1

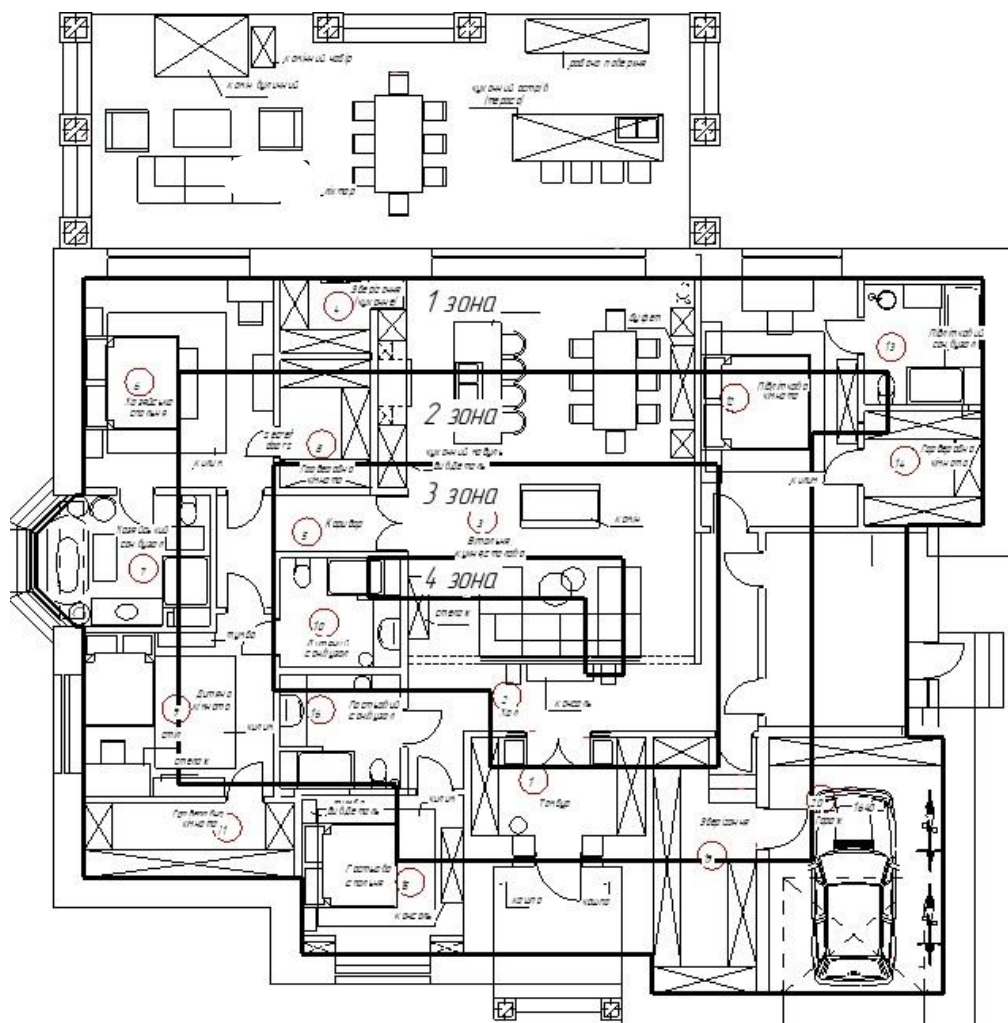


Рисунок 3.1 – Поділ площі підлоги на зони

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     | 28   |

Відповідно площі зон складають:

$$F_1 = 123,9 \text{ (м}^2\text{)} - \text{перша зона};$$

$$F_2 = 81,64 \text{ (м}^2\text{)} - \text{друга зона};$$

$$F_3 = 47,56 \text{ (м}^2\text{)} - \text{третя зона};$$

$$F_4 = 5,9 \text{ (м}^2\text{)} - \text{четверта зона}.$$

Термічні опори теплопередачі окремих зон становлять:

$$- \text{ для першої зони - } r_1 = 2,15 \left( \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right);$$

$$- \text{ для другої зони - } r_2 = 4,3 \left( \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right);$$

$$- \text{ для третьої зони - } r_3 = 8,6 \left( \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right);$$

$$- \text{ для четвертої зони } r_4 = 14,2 \left( \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right).$$

– Стіни

Теплофізичні характеристики конструкції зовнішніх стін наведено у табл. 3.1.

Стіни хоча й мають велику площу, але є добре утепленими – тому втрати через них будуть не над-то високі. Будівля будувалась з червоної цегли і утеплена ROCKWOOL Frontrock 35.

Таблиця 3.1 - Теплофізичні характеристики будівельних матеріалів для стін будинку

| Найменування матеріалу                                  | Розрахункові характеристики |                |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------|
|                                                         | $\lambda$<br>Вт/(м·К)       | $\delta$<br>мм |
| Фасадна атмосферостійка фарба<br>Cerasit CT-42          | 0,7                         | 5              |
| Фасадна штукатурка                                      | 1,2                         | 20             |
| Поліуретановий клей для пінополістиролу<br>CT84 Cerasit | 0,0349                      | 5              |
| ROCKWOOL Frontrock 35                                   | 0,0373                      | 100            |
| Гідроізоляційна мастика                                 | 1,05                        | 5              |
| Червона цегла                                           | 0,95                        | 380            |
| Гідроізоляційна мастика                                 | 1,05                        | 5              |
| Цементно-піщана штукатурка                              | 1,2                         | 20             |

Термічний опір стін дорівнює:

$$r = \frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,7} + 2 \cdot \frac{0,02}{1,2} + \frac{0,005}{0,0349} + 2 \cdot \frac{0,005}{1,05} + \frac{0,1}{0,0373} + \frac{0,38}{0,95} + \frac{1}{23} = 4,143 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}.$$

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 29   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

Коефіцієнт теплопередачі для стін рівний:

$$K_i = 1/\Gamma_i, \quad (3.6)$$

$$K_{ст} = 1/3,085 = 0,241 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

–Перекриття, суміжне з ґорищем

Коефіцієнти теплопередачі деяких будівельних матеріалів огорожувальних конструкцій

наведені в [10]. Термічний опір повітряного прошарку ґорища згідно з [10] становить  $\Gamma_{п} = 0,28 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$ . Перекриття складається з листа ДСП і утеплювача ROCKWOOL Rockmin, товщина і теплопровідність яких, відповідно, дорівнюють  $\delta_{дсп} = 0,025 \text{ м}$ ,  $\delta_{ут} = 0,2 \text{ м}$  та  $\lambda_{дсп} = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ,  $\lambda_{ут} = 0,039 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ . Враховуючи це, загальний термічний опір теплопередачі перекриття, суміжного з ґорищем, дорівнює:

$$\Gamma_i = \frac{1}{\alpha_{вн}} \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (3.7)$$

де  $\alpha_{вн} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ,  $\alpha_3 = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$$\Gamma_i = \frac{1}{8,7} + \frac{0,025}{0,2} + \frac{0,2}{0,039} + \frac{1}{8,7} = 5,483 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі для перекриття, суміжного з ґорищем, рівний:

$$K_{гор} = 1/5,483 = 0,182 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

### 3.6. Визначення площ огорожувальних конструкцій

-Площа вікон:

$$S_{в1} = 1,90 \cdot 2,65 = 5,035 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$S_{в2} = 0,60 \cdot 1,18 = 0,708 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$S_{в3} = 2 \cdot 2,10 \cdot 2,35 = 9,87 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$S_{в4} = 2,018 \cdot 2,75 = 5,55 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$S_{в5} = (1121 + 1518 + 1121) \cdot 2,35 = 8,836 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$S_{в6} = 3,00 \cdot 2,80 = 8,4 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$S_{в7} = 4,50 \cdot 2,80 = 12,6 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Загальна площа вікон:  $F_v = 51,00 \text{ м}^2$ .

- Площа зовнішніх дверей та гаражних секційних воріт:

Розміри металевих дверей:  $F_{мет.двер1} = 2,2 \cdot 1,9 = 4,18 \text{ м}^2$ .

$$F_{мет.двер2} = 2,2 \cdot 0,80 = 1,76 \text{ м}^2.$$

Розміри секційних гаражних воріт:  $F_{вор} = 2,5 \cdot 3,00 = 7,5 \text{ м}^2$ .

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 30   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

-Площа зовнішніх стін:

$$F_{ст} = P \cdot H - F_{вор} - F_{мет.двер} - F_{вік} = 280 - 51 - 7,5 - 5,94 = 215,5 \text{ м}^2.$$

де Р – зовнішній периметр будинку, м. Р = 69,7 м (визначено з плану будинку); Н – висота поверхів, м.

### 3.7 Визначення втрат теплоти через огорожувальні конструкції

Втрати теплоти через вікна:

$$Q_{от} = K_{от} \cdot F_{в} \cdot \Delta t \cdot 1 \cdot 10^{-3}, \text{кВт}, \quad (3.8)$$

$$Q_{от} = 0,953 \cdot 51,00 \cdot 42 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 2,05 \text{кВт}.$$

Втрати теплоти через зовнішні двері та гаражні секційні ворота

$$Q_{дв.вор} = (K_{дв} \cdot F_{дв} + K_{вор} \cdot F_{вор}) \cdot \Delta t \cdot 1 \cdot 10^{-3}, \text{кВт}, \quad (3.9)$$

$$Q_{дв.вор} = (1,7 \cdot 5,94 + 7,5 \cdot 1,5) \cdot 42 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0,9 \text{кВт}$$

Втрати теплоти через цокольний поверх(підвал):

Теплові втрати для підвалу розраховуються окремо до кожної зони відповідно, за формулою:

$$Q = \frac{F_i}{r_i \cdot 1000} \cdot \Delta t_1, \text{ (кВт)} \quad (3.10)$$

$$Q_I = \frac{123,9}{2,15 \cdot 1000} \cdot 42 = 2,42 \text{ (кВт)} - \text{перша зона};$$

$$Q_{II} = \frac{81,64}{4,3 \cdot 1000} \cdot 42 = 0,79 \text{ (кВт)} - \text{друга зона};$$

$$Q_{III} = \frac{47,56}{8,6 \cdot 1000} \cdot 42 = 0,23 \text{ (кВт)} - \text{третья зона};$$

$$Q_{III} = \frac{5,9}{14,2 \cdot 1000} \cdot 42 = 0,0175 \text{ (кВт)} - \text{четверта зона};$$

$$\Sigma Q = 2,42 + 0,79 + 0,23 + 0,0175 = 3,45 \text{ (кВт)} \text{ сумарні теплові втрати через підлогу.}$$

Втрати теплоти через перекриття-горище:

$$Q_{гор} = K_{гор} \cdot F_{гор} \cdot \Delta t \cdot 0,9 \cdot 10^{-3}, \text{кВт}, \quad (3.11)$$

$$Q_{гор} = 0,182 \cdot 240 \cdot 8 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} = 0,315 \text{кВт}.$$

Втрати теплоти через зовнішні стіни:

$$Q_{ст} = K_{ст} \cdot F_{ст} \cdot \Delta t \cdot (1 + \Delta_{дод}) \cdot 1 \cdot 10^{-3}, \text{кВт}, \quad (3.12)$$

$$Q_{ст} = 0,241 \cdot 215 \cdot 42 \cdot (1 + 0,05) \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 2,3 \text{кВт}.$$

Загальні втрати теплоти через огорожувальні конструкції:

$$Q_{заг} = Q_{ст} + Q_{гор} + Q_{вік} + Q_{підв} + Q_{дв.вор}; \quad (3.13)$$

$$Q_{заг} = 2,05 + 0,9 + 3,45 + 2,3 + 0,315 = 9 \text{ кВт}.$$

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 31   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

### 3.8 Витрати теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря

$$Q_{\text{інф}} = (1/3600) c_{\text{пов}} \cdot \rho_{\text{пов}} \cdot F_{\text{п}} \cdot h \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о}}), \quad (3.14)$$

де  $c_{\text{пов}}$  – питома масова теплоємність повітря, кДж/(кг·К), яку можна взяти 1,005 кДж/(кг·К);

$\rho_{\text{пов}}$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>, яка розраховується за точною формулою [10], або її можна наближено взяти 1,2 кг/м<sup>3</sup>;

$F_{\text{п}}$  – площа підлоги приміщення, м<sup>2</sup>;  $h$  – висота приміщення від підлоги до стелі, м.

Висота поверхів в даному будинку складає  $h = 4$  м. Площа кімнат становить  $F_{\text{п.кім}} = 213,08$  м<sup>2</sup>. Площа санвузлів становить  $F_{\text{п.сан}} = 29,12$  м<sup>2</sup>. Площі приміщень визначено з плану будинку. Для кімнат:

$$Q_{\text{інф}} = (1/3600) \cdot 1,005 \cdot 1,2 \cdot 213,08 \cdot 4 \cdot (20 - (-22)) \cdot 0,3 = 3,6 \text{ кВт}.$$

Для санвузлів:

$$Q_{\text{інф}} = (1/3600) \cdot 1,005 \cdot 1,2 \cdot 29,12 \cdot 4 \cdot (20 - (-22)) \cdot 1 = 1,63 \text{ кВт}.$$

Загальні витрати теплоти на нагрів інфільтраційного повітря складають:

$$Q_{\text{інф}} = Q_{\text{інф.кім}} + Q_{\text{інф.кух}} \quad , \quad (3.15)$$

$$Q_{\text{інф}} = 3,6 + 1,63 = 5,23 \text{ кВт} = 5,23 \text{ кВт}.$$

Теплові втрати будинку становлять:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{інф}} + Q_{\text{он}} = 5,23 + 9 = 14,23 \text{ кВт}.$$

### 3.9 Середня витрата теплоти на опалення

Середня витрата теплоти на опалення розраховується за формулою:

$$Q_o^{cp} = Q \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.о}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о}}}, \quad (3.16)$$

де  $t_{\text{ср.о}}$  – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період. Для Києва  $t_{\text{ср.о}} = -1,1^\circ\text{C}$

Тоді:

$$Q_o^{cp} = 14,23 \frac{20 - (-1,1)}{20 - (-22)} = 7,14 \text{ кВт}.$$

### 3.10 Річна витрата теплоти на опалення

Річна витрата на опалення, кВт·год/рік, розраховується за формулою

$$Q_o^{\text{річ}} = Q_o^{cp} \cdot n_o \cdot 24, \quad (3.17)$$

де,  $n_o$  – тривалість опалювального періоду;

$Q_o^{cp} = 7,14$  - середня витрати теплоти на опалення, кВт.

За [4] для м. Києва  $n_o = 176$ , діб. Тоді:

$$Q_o^{\text{річ}} = 7,14 \cdot 176 \cdot 24 = 30159 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}.$$

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 32   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

#### 4 РОЗРАХУНОК ВИТРАТ ТЕПЛОТИ НА ГАРЯЧЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Середні витрати теплоти на гаряче водопостачання за опалювальний період розраховується за формулою:

$$Q_{ГВП}^{cp} = M_{ГВП} \cdot k_{em} \cdot c_6 (t_{2.6} - t_{x.3}), \quad (4.1)$$

$$Q_{ГВП}^{cp} = 0,0073 \cdot 1,2 \cdot 4,187 \cdot 10^3 \cdot (55 - 5) = 1,83 \text{ кВт.}$$

$c_6$  - теплоємність води,  $c_6 = 4,187 \left( \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right)$ ;

$k_{em}$  - коефіцієнт, що враховує втрати тепла від трубопроводів  $k_{em} = 1,2$ ;

$t_{2.6}$  - температура гарячої води у споживача  $t_{2.6} = 55^\circ\text{C}$ ;

$t_{x.3}$  - температура води в зимній період  $t_{x.3} = 5^\circ\text{C}$ ;

$M_{ГВП}$  - масова витрата води на ГВП.

Величина масової витрати гарячої води визначається за формулою:

$$M_{ГВП} = \frac{m \cdot a}{24 \cdot 3600}, \quad (4.2)$$

де  $m$  – кількість людей, які використовують гарячу воду в будинку,  $m = 7$  чол.;  $a$  – норма витрати гарячої води на одну людину за добу,  $a = 90$  кг/добу.

$$M_{ГВП} = \frac{90 \cdot 7}{24 \cdot 3600} = 0,0073 \left( \frac{\text{кг}}{\text{с}} \right).$$

Максимальні витрати теплоти на гаряче водопостачання житлових та громадських будівель за опалювальний період складає:

$$Q_{ГВП}^{макс} = (2 \dots 2,4) \cdot Q_{ГВП}^{cp}, \quad (4.3)$$

$$Q_{ГВП}^{макс} = 2 \cdot 1,83 = 3,66 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунків теплового навантаження на систему опалення та витрат теплоти на гаряче водопостачання зведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Витрати теплоти на систему опалення та ГВП

| Вид навантаження                 | Позначення      | Величина, кВт |
|----------------------------------|-----------------|---------------|
| 1. Витрати теплоти на опалення   | $Q_{оп}$        | 14,23         |
| 2. Витрати теплоти на вентиляцію | $Q_{вент}$      | Відсутні      |
| 3. Витрати теплоти на ГВП        | $Q_{гв}^{макс}$ | 3,66          |
| Загальні витрати теплоти         | $\sum q$        | 17,83         |

## 5. РОЗРАХУНОК ВГТО І ПАРАМЕТРІВ НИЖНЬОГО КОНТУРУ

### 5.1. Методика розрахунку ВГТО і параметрів нижнього контуру

Існують методики розрахунку вертикального ґрунтового теплообмінника для теплонасосної системи опалення, але в цих методиках не врахований вплив умов роботи ВГТО на ефективність роботи всієї теплонасосної системи.

Тому, для цієї роботи були проведені більш детальні розрахунки, при яких витрати зовнішньої енергії  $l_{оп}$  на теплонасосну систему будуть мінімальні [3].

На рис. 5.1 зображена принципова схема ТНС низькотемпературного водяного опалення з використанням ВГТО. Головні переваги – це високий коефіцієнт трансформації за рахунок постійної високої температури джерела теплоти, простота обслуговування геотермальних теплообмінників, для установки необхідна невелика площа ділянки. Недолік – високі початкові капіталовкладення на інсталяцію обладнання (буріння свердловини, погодження цих робіт з відповідними організаціями і т.д.).

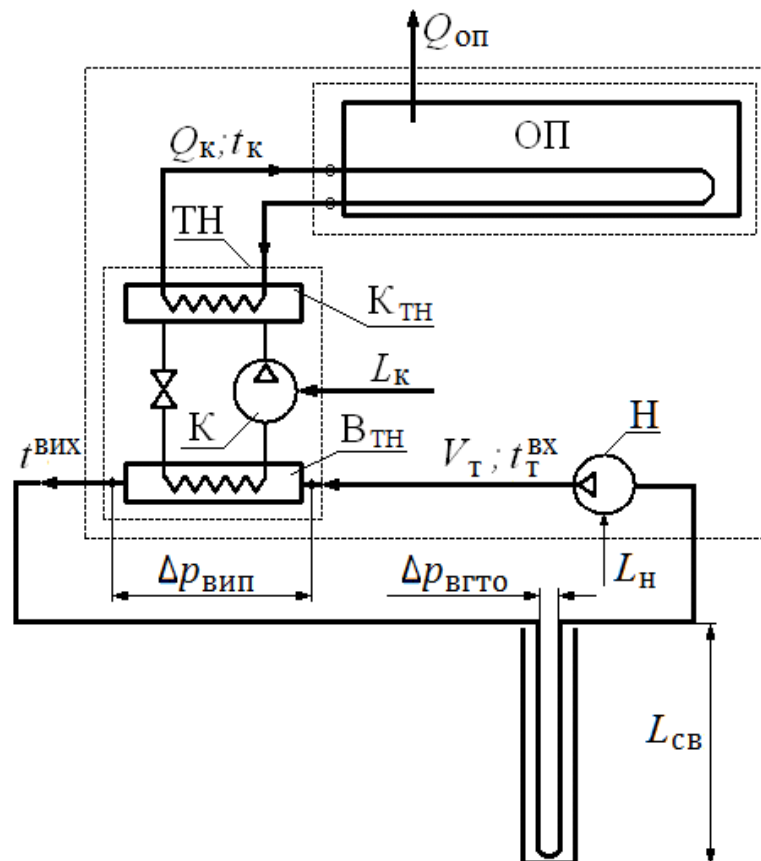


Рисунок 5.1 - Принципова схема теплонасосної системи низькотемпературного водяного опалення з використанням теплоти ґрунту за допомогою вертикальних ґрунтових теплообмінників: ОП – опалюване приміщення, ТН – тепловий насос,  $K_{ТН}$  – конденсатор ТН,  $B_{ТН}$  – випарник ТН, К – компресор, Н – насос,  $L_K$  – робота приводу компресора ТН,  $L_H$  – робота приводу насоса,  $L_{св}$  – глибина свердловини.

Для підвищення енергетичної ефективності ВГТО верхній шар  $L \approx 10$  м повинен бути теплоізолюваний, оскільки в холодну пору року (протягом опалювального періоду) температура у верхньому шарі менше незбуреної температури на глибині.

Питомі сумарні затрати зовнішньої енергії на ТНС низькотемпературного водяного опалення можна визначити як

$$l_{\text{оп}} = (L_k + L_n)/Q_k, \quad (5.1)$$

де  $L_k$ ,  $L_n$  – затрати енергії на компресор ТН та на нагнітач теплоносія відповідно, кВт;  $Q_k$  – тепловий потік, відведений від конденсатора ТН, кВт.

Затрати енергії на компресор ТН

$$L_k = Q_{\text{вип}}/(\varphi - 1). \quad (5.2)$$

Теплове навантаження випарника ТН, з одного боку, можна подати як

$$Q_{\text{вип}} = V_m \rho_m c_p (t_m^{\text{вх}} - t_m^{\text{вих}}), \quad (5.3)$$

а з іншого – визначити за співвідношенням

$$Q_{\text{вип}} = Q_{\text{відв}} = w \frac{\pi d_{\text{вн}}^2}{4} \rho_m c_p (t_m^{\text{вх}} - t_m^{\text{вих}}), \quad (5.4)$$

де  $V_m$  – об’ємна витрата теплоносія, м<sup>3</sup>/с;  $\rho_m$  – густина, кг/м<sup>3</sup>;  $c_p$  – ізобарна теплоємність, кДж/(кг·°C);  $t_m^{\text{вх}}$ ,  $t_m^{\text{вих}}$  – температура теплоносія на вході та виході з випарника ТН відповідно, °C;  $w$  – швидкість руху теплоносія в ВГТО, м/с;  $d_{\text{вн}}$  – внутрішній діаметр труби ВГТО, м.

Без урахування не стаціонарності процесу підведений тепловий потік до теплообмінника від ґрунту визначається за співвідношенням

$$Q_{\text{підв}} = q_{\text{г}} L_{\text{св}}, \quad (5.5)$$

де  $q_{\text{г}}$  – поточне значення теплового потоку в конкретному місяці опалювального сезону, Вт/м;  $L_{\text{св}}$  – глибина свердловини ВГТО, м.

Затрати енергії на насос для перекачки теплоносія нижнього джерела енергії визначаються за співвідношенням

$$L_n = \frac{V_m (\Delta p_{\text{вип}} + \Delta p_{\text{вгто}})}{\eta_n \eta_{\text{пр}}}, \quad (5.6)$$

де  $\Delta p_{\text{вип}}$ ,  $\Delta p_{\text{вгто}}$  – гідравлічні втрати тиску у випарнику ТН та у ВГТО відповідно, кПа;  $\eta_n$  і  $\eta_{\text{пр}}$  – ККД насоса теплоносія нижнього джерела енергії і його приводу відповідно. Можна прийняти, що в оптимальному режимі роботи для насоса  $\eta_n = 0,8$ , а ККД приводу  $\eta_{\text{пр}} = 0,95$ .

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 35   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

Втрати тиску при подоланні потоком теплоносія гідравлічного опору ґрунтового теплообмінника визначаються за формулою Дарсі – Вейсбаха

$$\Delta p_{\text{ВГТО}} = \lambda \frac{\rho_m w^2}{2} \frac{L_{\text{ВГТО}}}{d_{\text{вн}}}, \quad (5.7)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного тертя,  $L_{\text{ВГТО}} = 2L_{\text{св}}$  – довжина труби ВГТО, м.

Для подальших розрахунків прийнято, що коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  визначається залежно від режиму течії теплоносія:

- при ламінарному режимі течії в гладких трубах ( $Re < 2300$ ) коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  визначається згідно із законом Пуазейля

$$\lambda = 64/Re, \quad (5.8)$$

- при турбулентному режимі течії ( $Re < 2300$ ) коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  для гладких труб визначається за рівнянням Блазіуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}, \quad (5.9)$$

де  $Re = wd_{\text{вн}}/\nu_m$ , а  $\nu_m$  – кінематична в'язкість теплоносія, м<sup>2</sup>/с.

Коефіцієнт трансформації теплоти ідеального циклу Карно можна записати у такому вигляді:

$$\varphi_T = \left[1 - \frac{T_{\text{с}}^{\text{ТН}}}{T_{\text{к}}^{\text{ТН}}}\right]^{-1} = \left[1 - \frac{273+t_{\text{Т}}^{\text{вих}}-\Delta t_{\text{вип}}}{273+t_{\text{к}}+\Delta t_{\text{к}}}\right]^{-1}, \quad (5.10)$$

де  $\Delta t_{\text{вип}}$  – температурний перепад між потоками теплоносія й холодильного агента на виході з випарника теплового насоса, °С;  $\Delta t_{\text{к}}$  – температурний перепад між потоками гріючого теплоносія в системі опалення й холодильного агента на виході з конденсатора ТН, °С. Згідно з рекомендаціями, можна прийняти, що для теплоносія у випарнику ТН –  $\Delta t_{\text{вип}} = 5^\circ\text{C}$ , для води в конденсаторі ТН –  $\Delta t_{\text{к}} = 5^\circ\text{C}$  [13].  $t_{\text{Т}}^{\text{вих}} = 6^\circ\text{C}$  – температура теплоносія на виході з випарника;  $t_{\text{к}}$  – температура води на виході з конденсатора приймається в залежності від зовнішньої температури. З розрахунків приймаємо  $t_{\text{к}} = 50^\circ\text{C}$ , що відповідає розрахунковій температурі зовнішнього повітря  $t_{\text{р.о}} = -22^\circ\text{C}$ .

Після ряду математичних перетворень, отримаємо:

$$l_{\text{оп}} = \frac{1}{\varphi} \left[ 1 + \frac{\Delta p_{\text{вип}}(\varphi-1)\pi d_{\text{вн}}^2 w}{2q_{\text{с}}L_{\text{св}}\eta_{\text{н}}\eta_{\text{пр}}} + \frac{\lambda w^3(\varphi-1)\pi d_{\text{вн}}\rho_m}{4q_{\text{с}}\eta_{\text{н}}\eta_{\text{пр}}} \right]. \quad (5.11)$$

За цією формулою в роботі [3] був проведений чисельний аналіз залежності питомих сумарних затрат зовнішньої енергії на ТНС опалення від швидкості теплоносія. Приклад цієї залежності зображене на рисунку 5.2 [3].

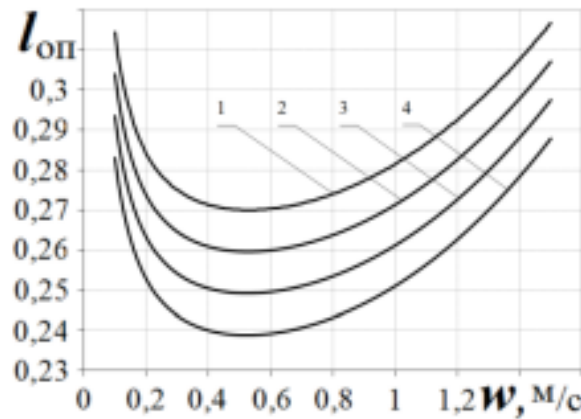


Рисунок 5.2 - Залежність питомих сумарних затрат зовнішньої енергії на ТНС опалення від швидкості теплоносія: 1-4 температура теплоносія на вході до випарника  $t^{BX}_T = 2, 4, 6, 8 \text{ } ^\circ\text{C}$  при постійних  $q_T = 50 \text{ Вт/м}$ ;  $L_{CB} = 75 \text{ м}$ ;  $d_{BH} = 0,0032 \text{ м}$ ;

Як видно з рисунку, існує чіткий мінімум питомих затрат енергії  $l_{оп}$  від швидкості теплоносія в нижньому контурі, який відповідає оптимальному значенню цієї швидкості.

Оптимальні значення швидкості теплоносія в нижньому контурі, в залежності від різних параметрів ґрунтового теплообмінника наведені на рисунку 5.3 [3].

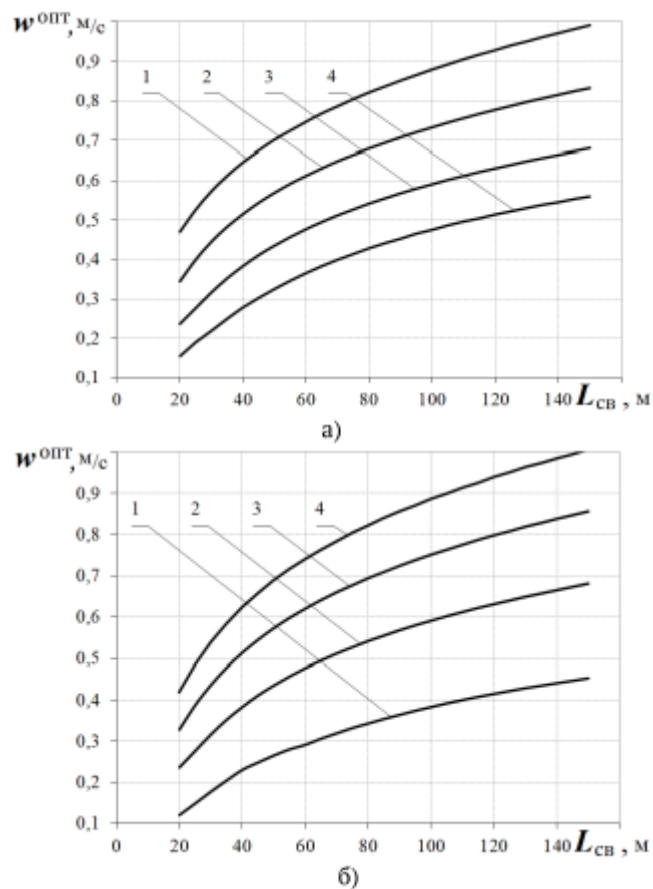


Рисунок 5.3 - Залежність оптимальної швидкості теплоносія від глибини свердловини:

а) 1-4 внутрішній діаметр труби ВГТО  $d_{\text{вн}} = 0,02; 0,025; 0,032; 0,04$  м при постійних  $q_{\text{г}} = 50$  Вт/м і  $t_{\text{г}}^{\text{вх}} = 4$  °С; б) 1-4 середній за сезон питомий тепловий потік  $q_{\text{г}} = 25,50,75,100$  Вт/м при постійних  $d_{\text{вн}} = 0,032$  м і  $t_{\text{г}}^{\text{вх}} = 4$  °С;

## 5.2 Розрахунок ВГТО

Вихідні дані для розрахунків:

- температура 25% водяного розчину етиленгліколю на виході з випарника ТН  $t_{\text{г}}^{\text{вих}} = 6$  °С;
- теплофізичні властивості 25% водяного розчину етиленгліколю:  $\rho_{\text{г}} = 1044,636 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ; ізобарна теплоємність  $c_p = 3765 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{К}$ ; кінематична в'язкість  $\nu_{\text{г}} = 3,308 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$  [12];
- втрати тиску у випарнику ТН  $\Delta p_{\text{вип}} = 35$  кПа [13];
- внутрішній діаметр труб вертикального ГТ  $d_{\text{вн}} = 0,040$ м;
- розрахункова температура на виході з конденсатора
- температура ґрунту 10°С
- температура навколишнього повітря  $t_0 = -22$  °С;
- оптимальна різниця температур у випарнику  $\Delta t_{\text{вип}} = 4$  °С;
- глибина свердловини  $H_{\text{св}} = 50$  м.

### 5.2.1 Визначення оптимальної швидкості теплоносія

Для нашими вихідних параметрів з рис.5.3 (а), знаходимо оптимальну швидкість теплоносія через теплообмінник:

$$w_{\text{опт}} = 0,41, \text{ м/с.}$$

### 5.2.2 Визначення відведеного теплового потоку

З технічного завдання відомо, що будівля побудована на ґрунті насиченому вологою. Для даного типу ґрунту, з таблиці, що наведена в літературі [3], відведений тепловий потік на 1 м свердловини буде дорівнювати:

$$q_{\text{г}} = 30 \text{ Вт/м.}$$

### 5.2.3 Розрахунок теплового потоку від свердловини

Загальний тепловий потік від однієї свердловини:

$$Q_{\text{св}} = q_{\text{г}} * L_{\text{св}} = 30 * 50 = 1,5, \text{ кВт.}$$

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 38   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

### 5.2.4 Визначення коефіцієнта трансформації

Розрахунок коефіцієнта трансформації теплоти ідеального циклу Карно можна записати у такому вигляді:

$$\varphi_T = \left[ 1 - \frac{T_{\text{г}}^{\text{ТН}}}{T_{\text{к}}^{\text{ТН}}} \right]^{-1} = \left[ 1 - \frac{273 + t_{\text{г}}^{\text{Вих}} - \Delta t_{\text{Вип}}}{273 + t_{\text{к}} + \Delta t_{\text{к}}} \right]^{-1},$$

де  $\Delta t_{\text{Вип}}$  – температурний перепад між потоками теплоносія й холодоагенту на виході з випарника теплового насоса, °C;  $\Delta t_{\text{к}}$  – температурний перепад між потоками холодоагенту і води на виході з конденсатора, згідно з рекомендаціями, можна прийняти, що для теплоносія у випарнику ТН –  $\Delta t_{\text{Вип}} = 4^\circ\text{C}$ , для води в конденсаторі ТН –  $\Delta t_{\text{к}} = 5^\circ\text{C}$  [13].  $t_{\text{г}}^{\text{Вих}} = 6^\circ\text{C}$  – температура теплоносія на виході з випарника;  $t_{\text{к}}$  – температура води на виході з конденсатора приймається в залежності від зовнішньої температури. З розрахунків приймаємо  $t_{\text{к}} = 40^\circ\text{C}$ , що відповідає розрахунковій температурі зовнішнього повітря  $t_{\text{р.о}} = -22^\circ\text{C}$ .

Знаходимо коефіцієнт трансформації:

$$\varphi_T = \left[ 1 - \frac{(273 + 6 - 4)}{273 + 40 + 5} \right]^{-1} = 7,4.$$

Дійсний коефіцієнт трансформації:

$$\varphi = \varphi_T * \eta_{\text{ТН}} = 6,6 * 0,6 = 4,4.$$

### 5.2.5 Тепловий баланс ТНУ

Тепловий потік в систему опалення від конденсатора:

$$Q_{\text{конд}} = Q_{\text{вип}} + L,$$

$$\phi = \frac{Q_{\text{вип}}}{L} + 1 \rightarrow Q_{\text{вип}} = (\phi - 1) \cdot L \rightarrow L = \frac{Q_{\text{вип}}}{\phi - 1},$$

$$Q_{\text{конд}} = Q_{\text{вип}} + Q_{\text{вип}} \cdot \frac{1}{\phi - 1} = Q_{\text{вип}} \cdot \left( 1 + \frac{1}{\phi - 1} \right) = Q_{\text{вип}} \cdot \frac{\phi}{\phi - 1}.$$

### 5.2.6 Визначення теплового потоку від ґрунтового теплообмінника

Оскільки  $Q_{\text{конд}} = Q_{\text{оп}}$ , а  $Q_{\text{вип}} = Q_{\text{тт}}$ , то необхідний загальний тепловий потік від ґрунтового теплообмінника можна визначити як:

$$Q_{\text{тт}} = Q_{\text{оп}} * \frac{(\phi - 1)}{\phi} = 19,3 * \frac{4,4 - 1}{4,4} = 14,9 \text{ кВт}.$$

### 5.2.7 Необхідна кількість свердловини:

$$n = \frac{Q_{\text{тт}}}{Q_{\text{св}}} = \frac{14900}{1500} = 9,9.$$

Приймаємо:  $n = 10$  шт.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 39   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

### 5.2.8 Розташування свердловин

При розробці технічного проекту була проведена оцінка геометричних параметрів і технологічних показників ґрунтового акумулятора теплоти. Це однотипні U-образні теплообмінники, виготовлені з «зшитого» поліетилену з однаковим тепловим навантаженням. Ґрунтовий акумулятор складається з 10 таких теплообмінників, кожний з яких має свою зону впливу, яка дорівнює 2,5 метра. На рис. 5.2 показані межі дії кожного з теплообмінників. Висота теплообмінників становить 50 м.

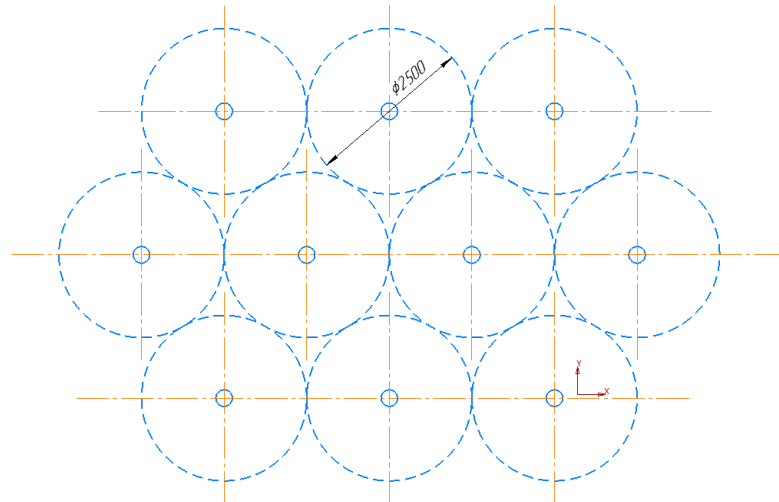


Рисунок 5.4 - Розташування теплообмінників

### 5.3. Визначення витрати теплоносія контуру теплового насосу і втрати тиску в нижньому контурі

#### 5.3.1 Втрати тиску у ґрунтовому теплообміннику

Для подальших розрахунків прийнято, що коефіцієнт гідравлічного  $\lambda$  визначається залежно від режиму течії теплоносія:

- при ламінарному режимі течії в гладких трубах ( $Re < 2300$ ) коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  визначається згідно із законом Пуазейля:

$$\lambda = 64/Re,$$

- при турбулентному режимі течії ( $Re > 2300$ ) коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  для гладких труб визначається за рівнянням Блазіуса:

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}},$$

де  $Re = w \cdot d_{\text{вн}} / \nu_T$ , а  $\nu_T$  - кінематична в'язкість теплоносія,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

$$Re = 0,41 \cdot 0,04 / (3,308 \cdot 10^{-6}) = 4957,7,$$

$Re > 2300$  — отже, потік турбулентний. Визначимо коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$  за рівнянням Блазіуса:

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 40   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

$$\lambda = \frac{0,3164}{4957^{0,25}} = 0,038,$$

З формули Дарсі-Вейсбаха (5.7) втрати тиску дорівнюють:

$$\Delta p_{\text{ВГТО}} = \lambda * \frac{\rho_T * w^2}{2} * \frac{L_{\text{ВГТО}}}{d_{\text{ВН}}} = 0,038 * \frac{1044,6 * 0,41^2}{2} * \frac{100}{0,04} = 8,35, \text{ кПа},$$

Оскільки підключення ґрунтових теплообмінників було обране таке: дві паралельні гілки, к кожній послідовно підключено по п'ять теплообмінників, то загальна втрата тиску у нижньому контурі буде дорівнювати  $\Delta p_{\text{ВГТО}} = 8,35 \cdot 5 = 41,75$  кПа.

### 5.3.2 Загальні втрати тиску

Втрати тиску у системі будуть дорівнювати:

$$\Delta p_{\text{ВГТО}} + \Delta p_{\text{вип}} = 41,75 + 34 = 75,75 \text{ кПа} = 7,6 \text{ м. в. ст},$$

### 5.3.3 Витрата теплового насосу

Визначаємо максимальну витрату води.

$$V^T = w * \frac{(\pi * d_{\text{ВН}}^2)}{4} = 0,41 * \frac{(3,14 * 0,04^2)}{4} = 0,0005 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 1,8 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

Оскільки підключення ґрунтових теплообмінників - дві паралельних гілки, к кожній підключено по п'ять теплообмінників, то загальна витрата теплоносія у нижньому контурі буде дорівнювати  $V^T = 2 \cdot 1,8 = 3,6 \text{ м}^3/\text{год}$ .

## 5.4. Підбір обладнання

### 5.4.1 Підбір теплового насосу

У нашому випадку, для забезпечення максимального теплопостачання від поновлювальних джерел прийнято обладнання: «Модульний тепловий насос Vaillant flexoTHERM exclusive VWF 197/4» у кількості 1 комплекту.

Таблиця 5.1 - Технічна характеристика обладнання

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 41   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

|                                       |                              |
|---------------------------------------|------------------------------|
| Бренд                                 | Vaillant                     |
| Вага, кг                              | 187                          |
| Гарантія, років                       | 1                            |
| Джерело тепла                         | грунт/вода                   |
| Живлення                              | (380 В)                      |
| Живлення, В                           | 400                          |
| З'єднання контуру теплоносія, дюйм    | 1.1/2"                       |
| Коефіцієнт енергоефективності COP     | 4.7                          |
| Країна виробництва                    | Німеччина                    |
| Макс. потужність опалення, кВт        | 19.7                         |
| Макс. потужність охолодження, кВт     | 22.3                         |
| Макс. температура теплоносія, °C      | 75                           |
| Потужність споживання, кВт            | 4.7                          |
| Призначення                           | опалення / ГВП / охолодження |
| Рівень шуму, дБ                       | 46/47                        |
| Розміри внутрішнього блоку, ВхШхГ, мм | 1183x595x600                 |
| Холодоагент                           | R410A                        |

Обладнання відповідає вимогам:

- ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. “Шум. Общие требования безопасности.”;
- ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. “Вибрационная безопасность. Общие требования”;

Тепловий насос має такі переваги та особливості:

- Один тепловий насос для використання різних джерел тепла (грунт, або вода, або повітря).
- Низькі витрати на опалення за рахунок високої ефективності роботи, незалежно від джерела тепла.
- Бездоганний комфорт. Температура нагріву до 65 ° С. Досконала система автоматики.
- Низький рівень шуму. Система звукоізоляції «Piharmonic».
- Моніторинг і облік спожитої електричної енергії.
- Можливість підключення до однофазної і трьох фазної мережі.
- Гарантована якість. Розроблений і виготовлений в Німеччині. Повний цикл передпродажного тестування.
- Тривалий термін служби.
- Можливість роботи в системах опалення з газовими котлами, сонячними колекторами, фотоелектричними елементами (photovoltaic).
- Компактні розміри і ергомічний дизайн.
- Панель управління з зрозумілим інтерфейсом.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 42   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

- Автоматичний вибір найбільш економічно вигідного генератора тепла в системі (газовий котел або тепловий насос).
- Просте проектування та швидкий монтаж і пуск. Немає необхідності працювати з фреоновими контурами [14].

#### 5.4.2 Підбір насосу нижнього контуру

Даний насос служить для циркуляції води в замкнутій системі нижнього контуру.

Вибираємо насос марки Yonos MAXO 25/0,5-12 фірми “Wilo”, Німеччина, з тиском 7,6 м.вод.ст. при витраті 3,6 м<sup>3</sup>/год., максимальна витрата – 11 м<sup>3</sup>/год., N=0,19 кВт.

Wilo Yonos MAXO – це високоефективний насос з електронним регулюванням. Циркуляційний насос с мокрим ротором, синхронний двигун по технології ЕСМ та вбудована система регулювання потужності для плавного регулювання перепаду тиску[14].

Графіки роботи насосу, технічні характеристики та зовнішній вигляд наведені нижче.

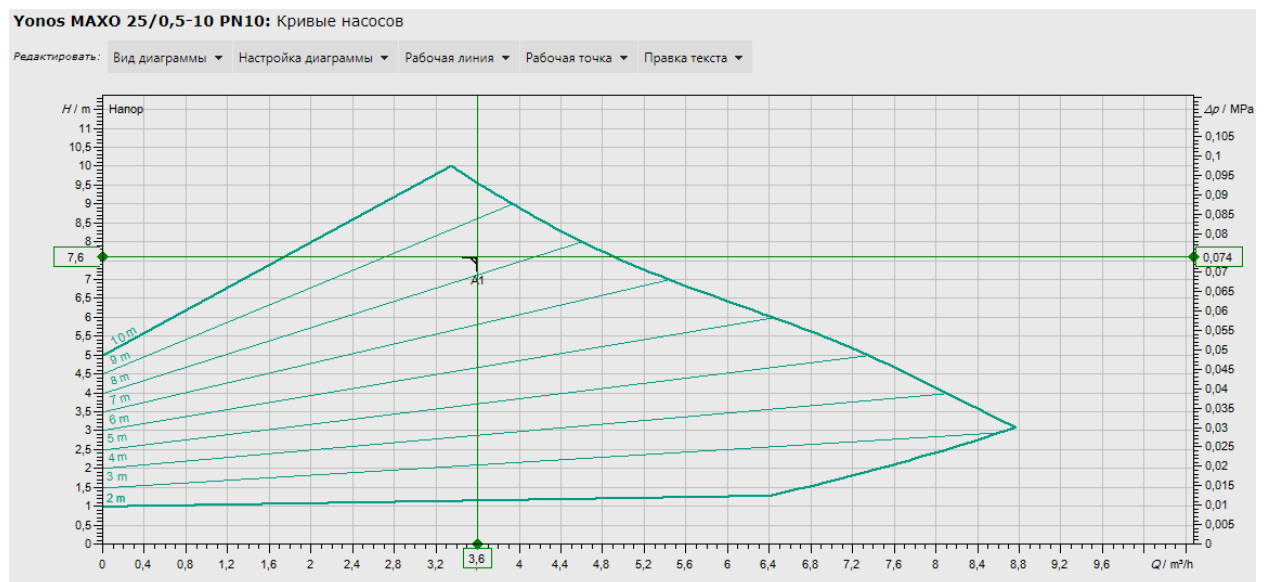


Рисунок 5.5 - Графіки роботи циркуляційного насосу з частотним перетворювачем

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     | 43   |

## Yonos MAXO 25/0,5-10 PN10: Описание продукта [\[Загрузить файл\]](#)

Тип текста

Т перекачиваемой жидкости: 40,00 °C  
 Расход: 3,60 m³/h  
 Напор: 7,60 m  
 Т перекачиваемой жидкости: -20...110 °C  
 Температура окружающей среды: -20...40 °C  
 Максимальное рабочее давление: 10 bar  
 Мин. изб. давление на входе в насос 50 °C: 3 m  
 Мин. изб. давление на входе в насос 95 °C: 10 m  
 Мин. изб. давление на входе в насос 110 °C: 16 m

### Данные электродвигателя

Индекс энергоэффективности (EEI):  $\leq 0.2$   
 Создаваемые помехи: EN 61800-3;2004+A1;2012/жилые зоны (C1)  
 Помехозащищенность: EN 61800-3;2004+A1;2012/промышленные зоны (C2)  
 Подключение к сети: 1~230V/50 Hz  
 Потребляемая мощность: 190 W  
 Частота вращения мин.: 1000 1/min  
 Частота вращения макс.: 4450 1/min  
 Класс защиты электродвигателя: IPX4D  
 Кабельный ввод: 2 x M20x1.5

### Материалы

Корпус насоса: EN-GJL-200  
 Рабочее колесо: PPE/PS-GF30  
 Вал: Stainless steel  
 Материал подшипника: Угольный графит

### Установочные размеры

Патрубок на всас. стороне DN: G 1½, PN 10  
 Патрубок на напорн. стороне DN: G 1½, PN 10  
 Монтажная длина: 180 mm

### Информация о размещении заказа

Изделие: Wilo  
 Обозначение изделия: Yonos MAXO 25/0,5-10 PN10  
 Масса нетто прибл.: 4,5 kg  
 Артикульный номер: 2120640

Рисунок 5.6 - Технічні характеристики насоса

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 44   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |



Рисунок 5.7 - Зовнішній вигляд насосу

#### 5.4.3 Питомі затрати енергії на ТНС

Визначимо питомі затрати енергії на ТНС опалення за допомогою рівняння (5.11) :

$$l_{\text{оп}} = \frac{1}{4,7} * \left[ 1 + \frac{(35 * (4,4 - 1) * 3,14 * 0,04^2 * 0,41)}{4 * 25 * 55 * 0,8 * 0,95} + \frac{(0,038 * 0,41^3 * (4,4 - 1) * 3,14 * 0,04 * 1044,6)}{4 * 25 * 0,8 * 0,95} \right] = 0,216;$$

#### 5.4.4 Загальні затрати енергії

З рівняння(5.1) загальні затрати енергії ТНС можуть бути визначені як:

$$(L_{\text{к}} + L_{\text{н}}) = l_{\text{оп}} * Q_{\text{к}},$$

$$(L_{\text{к}} + L_{\text{н}}) = 0,216 * 19,3,$$

$$(L_{\text{к}} + L_{\text{н}}) = 4,16, \text{ кВт.}$$

де  $Q_{\text{к}} = 19,3 \text{ кВт}$  з попередніх розрахунків для визначення необхідної кількості теплоти на опалення та ГВС.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 45   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

## 6. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ТА ГВП

### 6.1.1 Вибір буферної ємності системи опалення

Теплоаккумулятор – це буферна ємність, яка служить для накопичення надлишкового тепла, що виникає в процесі роботи котла, з метою подальшого використання в системі опалення в періодах між завантаженнями палива. Правильно підібраний теплоаккумулятор дозволить знизити завантаження палива до одного разу на добу в найбільш холодну пору доби, а також заощадити до 50% ваших коштів на паливо. Разом з тим, існує можливість автоматизувати подачу тепла в систему опалення з буферної ємності, встановивши необхідні датчики температури, що дозволить суттєво підвищити тепловіддачу та скоротити кількість споживаної енергії.

Так наприклад, щоб нагріти один кубічний метр повітря на 4 ° С досить охолодити 1 літр води всього на 1 ° С.

Висока теплоакмулююча здатність води дозволяє накопичити тепло під час його вироблення, а використовувати - за потребою. Теплоаккумулятори встановлюють в схемах систем з не співпадаючими піками вироблення і споживання тепла. Для оптимізації роботи у схемах обв'язки теплових насосів теплоаккумулятори застосовуються для оптимізації режиму роботи, можливості регулювання теплоспоживання та витрат на електроенергію при роботі за нічним тарифом. Конструкція теплоаккумулятора - сталевий герметичний теплоізований бак з патрубком для приєднання джерела і споживача тепла.

$$V_{\text{ТА}} = (20 \dots 25) \cdot Q_{\text{ТН}} \quad (6.1)$$

де:  $Q_{\text{ТН}}$  = номінальна потужність теплового насоса;

$V_{\text{ТА}}$  = об'єм теплоаккумулятора гріючого контура, л.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 46   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |



Рисунок 6.1 – Буферна ємність

### 6.1.2 Розрахунок буферної ємності системи опалення

Отже, за формулою (5.12) мінімально необхідний об'єм буферної ємності становить:

$$V = 19,7 \cdot 40 = 788 \text{ л.}$$

Обираємо буферну ємність для системи опалення виробника Vaillant (Німеччина). Наші умови задовольняє наступна модель: буферна ємність allSTOR exclusive VPS 800/3-7 об'ємом 778 л.

### 6.1.3 Розрахунок накопичувального баку

Бойлер непрямого нагріву - це економічне обладнання, призначене для організації безперебійного гарячого водопостачання. Нагрівання води до заданої температури здійснюється за рахунок сторонніх джерел тепла, наприклад, систем опалення.

Отже, для безперебійного гарячого водопостачання слід розраховувати необхідний об'єм бойлеру з урахуванням потреб мешканців будинку. Основними параметрами, за якими виконується підбір водонагрівача, об'єм і потужність теплообмінника (для бойлерів непрямого нагріву). Але, потрібно розрахувати тільки об'єм бойлера, оскільки виробники вже підбирають теплообмінник водонагрівача за його об'ємом.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 47   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

Для коректного вибору необхідно розрахувати витрати води в точках водорозбору в час максимального використання. Максимальні періоди водорозбору – ранок та вечір. Між цими періодами достатньо часу для повного нагріву води в бойлері.

Температуру нагріву гарячої води в бойлері приймаємо 60°C, температура теплої води, яка використовується мешканцями, 40°C, температура холодної води 10°C.

Приймаємо, що середня витрата води в душових  $V_{\text{сер.душ}} = 12$  л/хв [11]. У середньому мешканці будинку приймають душ  $\tau = 5$  хв. Всього в будинку проживає  $n = 7$  особи. Тоді об'єм води буде складати:

$$V_{\text{душ}} = V_{\text{сер.душ}} \cdot \tau \cdot n \quad (6.2)$$

$$V_{\text{душ}} = 12 \cdot 7 \cdot 5 = 420 \text{ л}$$

Приймаємо середню витрату води на миття посуду  $V_{\text{сер.пос}} = 5$  л/хв [11]. Час для миття приймаємо  $\tau = 5$  хв. Тоді об'єм води буде складати:

$$V_{\text{мойк}} = V_{\text{сер.мойк}} \cdot \tau, \quad (6.3)$$

$$V_{\text{мойк}} = 5 \cdot 5 = 25 \text{ л}$$

Загальний об'єм використаної теплої води з температурою 40°C становить:

$$V_{\text{т.в}} = V_{\text{душ}} + V_{\text{мойк}}, \quad (6.4)$$

$$V_{\text{т.в}} = 420 + 25 = 450 \text{ л}$$

За знайденим об'ємом вибираємо бак фірми Buderus Logalux SH450 RW.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 48   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

## 6.2 Розрахунок теплої підлоги

### 6.2.1 Тепла підлога

Бетонна система водяної теплої підлоги - найпоширеніший і найбільш переважний варіант організації опалення теплою підлогою - передбачає заливання покладених на шар теплоізоляції спеціальних труб водяної теплої підлоги шаром бетону з наступним пристроєм чистового (фінішного) покриття підлоги. Конструкція теплої підлоги зображена на рисунку 6.2.

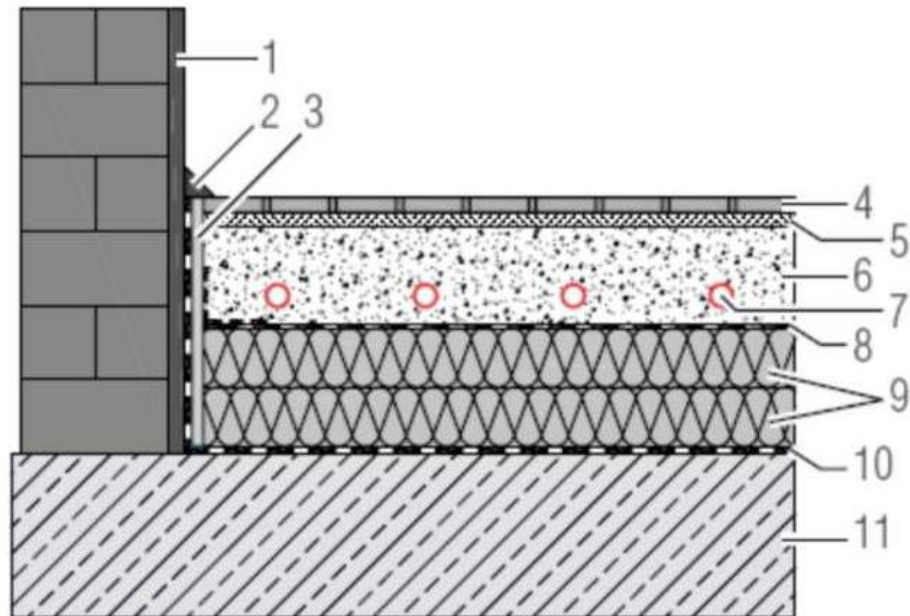


Рисунок 6.2 - Конструкція водяної теплої підлоги. Бетонна система

1 - внутрішня штукатурка (оздоблення), 2 – плінтус, 3 - відстійна ізоляція (компенсація температурних розширень опалювальної плити, гасіння ударного шуму), 4 - шар фінішного покриття для підлоги, 5 - клей або підкладка, 6 - цементна стяжка - шар бетону - покриває труби, 7 - загальною товщиною близько 60мм (над трубою - 40мм), 8 - труби теплої підлоги з типовим діаметром 16мм, 20мм (зазвичай PEX, PERT або PEX-Al-PEX), 9 - захисна плівка, 10 - шар теплоізоляції 30..100 (150) мм, 11 - шар гідроізоляції (якщо необхідно), 12 - несуча основа (плита, чорнова стяжка або ґрунт)

Тобто, загальна товщина конструкції водяної теплої підлоги становитиме приблизно від 80 до 230мм.

Бетонна система теплої підлоги забезпечує міцну основу, придатну навіть для транспортних навантажень у виробничих цехах, низькі втрати температури в конструкції підлоги від труб (особливо важливо для теплових насосів, систем опалення з твердопаливними котлами з теплоаккумуляторами), додає будинкам теплову інерційність (дуже важливо для легких каркасних будинків для постійного проживання. Остання перевага може перетворитися на нестачу будинків з періодичними візитами (періодично

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     | 49   |

опалюваними) в період опалювального сезону (дачі). Масивність та теплоінерційність бетонної водяної теплої підлоги тут може заважати. По приїзду в холодний дім, щоб підняти температуру в кімнатах зі  $+10^{\circ}\text{C}$   $+20^{\circ}\text{C}$  може знадобитися кілька годин.

Однак при застосуванні сучасних технологій автоматизації систем опалення цей недолік можна нівелювати. Встановивши модуль дистанційного керування системою опалення GSM, можна заздалегідь до приїзду дати команду системі опалення за допомогою мобільного телефону почати прогрівання будинку, щоб до приїзду вам було тепло і затишно.

### **6.2.2 Актуальність використання компенсаційного шва (ізоляції по периметру)**

Для зменшення теплових втрат та утримання бетону від теплового розширення по периметру будівлі наносять компенсаційний шов. Використовуючи будівельні стандарти, було визначено, що ширина шва не може бути більше 5 мм, а висота повинна дорівнювати висоті заливки бетону. Шов виконується з вологостійких матеріалів, тому в нашому проєкті був використано спінений поліуретан. Поверх компенсаційного шва для захисту наноситься ізоляція.

Деформаційні шви бетонної підлоги дозволяють елементам конструкції вільно розширюватися і стискатися, що допомагає мінімізувати навантаження на споруду. Найчастіше ці розрізи допомагають перші дні висихання бетонної суміші, коли бетон може деформуватися під впливом різних чинників.

З метою герметизації, деформаційні шви у підлогах заповнюють пружним ізоляційним матеріалом. Крім цього розрізи можуть бути температурними, осадовими, компенсаційними, ізоляційними, усадковими та конструкційними.

Деформаційні шви в стяжці є обов'язковим елементом конструкції будівлі, якщо в ньому передбачені теплі підлоги. Через перепади температур бетон може піддаватися суттєвим деформаціям.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 50   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

### 6.2.3 Методика роботи теплої підлоги

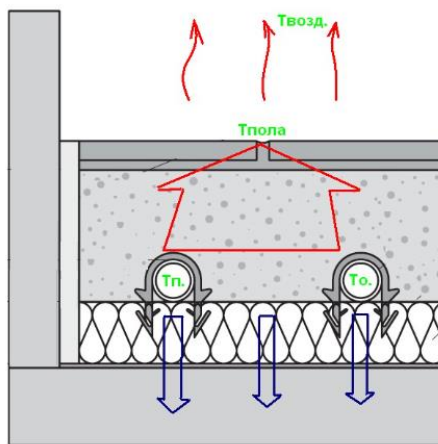


Рисунок 6.3 - Основні елементи конструкції теплої підлоги та напрями теплових потоків

Теплоносії системи опалення (вода або спеціальний антифриз на основі пропіленгліколю) нагрівається котлом опалення, при необхідності переміщується зі зворотним вузлом змішування до потрібної температури і надходить у труби теплої підлоги, розташовані в бетонній стяжці підлоги. Діапазон температур води в системі теплої підлоги становить від 20...25°C (на початку і в кінці опалювального сезону) до 50...55°C (в найбільш холодні дні зими). Остання цифра є максимально допустимою температурою подачі (Тп.) води в підлогу. Перевищення температури 55°C може викликати руйнування бетонних стяжок і покриттів підлоги.

Конкретні значення температури опалювальної води індивідуальні кожної системи опалення і залежить від багатьох чинників, визначальним у тому числі є величина тепловтрат будинку. Чим тепліше будинок (чим нижче тепловтрати), тим нижча температура подачі в систему теплої підлоги. Для добре утепленого будинку температура подачі (Тп.) рідко перевищує 40...45°C, температура зворотної води або обратки (То) становить при цьому 30...40°C відповідно.

Рухаючись трубами теплої підлоги під дією напору, створюваного циркуляційним насосом системи опалення (характеристики насоса підбираються в процесі проектування), нагріта вода передає тепло бетону стяжки підлоги за допомогою процесу теплопровідності через стінки труби теплої підлоги. З-за малої товщини стінок труб (зазвичай 2мм) матеріал самих труб мало впливає на цей процес.

Рівномірність прогріву верхніх шарів стяжки, а значить і самої підлоги, залежить від наступних параметрів:

- товщина стяжки над трубами теплої підлоги (не менше 40мм),
- спосіб прокладання труб (равлик/спіраль або змійка),
- відстань між сусідніми трубами теплої підлоги (не більше 300мм),

- кількістю води, що прокачується через труби теплої підлоги в одиницю часу (витрата теплоносія в контурі, зазвичай 0,5...4,0 л/хв.),
- типу фінішного покриття підлоги (для плитки нерівномірність температури буде більшою, ніж, скажімо, для ламінату та паркету).

Завдяки розповсюдженню теплового потоку (рисунок 6.3) через бетон стяжки та фінішне покриття підлоги, які мають певні теплові опори цьому тепловому потоку, температура в товщі конструкції теплої підлоги вирівнюється і поступово зменшується до поверхні підлоги (Т підлоги). Слід зауважити, що це не пов'язано з таким параметром, як ККД системи опалення. Зменшення температури не має безповоротних втрат теплової потужності теплої підлоги. Основним параметром, що визначає ефективність теплої підлоги, є якість теплоізоляційного шару під трубами: що краще теплоізоляція, то менше втрат вниз. На рисунку 6.3 втрати тепла вниз через теплоізоляцію під теплою підлогою показані синіми стрілками.

У середньому поверхня фінішного покриття теплої підлоги прогрівається до 20...30°C (Тпола). Чим нижче тепловтрати приміщення, тим менша температура поверхні теплої підлоги буде достатня для компенсації тепловтрат приміщення/будинку.

Слід сказати, що середня температура поверхні теплої підлоги має обмеження, які внесені в Таблицю 6.1:

Таблиця 6.1 Максимально допустимі середні температури поверхні пола

|               |                                                                                 |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Максимум 26°C | Для житлових приміщень з тривалим перебуванням людей згідно СНиП 2.04.05-91     |
| Максимум 27°C | Для покриття з натурального дерева, ламінату, паркету                           |
| Максимум 29°C | Для житлових приміщень з тривалим перебуванням людей згідно Європейським нормам |
| Максимум 33°C | Для ванних кімнат, душових, басейнів                                            |
| Максимум 35°C | Для граничних зон приміщень з тимчасовим перебуванням людей                     |

#### 6.2.4 Шар бетону та декоративне покриття підлоги

Труби теплої підлоги заливаються бетоном, який приймає на себе силове навантаження та вирівнює температуру по всій гріючій поверхні. В житловому будівництві використовують різні розтвори, але самим розповсюдженим являється цементний шар, який має розрахункове навантаження до 2 кН/м<sup>2</sup>.

За будівельними нормами шар бетону повинен становити 5-6 см від площі ізоляції та 3-4 см від розташованих труб. Іноді в бетон добавляють такі домішки як пластифікатори для

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 52   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

системи «теплої підлоги». Поверх бетону настеляється декоративне покриття. Зазвичай використовуються таке покриття:

- ламінат;
- керамічна плитка;
- пластмасова плитка;
- паркет;
- мрамурова плитка.

Матеріали, використанні в процесі прокладання системи «теплої підлоги», повинні мати стійкість до тривалого теплового нагрівання до 50С, та обов'язково мати підтверджувальні спеціальні сертифікати перевірки, які затверджують стійкість до зміни фізичних властивостей та відсутності шкідливих домішок, які можуть потрапити в повітря.

Компоновки труб в системі «тепла підлога» наведені на рисунку 6.4:

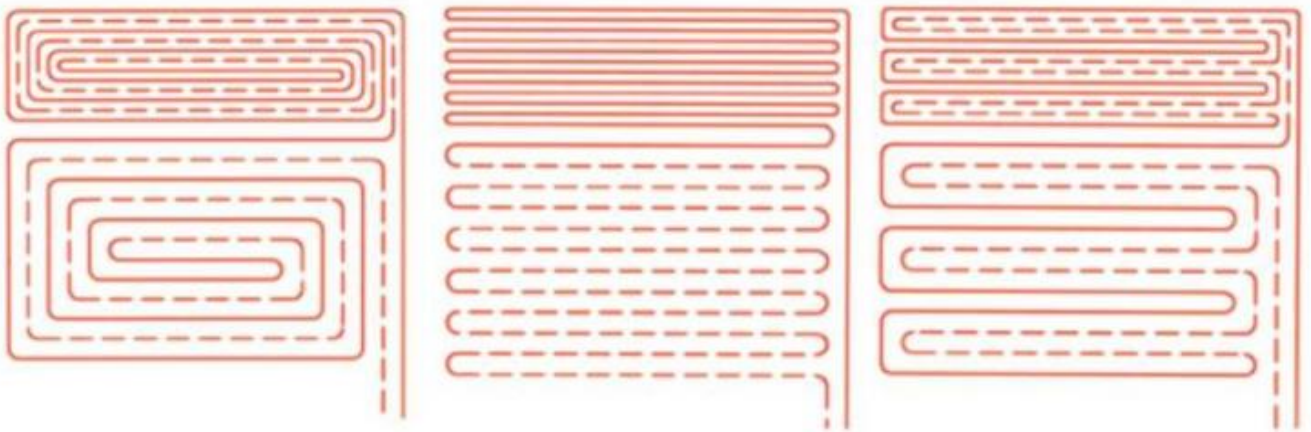


Рисунок 6.4 – Компоновка труб: 1) компоновка труб равликом; 2) компоновка труб змійкою; 3) компоновка двійною змійкою

Спосіб укладання равликом є найкращим, так як дозволяє досягти рівномірної температури на поверхні теплої підлоги, забезпечує режим укладання труб (практично повну відсутність різких поворотів труби на 180°), знижує гідравлічні втрати в контурі (за рахунок більш плавних вигинів труби), проте дещо складніший у монтажі. Також цей спосіб допускає максимальний перепад температур між подачею і оберненою в 10К, що дозволяє знижувати витрату теплоносія і, відповідно, гідравлічні опори контурів порівняно з укладанням типу змійка.

### 6.2.5 Визначення площ теплої підлоги

За проектом «тепла підлога» встановлена в таких приміщеннях:

- Тамбур = 7,97 м<sup>2</sup>;
- Хол = 16,35 м<sup>2</sup>;

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     | 53   |

- Вітальня, кухня, столова = 52,01 м<sup>2</sup>;
- Коридор = 6,32 м<sup>2</sup>;
- Хазяйській санвузол = 10,05 м<sup>2</sup>;
- Гардеробна = 5,17 м<sup>2</sup>;
- Дитячий санвузол = 5,91 м<sup>2</sup>;
- Гардеробна = 7,09 м<sup>2</sup>;
- Підлітковий санвузол = 7,04 м<sup>2</sup>;
- Гардеробна = 6,54 м<sup>2</sup>;
- Гостьовий санвузол = 6,07 м<sup>2</sup>;
- Кімната для зберігання = 12,57 м<sup>2</sup>;
- Гараж = 21,13 м<sup>2</sup>;

Загальна площа приміщень становить 164,22 м<sup>2</sup>;

Розрахуємо теплові втрати, які повинна забезпечити система «теплої підлоги»:

$$Q_{вт} = Q_{втр} - Q_z - Q_{під} \quad , \quad (6.5)$$

де  $Q_{втр}$  – загальні теплові втрати будинку;

$Q_z$  та  $Q_{під}$  – теплові втрати в гаражі та підвалі, які опалюється радіаторами;

$$Q_{вт} = 19,3 - 0,315 - 0 = 19 \text{ кВт}.$$

За визначеною загальною площею  $F_{т.п}$  (м<sup>2</sup>) і попередньо знайденими тепловими втратами  $Q_{т.п}$  (Вт) приміщень знайдемо потік теплоти з одного квадратного метра площі  $q$  за формулою:

$$q = Q_{т.п} / F_{т.п}, \quad (6.6)$$

$$q = \frac{19000}{165} = 115 \text{ Вт/м}^2.$$

З таблиць виробника за заданою температури теплоносія і внутрішньої температури приміщення знайдемо потрібні коефіцієнти: – гранітна плітка:  $q_{г.п} = 115 \text{ Вт/м}^2$ ,  $b_{г.п} = 0,1 \text{ м}$  крок труби, середня температура теплоносія  $t_{ср} = 37,5^\circ\text{C}$  :

$$t_{під} = (q/11,2) + t_{прим}, \quad (6.7)$$

Температура підлоги дорівнює:

$$t_{під.к} = (115/11,2) + 20 = 30,5^\circ\text{C}.$$

Отримана температура менше ніж  $t_{під.макс} = 31^\circ\text{C}$  , що задовольняє стандарту .

В довжину гріючого контуру входять довжина труби з колектору та змійовик, який знаходиться в приміщенні для обігріву. Відповідно будівельних норм довжина не може перевищувати 100 метрів та необхідне використання суцільної труби, тому що заливання шаром бетону фітінгів недопустимо. За відповідною формулою (6.8) розрахуємо довжини контурів і внесемо до таблиць:

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 54   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

$$L = F_{\text{прим}}/b \quad (6.8)$$

За планом будинку маємо чотири гідравлічних колекторів для рівномірного розділу тепла по всій площі котельні. Перший гідравлічний колектор включає 10 контурів, другий 10 контурів, третій 7 контурів та четвертий 5 контурів – призначений для запобігання ожеледиці тераси (в загальний розрахунок не входить). Більше детальне розміщення колекторів можна побачити на рисунку 6.3.

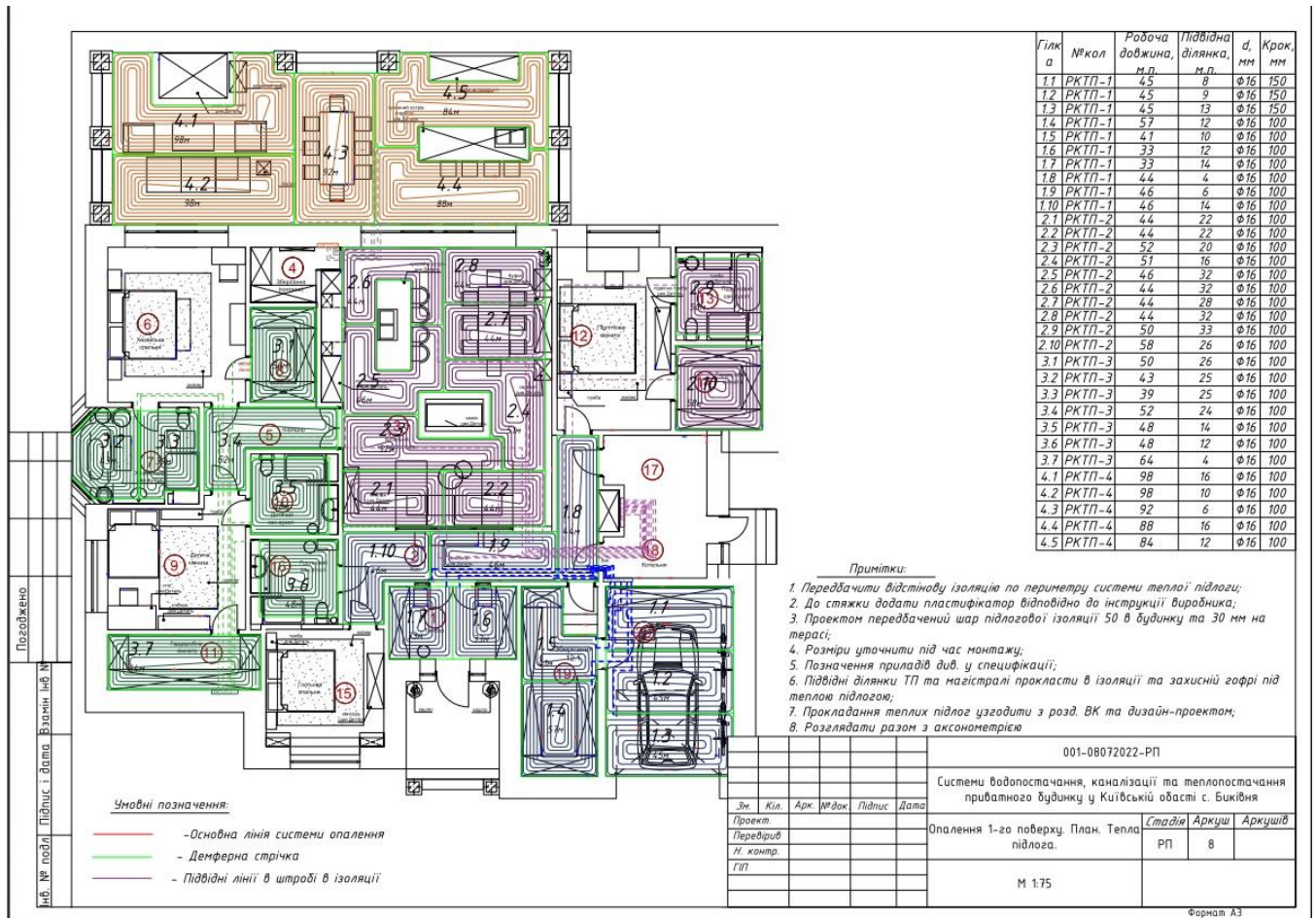


Рисунок 6.3 – Розміщення контурів теплої підлоги

В даному проекті існує паралельне з'єднання кілець для паралельної подачі, що збільшує гідравлічний опір. Для запобігання цього потрібно вирівнювати гідравлічний опір декількох кілець. Зазвичай обирається ділянка з найбільшими втратами тиску (найбільш проблемний контур). Після регулювання опорів різниця між паралельними кільцями повинна бути у межах 20-30%. Також повинно враховуватись максимальний опір ділянки, який допустим 20-25кПа та мінімальна швидкість води в контурі, яка складає 0,15-0,2 м/с. Саме при цієї швидкості повітряні бульбашки за допомогою сил видавлюється з труби, які можуть утворити пробки в контурі. За цими даними вище було побудовані гріючі контури в приміщеннях.

Розрахуємо для кожного контуру його теплове навантаження і масову витрату теплоносія.

Масова витрата теплоносія розраховується за формулою:

$$m = \frac{1,1 \cdot Q_{\text{тп}}}{4190(t_{\text{под}} - t_{\text{зв}})}, \quad (6.9)$$

де  $t_{\text{под}} = 40^{\circ}\text{C}$  – температура гарячої води на вході;  $t_{\text{зв}} = 30,5^{\circ}\text{C}$  – температура охолодженої води на виході;

Таблиця 6.2 – Довжина контурів, довжина підведених ділянок

| Гілка | № кол  | Робоча довжина, м.п. | Підвідніа ділянка, м.п. | d, мм | Крок, мм |
|-------|--------|----------------------|-------------------------|-------|----------|
| 1.1   | РКТП-1 | 45                   | 8                       | φ16   | 150      |
| 1.2   | РКТП-1 | 45                   | 9                       | φ16   | 150      |
| 1.3   | РКТП-1 | 45                   | 13                      | φ16   | 150      |
| 1.4   | РКТП-1 | 57                   | 12                      | φ16   | 100      |
| 1.5   | РКТП-1 | 41                   | 10                      | φ16   | 100      |
| 1.6   | РКТП-1 | 33                   | 12                      | φ16   | 100      |
| 1.7   | РКТП-1 | 33                   | 14                      | φ16   | 100      |
| 1.8   | РКТП-1 | 44                   | 4                       | φ16   | 100      |
| 1.9   | РКТП-1 | 46                   | 6                       | φ16   | 100      |
| 1.10  | РКТП-1 | 46                   | 14                      | φ16   | 100      |
| 2.1   | РКТП-2 | 44                   | 22                      | φ16   | 100      |
| 2.2   | РКТП-2 | 44                   | 22                      | φ16   | 100      |
| 2.3   | РКТП-2 | 52                   | 20                      | φ16   | 100      |
| 2.4   | РКТП-2 | 51                   | 16                      | φ16   | 100      |
| 2.5   | РКТП-2 | 46                   | 32                      | φ16   | 100      |
| 2.6   | РКТП-2 | 44                   | 32                      | φ16   | 100      |
| 2.7   | РКТП-2 | 44                   | 28                      | φ16   | 100      |
| 2.8   | РКТП-2 | 44                   | 32                      | φ16   | 100      |
| 2.9   | РКТП-2 | 50                   | 33                      | φ16   | 100      |
| 2.10  | РКТП-2 | 58                   | 26                      | φ16   | 100      |
| 3.1   | РКТП-3 | 50                   | 26                      | φ16   | 100      |
| 3.2   | РКТП-3 | 43                   | 25                      | φ16   | 100      |
| 3.3   | РКТП-3 | 39                   | 25                      | φ16   | 100      |
| 3.4   | РКТП-3 | 52                   | 24                      | φ16   | 100      |
| 3.5   | РКТП-3 | 48                   | 14                      | φ16   | 100      |
| 3.6   | РКТП-3 | 48                   | 12                      | φ16   | 100      |
| 3.7   | РКТП-3 | 64                   | 4                       | φ16   | 100      |
| 4.1   | РКТП-4 | 98                   | 16                      | φ16   | 100      |
| 4.2   | РКТП-4 | 98                   | 10                      | φ16   | 100      |
| 4.3   | РКТП-4 | 92                   | 6                       | φ16   | 100      |
| 4.4   | РКТП-4 | 88                   | 16                      | φ16   | 100      |
| 4.5   | РКТП-4 | 84                   | 12                      | φ16   | 100      |

За допомогою Екселя, було визначене потужності ділянок теплої підлоги та масові витрати. Отримані значення внесені в Таблицю 6.2.

Таблиця 6.3 - Довжина контурів, площі, теплові навантаження та витрати теплоносія

|       | Довжина контура, м | Площа контуру | Потужність, Вт | Витрата теплоносія, л/хв |
|-------|--------------------|---------------|----------------|--------------------------|
| 1,1   | 45                 | 6,78          | 779,7          | 21,5467906               |
| 1,2   | 45                 | 6,78          | 779,7          | 21,5467906               |
| 1,3   | 45                 | 6,78          | 779,7          | 21,5467906               |
| 1,4   | 57                 | 6,05          | 695,75         | 19,22685592              |
| 1,5   | 41                 | 4,6           | 529            | 14,61876649              |
| 1,6   | 33                 | 3,95          | 454,25         | 12,55307122              |
| 1,7   | 33                 | 3,95          | 454,25         | 12,55307122              |
| 1,8   | 44                 | 5,04          | 579,6          | 16,01708328              |
| 1,9   | 46                 | 5,4           | 621            | 17,16116066              |
| 1,10  | 46                 | 4,93          | 566,95         | 15,66750408              |
| 2,1   | 44                 | 4,8           | 552            | 15,25436503              |
| 2,2   | 44                 | 4,8           | 552            | 15,25436503              |
| 2,3   | 52                 | 5,8           | 667            | 18,43235774              |
| 2,4   | 51                 | 6,3           | 724,5          | 20,0213541               |
| 2,5   | 46                 | 5,9           | 678,5          | 18,75015702              |
| 2,6   | 44                 | 5,8           | 667            | 18,43235774              |
| 2,7   | 44                 | 4,7           | 540,5          | 14,93656576              |
| 2,8   | 44                 | 4,7           | 540,5          | 14,93656576              |
| 2,9   | 50                 | 6             | 690            | 19,06795629              |
| 2,10  | 58                 | 6,25          | 718,75         | 19,86245447              |
| 3,1   | 50                 | 5,3           | 609,5          | 16,84336139              |
| 3,2   | 43                 | 3,85          | 442,75         | 12,23527195              |
| 3,3   | 39                 | 3,85          | 442,75         | 12,23527195              |
| 3,4   | 52                 | 5,7           | 655,5          | 18,11455847              |
| 3,5   | 48                 | 5,06          | 581,9          | 16,08064314              |
| 3,6   | 48                 | 5,06          | 581,9          | 16,08064314              |
| 3,7   | 64                 | 7,12          | 818,8          | 22,62730813              |
| 4,1   | 98                 | 10,5          |                |                          |
| 4,2   | 98                 | 10,5          |                |                          |
| 4,3   | 92                 | 8             |                |                          |
| 4,4   | 88                 | 7             |                |                          |
| 4,5   | 84                 | 7             |                |                          |
| Разом | 1256               | 145,25        | 16703,75       | 461,6034418              |

Загальна сума:  $Q_w = 16703$  Вт;  $m_w = 460$  л/хв;  $m_w = 27600$  л/год.

За витрати води обираємо трубу Ду20 з модельного ряду фірми Thermo-flex.

Розрахуємо та поставимо швидкості води за формулою:

$$\omega = \frac{m}{\rho \cdot f}, \quad (6.10)$$

де  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> – густина теплоносія (для води приймаємо  $\rho = 992,2$  кг/м<sup>3</sup>);

$f$ , м<sup>2</sup> – площа поперечного перерізу трубопроводу.

Для труби 18×2,5 мм площа поперечного перерізу становить:

$$f = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4}, \quad (6.11)$$

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 57   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

$$f = \frac{\pi \cdot 0,018^2}{4} = 2,54 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Отже, за формулою (6.10) були уточнені швидкості для колекторів, були внесені в Таблицю 6.4.

Таблиця 6.4 - Швидкості в контурах

| №,Номер контуру | Довжина контуру | Площа контуру | Швидкість, м/с |
|-----------------|-----------------|---------------|----------------|
| 1,1             | 45              | 6,78          | 0,085496759    |
| 1,2             | 45              | 6,78          | 0,085496759    |
| 1,3             | 45              | 6,78          | 0,085496759    |
| 1,4             | 57              | 6,05          | 0,076291356    |
| 1,5             | 41              | 4,6           | 0,058006651    |
| 1,6             | 33              | 3,95          | 0,049810059    |
| 1,7             | 33              | 3,95          | 0,049810059    |
| 1,8             | 44              | 5,04          | 0,063555113    |
| 1,9             | 46              | 5,4           | 0,068094764    |
| 1,10            | 46              | 4,93          | 0,062167997    |
| 2,1             | 44              | 4,8           | 0,060528679    |
| 2,2             | 44              | 4,8           | 0,060528679    |
| 2,3             | 52              | 5,8           | 0,07313882     |
| 2,4             | 51              | 6,3           | 0,079443891    |
| 2,5             | 46              | 5,9           | 0,074399835    |
| 2,6             | 44              | 5,8           | 0,07313882     |
| 2,7             | 44              | 4,7           | 0,059267665    |
| 2,8             | 44              | 4,7           | 0,059267665    |
| 2,9             | 50              | 6             | 0,075660849    |
| 2,10            | 58              | 6,25          | 0,078813384    |
| 3,1             | 50              | 5,3           | 0,06683375     |
| 3,2             | 43              | 3,85          | 0,048549045    |
| 3,3             | 39              | 3,85          | 0,048549045    |
| 3,4             | 52              | 5,7           | 0,071877806    |
| 3,5             | 48              | 5,06          | 0,063807316    |
| 3,6             | 48              | 5,06          | 0,063807316    |
| 3,7             | 64              | 7,12          | 0,089784207    |

Уточнені швидкості підходять до норм, бо не перевищують 0,15, м/с.

Розрахуємо гідравлічні втрати на опір в системі труб «теплої підлоги»

$$\Delta p = L_w \cdot R, \quad (6.12)$$

де R – одиничний гідравлічний опір потоку (R=648 Па/м); L<sub>w</sub> – довжина контуру, м.

За формулою (6.12) гідравлічні втрати відповідно дорівнюють для першого колектору:

$$\Delta p = 435 \cdot 648 = 281880 \text{ Па},$$

Гідравлічні втрати відповідно дорівнюють для другого колектору:

$$\Delta p = 477 \cdot 648 = 309096 \text{ Па},$$

Гідравлічні втрати відповідно дорівнюють для третього колектору:

$$\Delta p = 344 \cdot 648 = 222912 \text{ Па}.$$

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 58   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

На рис. 6.4 зображено, як розміщують розпаралелені гідравлічні контури. Контури відповідають системі опалення «тепла підлога», також на рисунку можна бачити регулюючі клапани біля кожного гріючого контуру, для зменшення або збільшення витрати води.



Рисунок 6.4 - Компонівка колекторів для системи «тепла підлога»

### 6.3 Вибір розширювальних баків

Розширювальний бак є невід'ємним елементом систем опалення та водопостачання. Під час нагрівання вода збільшується в об'ємі, а розширювальний бак приймає надлишки води, що виникають в системі опалення або в бойлері системи ГВП. Для того щоб поліпшити показник об'єму рідини, що змінюється, і стабілізувати значення тиску на стінки всередині частин опалювальних систем в структуру монтують спеціальний мембранний бак. В елементах розширення теплової частини показник, який перевищує показник обсягу простору всередині систем, починає переходити в розширювач. Після цього при падінні температури здатний повернутися назад. Монтаж бачка в конструкції з опалення повинен здійснюватися за дотримання нюансів монтажу та параметрів конструкції пристрою[14].

Мембранний розширювальний бак використовується у закритій системі опалення з примусовою циркуляцією, тобто застосуванням циркуляційного насоса.

Переваги мембранного бака:

- Бак можна розташовувати в будь-якому місці будинку (або поруч із котлом). Економія на додатковій витраті трубопроводу.
- Відсутній контакт води із зовнішнім повітрям. Термін служби трубопроводу

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     | 59   |

продовжується за рахунок відсутності реакції окиснення та корозії.

- Можливість створення додаткового тиску навіть у верхній точці системи опалення, що зменшує ймовірність утворення повітряних пробок у радіаторах.

- Теплоносій не випаровується.

- Проста експлуатація опалювальної системи за рахунок виключення підживлення теплоносієм.

- Надійність роботи та економічність.

Відкритий розширювальний бак використовується в системах опалення з природною циркуляцією теплоносія (відкрита система опалення).

Відкриті розширювальні баки розміщують над верхньою точкою систем та покривають тепловою ізоляцією. Вони бувають циліндричні або прямокутні з листової сталі і зверху постачають люком для огляду та фарбування. У корпусі бака є кілька патрубків:

- ☐ патрубок для приєднання розширювальної труби, якою вода надходить у бак;

- ☐ патрубок для циркуляційної труби, через яку частково відводиться вода, що охолодилася, створюючи циркуляцію і забезпечуючи певний тепловий режим бака (в опалювальному приміщенні бак з'єднується з системою однією трубою, що приєднується до патрубка);

- ☐ патрубок для контрольної (сигнальної) труби;

- ☐ патрубок для з'єднання бака з переливною трубою, що сполучається з атмосферою раковини для видалення води в каналізацію.

Застосування:

- Для поповнення впади об'єм води в системі при витіканні і при зниженні її температури.

- Обмеження гідравлічного тиску в системі.

- Сигналізація для рівня води в системі.

- Видалення води в каналізацію під час переповнення системи.

- Управління дією підживлювальних приладів.

- Є повітровідділювачем та повітровідвідником.

Завдяки безперервному та безвідмовному виконанню цих різноманітних функцій відкритий розширювальний бак є необхідним та надійним приладом, чим пояснюється його широке поширення.

Недоліки відкритих розширювальних баків:

- Незручні в експлуатації, громіздкі; утруднюється їхнє розміщення в будинках і збільшується втрата тепла через їх стінки.

- При відкритих баках внаслідок зайвого охолодження води в них можливе поглинання повітря та посилення внутрішньої корозії труб та опалювальних приладів.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 60   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

- Потрібне прокладання спеціальних з'єднувальних труб.

Якщо в системі опалення передбачається використання антифризу в якості теплоносія, слід враховувати його коефіцієнт температурного розширення, який більший, ніж у води. У такому випадку необхідно встановлювати розширювальний бак відповідно до більшої ємності.

### 6.3.1 Вибір розширювального бака системи опалення

Обираємо розширювальний бак виробництва Reflex (Німеччина).

Щоб виконати розрахунок робочого об'єму мембранного розширювального бака, необхідно знати загальний об'єм системи опалення. Об'єм розширювального бака розраховується за формулою [12]:

$$V_{\text{бак}} = \frac{V_{\text{сист}} \cdot E}{D}, \quad (6.13)$$

де -  $V_{\text{сист}}$  – сумарний об'єм системи опалення, м<sup>3</sup>;

$E$  – коефіцієнт розширення рідини, %;

$D$  – ефективність мембранного розширювального бака.

За [10] приймаємо, що для системи опалення «теплою підлогою» об'єм води в системі буде становити:

$$V = V_{\text{тр}} \cdot l_{\text{т}} = 0,32 \cdot 1716 = 550 \text{ л.}$$

де –  $V_{\text{тр}}$  – об'єм води в 1 м/п труби;  $l_{\text{т}}$  - довжина труби, м.

Значення коефіцієнта розширення води знаходимо з [13] для температури 40°C.

Коефіцієнт  $E = 0,01$  або 1%.

Значення ефективності мембранного розширювального бака розраховується за формулою:

$$D = \frac{P_{\text{макс}} \cdot P_{\text{стат}}}{P_{\text{макс}} + 1}, \quad (6.14)$$

де  $P_{\text{макс}}$  – максимальний робочий тиск. Для котеджів прийнято брати тиск 3 бар;

$P_{\text{стат}}$  – тиск зарядження мембранного розширювального бака.

$P_{\text{стат}}$  дорівнює статичному тиску системи опалення. Ця величина рівна 1,5 бар

Значення ефективності розширювального бака складає:

$$D = \frac{3 \cdot 1,5}{3 + 1} = 0,1.$$

Тоді за формулою (6.13) об'єм необхідного розширювального бака:

$$V_{\text{бак}} = \frac{550 \cdot 0,01}{0,15} = 50 \text{ л.}$$

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 61   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

З модельного ряду, який зображено обираємо розширювальний бак Reflex NG 50 номінальним об'ємом 50 л. Технічні характеристики та габаритні розміри вказано на Рисунку 6.5 [14].

## Reflex Reflex NG 50, сварной мембранный расширительный бак, Серый, 6/1,5 бар

Артикул: 8001011



### Характеристики

|                                   |         |
|-----------------------------------|---------|
| Тип                               | NG 50   |
| Номинальный объем                 | 50 л    |
| Макс. полезный объем              | 45 л    |
| Макс. допуст. температура системы | 120 °C  |
| Макс. допуст. рабочая температура | 70 °C   |
| Макс. допуст. рабочее давление    | 6 bar   |
| Заводская настройка давления газа | 1,5 bar |
| Присоединение                     | R 3/4"  |
| Диаметр                           | 409 mm  |
| Макс. высота                      | 469 mm  |
| Высота. Подключение воды          | 158 mm  |
| Высота при наклоне                | 622 mm  |
| Вес                               | 6,12 kg |

Рисунок 6.5 – Технічні характеристики розширювального баку компанії Reflex

### 6.3.2 Вибір розширювального бака системи ГВП

Для розрахунку розширювального бака використаємо програму «Reflex Pro Win» від виробника Reflex [14]. Вихідні дані для програми:

- теплова потужність теплогенератора:  $Q = 2,8$  кВт (потужність ТЕНу в бойлері ГВП);
- об'єм бойлера ГВП:  $V_{\text{бойл}} = 450$  л;
- пікова витрата води:  $V_{\text{пик}} = 3,25$  м<sup>3</sup>/год;
- максимальна температура води в бойлері:  $t_{\text{макс}} = 60^{\circ}\text{C}$ ;
- мінімальна температура води в бойлері:  $t_{\text{мін}} = 5^{\circ}\text{C}$ ;
- статичний тиск:  $P_{\text{стат}} = 3$  бар;
- тиск спрацювання запобіжного клапана:  $P_{\text{макс}} = 6$  бар.

У результаті розрахунку, який зображено на рис. 6.6, було обрано мембранный розширювальний бак Reflex DD 12 номінальним об'ємом 18 л та розрахунковим тиском 10 бар.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 62   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

## Reflex Reflex DD 12, проточный мембранный расширительный бак, Зелёный, 10/4 бар

Артикул: 7308200



### Характеристики

| Тип                               | DD 12   |
|-----------------------------------|---------|
| Номинальный объем                 | 12 l    |
| Макс. полезный объем              | 9 l     |
| Макс. допуст. температура системы | 70 °C   |
| Макс. допуст. рабочая температура | 70 °C   |
| Макс. допуст. рабочее давление    | 10 bar  |
| Заводская настройка давления газа | 4 bar   |
| Присоединение                     | G 3/4"  |
| Диаметр                           | 280 mm  |
| Макс. высота                      | 318 mm  |
| Высота при наклоне                | 424 mm  |
| Вес                               | 2,20 kg |

Рисунок 6.6 – Результат розрахунку розширювального бака системи ГВП

### 6.3.3 Вибір розширювального бака для ТНУ

Приймаємо, що для ТНУ об'єм води в системі буде становити:

$$V = V_{\text{тр}} \cdot l_{\text{т}} + V_{\text{с.тну}} = 1,26 \cdot 1000 + 5\% = 1310 \text{ л.}$$

де –  $V_{\text{тр}}$  – об'єм води в 1 м/п труби ( $V_{\text{тр}} = 1,26, \text{л}$ );  $l_{\text{т}}$  – довжина труби, м (10 свердловин по 50 метрів у глибину = 1000 метрів);  $V_{\text{с.тну}}$  – об'єм труб підвешення та об'єм системи (було прийнято 5% від загального об'єму труб ТНУ).

Тоді за формулою (6.13) об'єм необхідного розширювального бака:

$$V_{\text{бак}} = \frac{1310 \cdot 0,01}{1,3} = 100 \text{ л.}$$

З модельного ряду розширювальних баків фірми Reflex, обираємо бак Reflex NG 100 номінальним об'ємом 100 л. Технічні характеристики та габаритні розміри вказано на Рисунок 6.7

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 63   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

# Reflex Reflex NG 100, сварной мембранный расширительный бак, Серый, 6/1,5 бар

Артикул: 8001411



## Характеристики

|                                   |          |
|-----------------------------------|----------|
| Тип                               | NG 100   |
| Номинальный объем                 | 100 l    |
| Макс. полезный объем              | 88 l     |
| Макс. допуст. температура системы | 120 °C   |
| Макс. допуст. рабочая температура | 70 °C    |
| Макс. допуст. рабочее давление    | 6 bar    |
| Заводская настройка давления газа | 1,5 bar  |
| Присоединение                     | R 1"     |
| Диаметр                           | 480 mm   |
| Макс. высота                      | 675 mm   |
| Высота. Подключение воды          | 165 mm   |
| Высота при наклоне                | 828 mm   |
| Вес                               | 10,30 kg |

Рисунок 6.7 - Технічні характеристики розширювального баку компанії Reflex

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 64   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

## 7 СИТЕМА КОНДИЦІЮВАННЯ ПОВІТРЯ

Система кондиціювання повинна забезпечувати комфортні умови мікроклімату в приміщенні. Для забезпечення комфортних умов у літній період ТН працює у режимі кондиціювання для подачі холодного повітря використовуються фанкойли. На першому поверсі охолоджується вітальня-студія. На другому поверсі охолодження проводиться в гостьвій спальні та господарській спальні.

Таблиця 7.1 – Перелік приміщень, що потребують передбачення місцевих систем кондиціювання

| Найменування приміщення  | Находження теплоти , кВт |
|--------------------------|--------------------------|
| Вітальня, кухня, столова | 4,9                      |
| Господарська спальня     | 1,1                      |
| Гостьова спальня         | 0,6                      |

### 7.1. Принцип роботи фанкойлів

Фанкойли - це пристрої, які призначені для охолодження чи нагріву повітря в приміщенні. Вони дуже точно дотримують задану користувачем температуру, і здатні швидко охолодити / опалити середні або великі приміщення. Конструкція таких приладів досить проста і складається з теплообмінника, вентилятора, повітряного фільтра та підсистеми автоматичного регулювання.

- Корпус - у ньому розташовується радіатор. Він виступає у ролі теплообмінника. Залежно від моделі, фанкойл може мати один або два радіатори. В останньому випадку за допомогою цього обладнання можна одночасно одну зону приміщення нагрівати, а іншу навпаки охолоджувати.

- Вентилятор може бути тангенціального або відцентрового типу. Тут все залежить від потужності фанкойлу.

- Електродвигун та електронагрівач - перший забезпечує роботу пристрою, а другий підвищує інтенсивність обігріву.

- Фільтр - він призначений для відсіювання великих пилових частинок, пуху та інших видів забруднень.

- Піддон - у нього збирається конденсат, який надалі зливається в каналізацію або виводиться на вулицю.

Сучасні моделі фанкойлів також оснащені пультом дистанційного керування.

Фанкойл вирішує дві основні завдання: нагріває (зимою) або навпаки охолоджує повітря (літню спеку). Виконання цієї функції забезпечує радіатор, яким проходить гаряча чи охолоджена вода.

Принцип роботи цього пристрою можна описати так:

1. Спочатку за допомогою вентилятора в теплообмінник подаються повітряні потоки з приміщення або з вулиці (якщо пристрій підключено до системи вентиляції припливу).

2. У цей час до радіатора подається холодна або гаряча вода (залежно від вибраного режиму).

3. При контакті з нагрітою (охолодженою) водою повітря стає гарячим чи холодним.

4. Досягши потрібної температури повітря повертається назад і передає в приміщення тепло або холод.

В одному приміщенні може бути встановлене відразу кілька фанкойлів. Точна їх кількість підбирається, виходячи з площі та поставленої мети (у частині мікроклімату).

За своїм принципом роботи фанкойл схожий із звичайним кондиціонером у формі спліт-системи. Однак між цими двома пристроями все ж таки є ряд відмінностей. Виражається ця різниця в наступному:

- фанкойли вважаються найпотужнішим видом кліматичного обладнання. Якщо стандартного кондиціонера часто вистачає лише на одне невелике приміщення, то за допомогою фанкойлу можна обігріти (охолодити) цілу будівлю або кілька кімнат;

- теплоносієм є охолоджена чи гаряча вода. У кондиціонерах використовується фреон,

- фанкойл можна підключити до припливної вентиляції, і тоді до приміщення надходитиме свіже повітря з вулиці. Кондиціонери працюють тільки в режимі рециркуляції,

- встановлювати вентиляторний доводчик довше та складніше. Причому підготовчі роботи потрібно розпочинати ще на етапі будівництва будівлі. Кондиціонер можна встановити будь-якої миті вже після введення приміщення в експлуатацію.

Фанкойли можуть кріпитися у різних частинах приміщення. Це може бути стіна, стеля або підлога. Залежно від цього критерію виділяють такі основні 3 види моделей:

1. Стельовий фанкойл - це модель, яка монтується в стелю. Є корпусні та безкорпусні варіанти. В останньому випадку конструкція може бути замаскована за допомогою підвісної стелі.

2. Підлоговий - такий різновид фанкойлів замінює собою звичайні радіатори. Його конструкція дозволяє закріпити пристрій на підлозі. При цьому вертикально кріпиться до прилеглої стіни.

3. Підлогові фанкойли найчастіше використовуються в приміщеннях з великою площею (склади, торгові зали тощо)

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 66   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

4.Настінний фанкойл - це пристрій, що кріпиться до стіни. На вигляд нагадує стандартну спліт-систему. Завдяки компактним розмірам, таке обладнання приймається не тільки для промислових об'єктів, а й для звичайних квартир/приватних будинків.

Також у продажу можна знайти універсальні моделі, які кріпляться і на стіну, і на стелю.

У конструкції чіллер-фанкойл є низка переваг перед звичайною спліт-системою. Розглянемо їх:

- охоплення великої площі - до одного чіллера можна приєднати відразу кілька фанкойлів і контролювати температуру повітря у всій будівлі або відразу в кількох приміщеннях. У звичайних кондиціонерів такої можливості немає;

- максимальне маскування - через особливості конструкції зовнішній блок кондиціонера розміщують на зовнішній стороні стіни, що псує фасад будівлі. Система чіллер-фанкойл навпаки прихована з очей. Зазвичай, охолоджувальне обладнання встановлюють на даху або в технічному приміщенні;

- працює цілий рік - ефективність кондиціонерів помітно знижується в холодну пору року. У системи чіллер-фанкойл такої проблеми немає, вона працює цілий рік;

- така конструкція вважається безпечнішою, оскільки її холодоагент знаходиться в рідкому, а не газоподібному стані. Цей факт знижує ризик виникнення аварії.

Як і інші види кліматичного обладнання, система чіллер-фанкойл також не позбавлена деяких недоліків.

Один із суттєвих мінусів – відсутність припливу свіжого повітря, а також його очищення від забруднень. Незважаючи на те, що такі системи оснащені фільтром, основна їхня функція полягає лише у зміні температури повітря.

Але ця проблема має рішення — якщо Ви хочете, щоб у приміщення надходило свіже повітря з вулиці, то підключіть до кліматичного обладнання припливну вентиляцію. Це компактна система, яка запускає свіжий кисень без протягів і відкритих вікон.

Проблему забруднюючих речовин у вуличному повітрі добре вирішує очищувач. Він ефективно усуває алергени, вуличний пил, а також різні віруси та бактерії.

## 7.2. Вибір фанкойлів

По надходженнях теплоти до приміщення за допомогою програми від виробника підбираємо в «вітальню, кухню, столову», господарську спальню та гостьову спальню напольні фанкойли від компанії MYCOND[14]. Обрані фанкойли з технічними характеристиками зображені на рисунках 7.1 та 7.2.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 67   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |



#### Технические характеристики

|                                          |        |      |
|------------------------------------------|--------|------|
| Полная холодильная мощность <sup>1</sup> | кВт    | 4,35 |
| Холодопроизводительность <sup>2</sup>    | кВт    | 5,2  |
| Теплопроизводительность <sup>3</sup>     | кВт    | 9,4  |
| Диаметр подключений                      | дюйм   | 3/4  |
| Максимальные расходы воздуха             | м³/год | 650  |
| Максимальная мощность                    | Вт     | 32   |
| Максимальный уровень шума <sup>4</sup>   | дБ(А)  | 48   |
| Минимальный уровень шума <sup>4</sup>    | дБ(А)  | 30   |
| Длина                                    | мм     | 1500 |
| Высота                                   | мм     | 700  |
| Ширина                                   | мм     | 130  |

#### Од. виміру

#### MCFG-380T2 B/W GLASS

Рисунок 7.1 - Технічні характеристики фанкойла для «Вітальня, кухня, столова»



#### Технические характеристики

|                                          |        |      |      |
|------------------------------------------|--------|------|------|
| Полная холодильная мощность <sup>1</sup> | кВт    | 0,75 | 1,5  |
| Холодопроизводительность <sup>2</sup>    | кВт    | 0,99 | 2    |
| Теплопроизводительность <sup>3</sup>     | кВт    | 1,55 | 3,1  |
| Диаметр подключений                      | дюйм   | 6/2  | 6/2  |
| Максимальные расходы воздуха             | м³/год | 160  | 320  |
| Минимальные расходы воздуха              | м³/год | 50   | 150  |
| Максимальный рабочий ток                 | А      | 0,12 | 0,16 |
| Максимальная мощность                    | Вт     | 14   | 23   |
| Максимальный уровень шума <sup>4</sup>   | дБ(А)  | 39   | 40   |
| Минимальный уровень шума <sup>4</sup>    | дБ(А)  | 19,8 | 18,3 |
| Длина                                    | мм     | 694  | 894  |
| Высота                                   | мм     | 580  | 580  |
| Ширина                                   | мм     | 129  | 129  |
| Масса нетто                              | кг     | 16   | 22   |

#### Од. виміру

#### MCFS-075T2 SILENT

#### MCFS-150T2 SILENT

Рисунок 7.2 -Технічні характеристики фанкойла для господарської та гостьової спальні

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

МД. 22. 144. 219 ПЗ

Арк.

68

## 8. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Основним завданням охорони праці, яка представляє собою систему взаємопов'язаних правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних та реабілітаційних заходів, є збереження життя і здоров'я людей, при виконанні ними своєї трудової діяльності.

Реалізація цього завдання потребує запровадження високоефективних системи управління в сфері охорони та безпеки праці з метою забезпечення відповідного контролю за виконанням вимог існуючих нормативно-правових актів у цій сфері та запровадженням на робочих місцях необхідних заходів щодо створення комфортних та безпечних для життя і здоров'я працівників умов праці.

В даній дипломній роботі розробляється індивідуальна система теплопостачання житлового будинку. Система теплопостачання побудовано для забезпечення будинка гарячою водою для системи опалення. У даній дипломній роботі спроектовано основне обладнання для теплопостачання:

- тепловий насос;
- циркуляційні та подаючі насоси системи опалення;
- трубопроводи, арматура покриті тепловою ізоляцією для зменшення теплових втрат(в проекті не наводяться).

Для зниження жорсткості води передбачена установка станції ХВП.

В даному розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації технологічного обладнання, а також визначені основні заходи з гігієни праці, виробничої санітарії та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

### 8.1. Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації технологічного обладнання

Технологічне устаткування в приміщенні котельні відповідає вимогам діючих нормативних документів, а саме ДБН В.2.5-77:2014 «Котельні», ДБН В.2.5-20-2001. «Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі», НПАОП 40.1-1.02-01. Правила безпечної експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій і теплових мереж.

Об'ємно-планувальні і конструктивні рішення приміщення котельні, забезпечують нормальну експлуатацію технологічного устаткування.

Технологічний процес у приміщенні котельні супроводжується виділенням надлишкового тепла від теплогенеруючого та теплозберігаючого обладнання.

Для його локалізації проектом передбачений триразовий повітрообмін. Приплив повітря через отвори вікон, жалюзійні ґрати, витяжка - через вентканал. Система вентиляції

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 69   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

припливно-витяжна згідно вимог ДБН В.2.5 – 67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

З метою виключення можливих опіків виробничого персоналу передбачена теплоізоляція тепловикористовуючого обладнання та елементів теплопроводів;

Для обслуговування запобіжних клапанів, арматури відключення передбачені вільні переходи.

Робота котельні автоматизована і не передбачає постійного перебування обслуговуючого персоналу.

Перебування сторонніх осіб - не допускається. До роботи допускаються особи, що вивчили керівництво по влаштуванню та експлуатації обладнання, що пройшли спеціальний курс навчання та склали іспит на право обслуговування котлів.

Рівень звукового тиску не перевищує 65 ДБ (ДСН 3.3.6-937-99).

#### **8.1.1. Вимоги безпеки при проведенні електро- та зварювальних робіт**

Вимоги безпеки при проведенні зварювальних робіт регламентуються НПАОП 28.52-1.31-13 «Правила охорони праці під час зварювання металів».

Електрозварювальні роботи на підприємствах виконуються з використанням змінного та постійного струму. Електрозварювальні роботи можуть виконуватись в приміщеннях та на відкритому повітрі. При зварювальних роботах може використовуватись як стаціонарне, так і пересувне зварювальне устаткування та джерела електричного струму. Виконання електрозварювальних робіт супроводжується дією на робочих шкідливих та небезпечних факторів. До шкідливих виробничих факторів належать - гази, пил, аерозолі, ультрафіолетове випромінювання. До небезпечних факторів належать - електричний струм, високі температури на електродах та електричної дуги, зварювальних елементів, розплавленого металу та іскор.

До електрозварювальних робіт допускаються працівники не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, спеціальну підготовку і перевірку теоретичних знань та практичних навичок, склали іспит атестаційної комісії та отримали посвідчення, мають по електробезпеці групу не нижче II.

Якщо електрозварник мав перерву в роботі більше 3-х місяців, або перейшов з іншого підприємства, він повинен пройти повторну перевірку знань.

Електрозварювальні роботи повинні виконуватись в спеціальних приміщеннях з негорючих матеріалів та обладнаних витяжною вентиляцією. Зварювальні пости площею не менше 3 м<sup>2</sup> виконуються у вигляді кабін з висотою стінок не менше 2 м із зазором між

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 70   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

стінками і підлогою не менше 50 мм, захищені сіткою з негорючого матеріалу з розміром вічка не більше 1,0х1,0 мм при зварюванні електродугою.

Робочі місця зварювальників повинні забезпечуватись інвентарним огородженням, захисним і запобіжним устаткуванням, пристроями для виконання робіт на висоті (містками, майданчиками) виготовленими за типовими проектами та згідно з проектами виконання робіт.

Електрозварник повинен в термін усього робочого дня утримувати своє робоче місце в чистоті та порядку.

При виконанні робіт на висоті (понад 1,3м.) електрозварник повинен використовувати перевірений запобіжний пояс. При виконанні робіт в закритих приміщеннях та резервуарах електрозварник повинен працювати тільки за наявності припливно-витяжної вентиляції.

Довжина дротів від електричної мережі до зварювального устаткування не повинна перевищувати 10 м. Електрозварювальне устаткування підключати до силової мережі тільки за допомогою пускового пристрою. Електрозварювальне устаткування розміщувати так, щоб був забезпечений вільний доступ до нього та безпека виконання робіт.

Відстані між місцем виконання електрозварювальних робіт та легкозаймистими, вибухонебезпечними матеріалами та устаткуванням повинні бути не менше 10 м.

Забороняється виконувати електрозварювальні роботи в приміщеннях, де зберігаються легкозаймисті та вибухонебезпечні матеріали. Робочі місця виконання електрозварювальних робіт повинні забезпечуватись освітленням не нижче нормативного. Електрозварник забезпечується засобами індивідуального захисту:

- щитком електрозварника із світлофільтрами;
- каскою з двох-, трьохшаровими підшлемами;
- азбестовими та брезентовими нарукавниками;
- діелектричними рукавицями, галоїдами та діелектричним килимом;
- запобіжним поясом;
- шланговими протигазами або автоматом для дихання (для робіт всередині закритих резервуарів при наявності в них пилу, диму, аерозолів);
- електродоутримувачем заводського виготовлення.

Електрозварювальне устаткування забезпечується заземленням. При виконанні електрозварювальних робіт в приміщеннях робочі місця зварників повинні бути відгороджені від інших робочих місць негорючими екранами, щитами висотою не менше 1,8 м.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 71   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

При виконанні робіт на висоті зварювальники забезпечуються сумками для електродів та інструменту. При виконанні робіт у вологих місцях зварник повинен знаходитись на настилі із сухих дощок або діелектричному килимі.

При будь-якій тимчасовій відсутності на робочому місці зварник повинен вимикати зварювальний апарат.

Роботи з замкнутому, обмеженому просторі (газонебезпечні роботи) повинні виконуватись трьома працівниками, один з них повинен мати по електробезпеці групу не нижче другої. Такі робочі місця забезпечуються не менше, ніж двома виходами та безперервною витяжною вентиляцією.

Працівники, що знаходяться усередині ємностей або підвальних приміщень забезпечуються рятувальним поясом, що з'єднуються з рятувальним тросом. До виконання таких робіт допускаються тільки ті працівники на яких оформлено наряд-допуск. Забороняється виконувати зварювальні роботи на ємностях, що заповнені горючими або шкідливими речовинами, знаходяться під тиском або під напругою.

Газозварювальні роботи в робочих приміщеннях котельні повинні виконуватись з урахуванням вимог НПАОП 0.00-5.12-01 «Інструкція з організації безпечного ведення вогневих робіт на вибухопожежонебезпечних та вибухонебезпечних об'єктах»

Газозварювальні роботи можуть виконуватись як в приміщеннях, так і на відкритому повітрі. Виконання газозварювальних робіт супроводжується дією на робочих шкідливих та небезпечних факторів. До шкідливих виробничих факторів належать - гази, пил, аерозолі, світлове та теплове випромінювання. До небезпечних факторів належать високі температури полум'я, іскри розплавленого та нагрітого металу зварювальних елементів, загоряння шлангів та можливі вибухи газових балонів з киснем, з ацетиленом, ацетиленових газогенераторів, бензогазорізних пристроїв, ємностей з бензином та іншими пожежонебезпечними речовинами.

До газозварювальних та інших вогняних робіт допускаються працівники не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, спеціальну підготовку і перевірку теоретичних знань і практичних навичок та склали іспит. Електрозварювання супроводжується виділенням зварювального аерозолу, що містить дрібнодисперсну тверду фазу і гази. Інтенсивність виділень залежить від характеристики процесу, марки зварювальних матеріалів і зварюваного металу.

Зварювальний аерозоль містить сполуки заліза, марганцю, нікелю, хрому, алюмінію, міді та інших речовин, а також гази (оксиди азоту, окис і двоокис вуглецю, озон, фтористий водень). Найбільш шкідливими є сполуки хрому, марганцю та фтору. Найбільш шкідливими

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 72   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

токсичними газами, що виділяються при зварюванні є оксид азоту, оксид вуглецю і фтористий водень.

Гранично допустима концентрація складає:

- для оксиду азоту – 5 мг/м<sup>3</sup>;
- для оксиду заліза – 6 мг/м<sup>3</sup>;
- для оксиду кремнію – 6 мг/м<sup>3</sup>.

Аерозоль конденсації, що утворюється при електрозварюванні, характеризується дрібною дисперсністю. Більше 90% часток (у масових долях) мають швидкість витання менше 0,1 м/с. Тому частки аерозолу легко слідує за повітряними потоками аналогічно газам.

Для уловлювання зварювального аерозолу використовують місцеві витяжні пристрої різних конструкцій (переносні повітроприймачі, місцеві відсмоктувачі, вбудовані в оснащення робочих місць і т.ін).

Тимчасові зварювальні роботи у виробничих будівлях, спорудах, на території підприємств необхідно виконувати відповідно до вимог [4] і по наряду-допуску. Керівник об'єкта, відповідальний за пожежну безпеку повинен перевірити місце виконання робіт протягом 2 годин після її закінчення. Виконання робіт без наряду-допуску можуть виконуватись в постійних місцях їх проведення. А також при аваріях, але безпосередньо під наглядом інженерно-технічного працівника.

Зварювальні роботи повинні виконуватись за умови:

- дотримання правил пожежної безпеки та безпечного їх виконання;
- огороження місця проведення робіт, для запобігання травмування іскрами, окалиною, випромінюванням;
- ретельного очищення зварювальних деталей від окалини, палих і легкозаймистих речовин, в радіусі 5 м;
- наявності засобів пожежогасіння.

Зварники забезпечуються засобами індивідуального захисту:

- одягом, рукавицями без слідів жиру, бензину, мастил та інших горючих речовин;
- каскою, щитком зі світлофільтрами [4].

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 73   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

## 8.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії.

### 8.2.1 Повітря робочої зони

Мікрокліматичні умови виробничих приміщень характеризуються наступними показниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінення, температурою поверхні.

Згідно ДСН 3.3.6.042-99, роботи за важкістю у даному приміщенні можуть бути віднесені до категорії легкої тяжкості (І б).

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99, норми мікроклімату виробничих приміщень наведено в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 - Параметри мікроклімату виробничого приміщення

| Період року | Категорія робіт       | Температура, °С |                   |             |            |             | Відносна вологість % |                                                                  | Швидкість руху, м/с      |                                                                 |
|-------------|-----------------------|-----------------|-------------------|-------------|------------|-------------|----------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|             |                       | оптимальна      | допустима         |             |            |             | оптимальна           | опустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більш ніж | Оптимальна, не більш ніж | допустима на робочих місцях постійних непостійних, не більш ніж |
|             |                       |                 | Верхня межа       |             | Нижня межа |             |                      |                                                                  |                          |                                                                 |
|             |                       |                 | На робочих місцях |             |            |             |                      |                                                                  |                          |                                                                 |
|             |                       |                 | Постійних         | Непостійних | Постійних  | Непостійних |                      |                                                                  |                          |                                                                 |
| Холодний    | Легкої тяжкості – І-б | 21-23           | 24                | 25          | 20         | 17          | 40-60                | 75                                                               | 0,1                      | До 0,2                                                          |
| Теплий      |                       | 22-24           | 28                | 30          | 21         | 19          | 40-60                | 60 (при 27°С)                                                    | 0,2                      | 0,1-0,3                                                         |

Джерелами додаткового підвищення температури повітря є: технологічне устаткування, яке має високу температуру нагріву; нагріті до високих температур деталі і розплавлені матеріали. Для підтримання нормативних параметрів мікроклімату в обчислювальному комплексі додатково впроваджено систему вентиляції та кондиціонування повітря.

Для вимірювання параметрів мікроклімату використовуються наступні прилади: ртутні та спиртові термометри (для вимірювання температури), психрометри (для

визначення відносної вологості повітря), анеометри й кататермометри (для встановлення швидкості руху повітря).

Також проектом передбачено наступні заходи, згідно з ДСН 3.3.6.042-99:

- теплообмінне обладнання оснащується місцевою витяжною вентиляцією у вигляді локальних відсмоктувачів, витяжних зонтів та ін.;
- від перегрівання при попаданні прямих сонячних променів в теплий період року - встановлення жалюзі та ін., від радіаційного охолодження в зимовий період року - екранування робочих місць.

### Розрахунок габаритів витяжного зонта

Припливні відсмоки активуються плоскими і компактними припливними струменями, які захоплюють навколишнє повітря і направляють його до місцевого відсмоку. Припливний потік повинен проходити в зоні шкідливих виділень і направлятися до центру всмоктуючого отвору, до того ж кількість відсмоктуючого повітря повинна перевищувати кількість повітря, що поступає з припливним потоком.

Зонти активуються піддувом по периметру, як показано на рисунку 8.1.

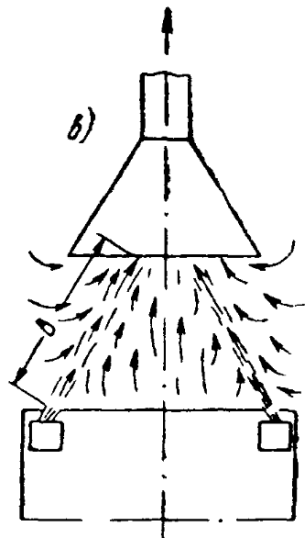


Рисунок 8.1 - Зображення витяжного зонта

Стійкість системи «припливний потік - місцеве відсмоктування» відносно неорганізованих потоків повітря, що виникають в приміщенні, визначається величиною швидкості на осі повітряного потоку в «критичному перерізі», в якому вплив припливного потоку вже послаблений, а дія місцевого відсмоктування ще не значна. Ця швидкість становить 1-2 м/с. Швидкість виходу припливного повітря - не більше 10 м/с.

За [12] виконаємо наступні розрахунки.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 75   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

Вважаємо відсмоктування круглого перерізу.

Відстань від припливного отвору до критичного перерізу:

$$x_{кр} = 0,848 \cdot B, \quad (8.1)$$

де  $B$  - довжина потоку. Прийmemo 1,5 м.

$$x_{кр} = 0,848 \cdot 1,5 = 1,272 \text{ м.}$$

Осьову швидкість припливного потоку в критичному перерізі приймаємо  $v_{\min} = 2$  м/с.

Середню швидкість в п припливному отворі приймаємо  $v_1 = 6$  м/с. Швидкість всмоктування  $v_2 = 2,5 \cdot v_{кр} = 5$  м/с.

Звідси, діаметр припливного отвору

$$d_1 = 0,138 \cdot B \cdot v_{\min} / v_1, \quad (8.2)$$

$$d_1 = 0,138 \cdot 1,5 \cdot 2 / 6 = 0,069 \text{ м.}$$

Діаметр всмоктуючого отвору

$$d_1 = 0,196 \cdot B \cdot (v_{\min} / v_2)^{1/2}, \quad (8.3)$$

$$d_1 = 0,196 \cdot 1,5 \cdot (2/5)^{1/2} = 0,186 \text{ м.}$$

Об'єм припливного повітря

$$L_1 = 55 \cdot B^2 \cdot v_{\min}^2 / v_1, \quad (8.4)$$

$$L_1 = 55 \cdot 1,5^2 \cdot 2^2 / 6 = 81,5 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Об'єм всмоктуючого повітря

$$L_2 = 100 \cdot B^2 \cdot v_{\min}, \quad (8.5)$$

$$L_2 = 100 \cdot 1,5^2 \cdot 2 = 450 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Виходячи з вище зроблених розрахунків, підбираємо кругий витяжний зонт компанії STARVENT типу острівного нестандартного моделі ЗВО - 4.

## 8.2.2 Виробниче освітлення

Для нормальної зорової роботи з обчислювальним комплексом створюються умови, за яких не виникають професійні захворювання або виробничий травматизм. Освітлення має відповідати встановленим нормативам та характеру зорової виробничої діяльності. Для нормальної роботи оператора комп'ютерної установки забезпечується відповідне освітлення приміщення. Для цього визначаємо вид зорових робіт, які будуть виконуватися при нормальній роботі обладнання, ремонті та аварійному режимі. Норми освітленості і КПО цеху, відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 занесемо до таблиці 7.2.

Таблиця 8.2. Норми освітленості і КПО цеху, згідно ДБН В.2.5-28:2018

| Розряд і під-<br>розряд зорової<br>роботи | Освітленість, лк |          | КПО, %         |                |
|-------------------------------------------|------------------|----------|----------------|----------------|
|                                           | Штучне           |          | Природне       | Суміщене       |
|                                           | Комбіноване      | Загальне | Верхнє і бічне | Верхнє і бічне |
| IVB                                       | 400              | 200      | 4 і 1,5        | 2,4 і 0,9      |

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 76   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

Для освітлення виробничого приміщення використовуються люмінесцентні лампи з денним світлом типу ЛД – 40(G13) та світильники з світлодіодними лампами LED з потужністю 20 Вт в холодильній камері. В овочесховищі передбачено пристрій аварійного евакуаційного освітлення - мінімальна освітленість 1 лк на вулиці і 2 лк в приміщенні.

Для контролю освітленості передбачено люксметр типу Ю-117.

### 8.2.3 Виробничий шум і вібрація

Одним з головних умов організації роботи промислового підприємства є контроль рівня шуму і вібрацій, які негативно впливають на здоров'я обслуговуючого персоналу. Безперервний шум від працюючих компресорів, охолоджувачів повітря і інших пристроїв можуть викликати порушення в організмі людини: психічні проблеми; зниження працездатності і продуктивності праці персоналу; погіршення слуху і виникнення головного болю; підняття артеріального тиску; нервова і фізична перевтома.

Крім шуму, велику небезпеку несе вібрація, що виникає від обертових механізмів, рідини в трубах і при роботі компресорів, яка передається на будівельні конструкції, викликаючи загрозу їх руйнування.

Рівень шуму на виробництві залежить від одночасної роботи всього обладнання і не повинен перевищувати 80 дБА, згідно ДСН 3.3.6.037–99. Фактичне значення складає 78 дБА, що відповідає вимогам.

Відповідно до ДСН 3.3.6.039-99 нормуються допустимі величини віброшвидкості (Дб, м/с) або віброприскорення (Дб, м/с<sup>2</sup>) відповідно:

- трубопроводи з середньгеометричною частотою смуг 31,5 Гц відповідно для 1/3 окт: 87 Дб або 0,11 м/с, 57 Дб або 0,224 м/с<sup>2</sup>; для 1/1 окт: 92 Дб або 0,2 м/с, 62 Дб або 0,4 м/с<sup>2</sup>;
- компресори з середньгеометричною частотою смуг 40 Гц для 1/3 окт: 87 Дб або 0,11 м/с, 59 Дб або 0,29 м/с<sup>2</sup>.

Заходи щодо віброізоляції знижують коливання від працюючого устаткування, сприяють зменшенню шуму і збільшують надійність будівельних конструкцій.

Віброізолюючі елементи:

а) у вигляді окремих опор:

- пружинні віброізолятори, основним робочим елементом яких є одна або кілька сталевих гвинтових пружин;
- пружні прокладки, нерідко мають складну форму;

б) у вигляді шару пружного матеріалу, що укладається між машиною і фундаментом;

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 77   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

в) у вигляді плаваючої підлоги на пружній основі. Підлога на пружній основі являє собою залізобетонну стяжку, влаштовану на пружній основі поверх несучої плити перекриття будівлі.

Також при установці надпотужних промислових компресорів обов'язковою умовою є організація для них локальних фундаментів, відокремлених від конструкції будівель.

Для поглинання шуму від роботи конденсатора використовується пористий акустичний поролон, який розсіює звукову енергію і перетворює її в теплову. Для збільшення звукоізоляції працюючих компресорів використовується непориста, еластична самоклеюча звукоізоляція на кам'яній основі.

Для контролю шуму і вібрації використовується шумомір і вібраторі АСВШ-МГ4.

Якщо в робочій зоні рівень перевищує нормативні значення і заходи щодо віброізоляції і поглинання шуму не знижують його рівень, додатково застосовують індивідуальні засоби захисту від шуму, відповідно до ДСТУ ГОСТ 26568:2009.

#### 8.2.4 Випромінювання

В процесі роботи виробничий персонал піддається інфрачервоному випромінюванню від теплообмінного обладнання, освітлювання та додаткового устаткування.

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99, інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь нагріву технологічного обладнання, освітлюючих приладів, інсоляції від зашкелених огорожень не повинна перевищувати: 35 Вт/м<sup>2</sup> при опроміненні 50 % поверхні тіла і більше; 70 Вт/м<sup>2</sup> - при величині опромінення поверхні тіла 25-50 %; 100 Вт/м<sup>2</sup> - при опроміненні не більше 25 % поверхні тіла працюючого.

При наявності відкритих джерел випромінювання (нагрітий метал, скло, відкрите полум'я) допускається інтенсивність опромінення до 140,0 Вт/м<sup>2</sup>. Розмір опромінюючої площі не повинен перевищувати 25% поверхні тіла працюючого при обов'язковому використанні засобів індивідуального захисту (спецодяг, окуляри, спецвзуття)

Заходи захисту від інфрачервоного випромінювання, передбачені проектом:

- теплоізоляція гарячих поверхонь;
- охолодження тепловипромінюючих поверхонь (фреоном, водою);
- видалення робочих від місця випромінювання (захист відстанню);
- автоматизація (механізація) виробничих процесів (щит управління);
- екранування джерела випромінювання;
- застосування засобів індивідуального захисту (використання спецодягу з бавовняної тканини з вогнестійкою просоченням, спецвзуття, окуляри зі світлофільтрами з жовто-зеленого або синього скла, рукавичок, рукавиць, захисних масок).

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 78   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

### 8.3 Електробезпека

Основні нормативні документи, що регламентують вимоги з електробезпеки в приміщенні котельні, це ПУЕ-2017, ДСТУ 7237:2011, НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.01-97, НПАОП-40.1-1.32-01 та Технічний регламент з безпеки низьковольтного електричного обладнання (постанова Каб. Міністрів України №1149 від 23.10.2009 р.).

Робочі приміщення котельні відносяться до категорії приміщень з підвищеним рівнем електротравматизму, так як існує можливість одночасного дотику до струмопровідних частин електроустаткування з одного боку і до заземлених елементів металоконструкцій будівлі та елементів технологічного устаткування – з іншого боку.

Забезпечена відповідна орієнтації персоналу при роботі з ЕУ за рахунок застосування знаків та міток. Усі струмоведучі частини огорожені і вивішені плакати ( “Стій! Напруга!”, “Не включати-працюють люди”).

Монтаж електрообладнання котельні виконано у відповідності до вимог ДБН В.2.5-27-2006. «Інженерне обладнання будинків і споруд. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд».

Застосовані системи захисного заземлення (TN-C та TN-S) в трифазних 4-х та 5-ти провідних електромережах напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю, що перетворює пробій фази на корпус в однофазне коротке замикання з метою отримання максимальної величини струму КЗ. Це забезпечує надійне спрацювання пристроїв максимального струмового захисту і автоматичне відключення пошкодженої електроустановки від живильної мережі. Для системи захисного заземлення TN-C використовується відповідно один «PEN»-провідник, а для системи захисного заземлення TN-S - це два провідника: «N»-нульовий та «PE»-заземляючий.

Виконаємо перевірочний розрахунок електромережі на вимикаючу здатність при аварійному режимі роботи системи керування та автоматизації тепло генераторної.

У робочому приміщенні живлення електроустановок здійснюється від 3-х фазної чотирьохпровідної електричної мережі змінного струму промислової частоти з глухозаземленою нейтраллю напругою 380/220 В.

Розрахуємо струм короткого замикання при аварійному режимі роботи електрообладнання системи керування та автоматизації:

$$I_{кз} = \frac{U_m}{\sqrt{(R_\phi + R_n)^2 + (x_\phi + x_n)^2 + Z_{m/3}}}, \quad (8.6)$$

де  $U_m$  – напруга, В;

$R_\phi$  – активна складова опору фази, Ом;

$R_n$  – активна складова опору PEN-провідника, Ом;

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 79   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

$x_\phi$  – індуктивна складова опору фази, Ом;

$x_n$  – індуктивна складова опору нульового проводу, Ом;

$Z_{m/3}$  – еквівалентний опір трансформатору, Ом.

$$I_{кз} = \frac{380}{\sqrt{(4+4)^2 + (0,5+0,5)^2 + 0,11}} = 46,51 \text{ А.}$$

Отже, струм короткого замикання при аварійному режимі становить 46,51 А.

Обчислимо кратність струму короткого замикання до струму номінального спрацювання:

$$k = \frac{I_{кз}}{I_{ном.еф}}, \quad (8.7)$$

$$k = \frac{46,51}{25} = 1,86 > 1,4 (I_{кз} < 100 \text{ А}).$$

Розрахуємо максимальну напругу на корпусах електрообладнання системи керування та автоматизації при її аварійному режимі роботи:

$$\frac{U_{кз_{н_{кmax}}}}{U_{B_{кmax}}} \quad (8.8)$$

Ця напруга відповідає вимогам безпеки при часі спрацювання автомата максимального струмового захисту менше 0,5 сек ( $U_{дор} = 200 \text{ В}$ ).

Згідно ПУЕ - 17 гранично допустимі напруги дотику наведено в таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 - Гранично допустима напруга дотику

| Тривалість дії, с | до 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 0,9 | Понад 1 сек. до 5 сек. |
|-------------------|--------|-----|-----|-----|-----|------------------------|
| Напруга дотику, В | 500    | 400 | 200 | 130 | 100 | 65                     |

Технічні засоби передбачені проектом для безпеки працюючого персоналу:

- ізоляція струмопровідних частин;
- мала напруга, вирівнювання потенціалів;
- запобіжна сигналізація, блокування, знаки безпеки;
- засоби індивідуального захисту;
- маркування струмоведучих частин електроустаткування, усі струмоведучі частини пофарбовані в яскраво червоний колір;
- недосяжність підвісу живлячого провідника.

Для захисту від удару електричним струмом у випадку пошкодження робочої ізоляції ЕУ використовуються автомати максимального струмового захисту та ПЗВ. Також застосовані засоби контролю ізоляції та сигналізації та пристрої відключення ЕУ при зменшенні опору її ізоляції нижче припустимого рівня.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 80   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

Застосовуються попереджувальні написи, знаки, фарбування струмопровідних частин у сигнальні кольори та інші засоби сигналізації про небезпеку.

Біля вимикачів, контакторів, магнітних пускачів, рубильників та інших пускових пристосувань, а також запобіжників, змонтованих на групових щитах, повинна бути напис і покажчик, до якого двигуну вони належать.

#### 8.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Виконання вимог безпеки в надзвичайних ситуаціях потребує розробки відповідних технічних рішень та організаційних заходів щодо оповіщення, евакуації та дій персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

##### 8.4.1 Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення НС

У випадку виникнення НС кожний працівник повинен:

- ☐ припинити роботу (якщо це дозволено технологічним процесом виробництва);
- ☐ якнайшвидше сповістити про НС керівника та відповідальну посадову особу;
- ☐ приступити до ліквідації (локалізації) НС наявними засобами;
- ☐ за необхідності викликати підрозділи ДСНС.

Керівництво підприємства, а також особи, відповідальні за цивільний захист (цивільну оборону) та техногенну безпеку, протипожежну безпеку, охорону праці, зобов'язані в разі виникнення НС:

- ☐ перевірити та продублювати повідомлення про НС, довести це до відома керівника підприємства;
- ☐ оцінити умови, з'ясувати кількість і місцезнаходження людей, за потреби вжити заходів щодо оповіщення працівників, населення про НС;
- ☐ під час загрози для життя людей негайно організувати їх рятування (евакуацію), використовуючи для цього наявні сили й засоби;
- ☐ забезпечити виведення з небезпечної зони людей, які не беруть безпосередньої участі в ліквідації НС;
- ☐ обмежити допуск людей та транспортних засобів до небезпечної зони.

У разі дій щодо локалізації (ліквідації) наслідків НС потрібно:

- ☐ організувати оповіщення й зустріч підрозділів ДСНС та інших служб, забезпечити узгодженість дій персоналу підприємства й підрозділів аварійно-рятувальної, медичної та інших служб;

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 81   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

☐ у випадку необхідності евакуації персоналу (частини персоналу) та матеріальних цінностей забезпечити необхідну кількість транспортних засобів.

Евакуація має забезпечити захист працюючого персоналу в разі неможливості вжиття інших заходів цивільного захисту під час виникнення надзвичайних ситуацій. Рішення про евакуацію приймається керівником підприємства або особою, яка його заміщує. Підставою для прийняття рішення про практичне здійснення евакуаційних заходів є фактичні показники стану довкілля у випадку надзвичайної ситуації та відповідне рішення Кабінету Міністрів України, органів місцевої державної влади, територіальних органів ДСНС.

У разі евакуації на керівника підприємства покладається:

☐ планування й проведення евакуації працівників;  
☐ контроль за плануванням, підготовкою й проведенням евакуаційних заходів;  
☐ визначення та підготовка безпечного району для розміщення евакуйованих працівників.

Ширина шляхів евакуації прийнята не менше 1 м, дверей не менше 0,8 м. Відкриття дверей на шляхах евакуації передбачено у бік найближчого евакуаційного виходу, висота проходів і дверей не менше 2м. Двері на сходові клітки, провідні в коридор і назовні, що самозакриваються з ущільненням в притворах. Вихідні двері з приміщення відкриваються назовні.

На видимих і досяжних місцях, ближче до виходів з приміщень встановлені пожежні щити для розміщення первинних засобів пожежогасіння: ручних вуглекислотних вогнегасників ОУ-5, ящики з піском, місткістю 1 м<sup>3</sup>, лопати, ломи, багра, сокири, щільної повсті розміром 2х1,5 м.

#### **8.4.2 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення виробничого персоналу при НС**

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях пропонується встановлення системи оповіщення виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003-2009.

Оповіщення про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

☐ поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;  
☐ трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 82   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

- ☐ трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- ☐ ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";
- ☐ ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;
- ☐ дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7-2016 необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовного оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу про НС здійснюється за допомогою світлових та/або звукових оповіщувачів – обладнуються всі виробничі приміщення.

Система оповіщення повинна розпочати трансляцію сигналу оповіщення про НС, не пізніше трьох секунд з моменту отримання сигналу про НС.

Кількість звукових та мовленнєвих оповіщувачів, їх розміщення та потужність повинні забезпечувати необхідний рівень звуку в усіх місцях постійного або тимчасового перебування виробничого персоналу.

Звукові оповіщувачі повинні комбінуватися зі світловими, які працюють у режимі спалахування, у таких випадках:

- ☐ у приміщеннях, де люди перебувають у шумозахисному спорядженні;
- ☐ у приміщеннях з рівнем шуму понад 95 дБ.

Перехід з основного джерела електропостачання на резервний та у зворотному напрямку в разі відновлення централізованого електропостачання повинен бути автоматичним.

Тривалість роботи системи оповіщення від резервного джерела енергії у черговому режимі має бути не менш 24 годин.

Тривалість роботи системи оповіщення від резервного джерела енергії у режимі "Тривога" має бути не менше 15 хвилин.

Звукові оповіщувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003 «Системи пожежної сигналізації. Частина 3. Оповіщувачі пожежні звукові».

Світлові оповіщувачі, які працюють у режимі спалахування, повинні бути червоного кольору, мати частоту мигтіння в межах від 0,5 Гц до 5 Гц та розташовуватись у межах прямої видимості з постійних робочих місць.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 83   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

## 8.5 Пожежна безпека

Згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень та споруд з вибухопожежної та пожежної безпеки», робочі приміщення теплогенераторної відносяться до вибухопожежонебезпечних приміщень категорії Г.

Згідно з класифікацією ПУЕ-2017, робочі зони за вибухопожежонебекою відносяться до зон класу В-І.

Найбільш частими причинами пожеж є:

- порушення правил пожежної безпеки;
- порушення правил експлуатації електроустановок;
- куріння в недозволених місцях.

В котельних небезпека виникнення пожеж пов'язана з наявністю великих кількостей палива (природного газу), різних масел в системах змащування технологічного устаткування і в електротехнічних установках; споживачів електроенергії власних потреб різної потужності і напруги; високих температур теплоносія, газів, поверхонь технологічного устаткування і трубопроводів.

Таким чином, джерела пожежі в котельній:

- іскри, що утворюються при коротких замиканнях;
- нагрів електроустаткування при його перевантаженні;
- проведення зварювальних робіт.

Причиною пожежі в котельному відділенні може служити:

- самозагорання масла в системах охолодження і змащування

Будівля котельної виконується з негорючих матеріалів. Для внутрішнього облицювання приміщень також застосовують негорючі матеріали.

Згідно вимог ДСТУ 3675-98 ISO 3941-2007 робочі приміщення повинні бути обладнані первинними засобами пожежогасіння. При пожежі в електроустановках, що знаходяться під напругою (клас пожежі «Е»), рекомендується застосовувати порошкові та вуглекислотні вогнегасники.

Кожен випадок пожежі повинен розслідуватися спеціально призначеною комісією для встановлення причин, збитків, винних у виникненні пожежі (загоряння) і розробки відповідних протипожежних заходів для інших об'єктів галузі згідно ДКД 34.20.801 «Інструкція по службовому розслідуванню пожеж, які відбулися на об'єктах Мінпаленерго України».

Пожежна безпека в робочих приміщеннях відповідає вимогам НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні» та НАПБ В.01.034-2005/111 «Правила пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та організаціях енергетичної галузі України».

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 84   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

## 9. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

### 9.1 Характеристика району розташування об'єкту

Земельна ділянка об'єкту, площею 980 м<sup>2</sup>, розташована за адресою, село Биківня, у Київській області була куплена приватною особою у безстрокове використання. Проводиться будівництво житлового будинку з подальшою експлуатацією. План земельного участку зображено на рисунку 9.1.

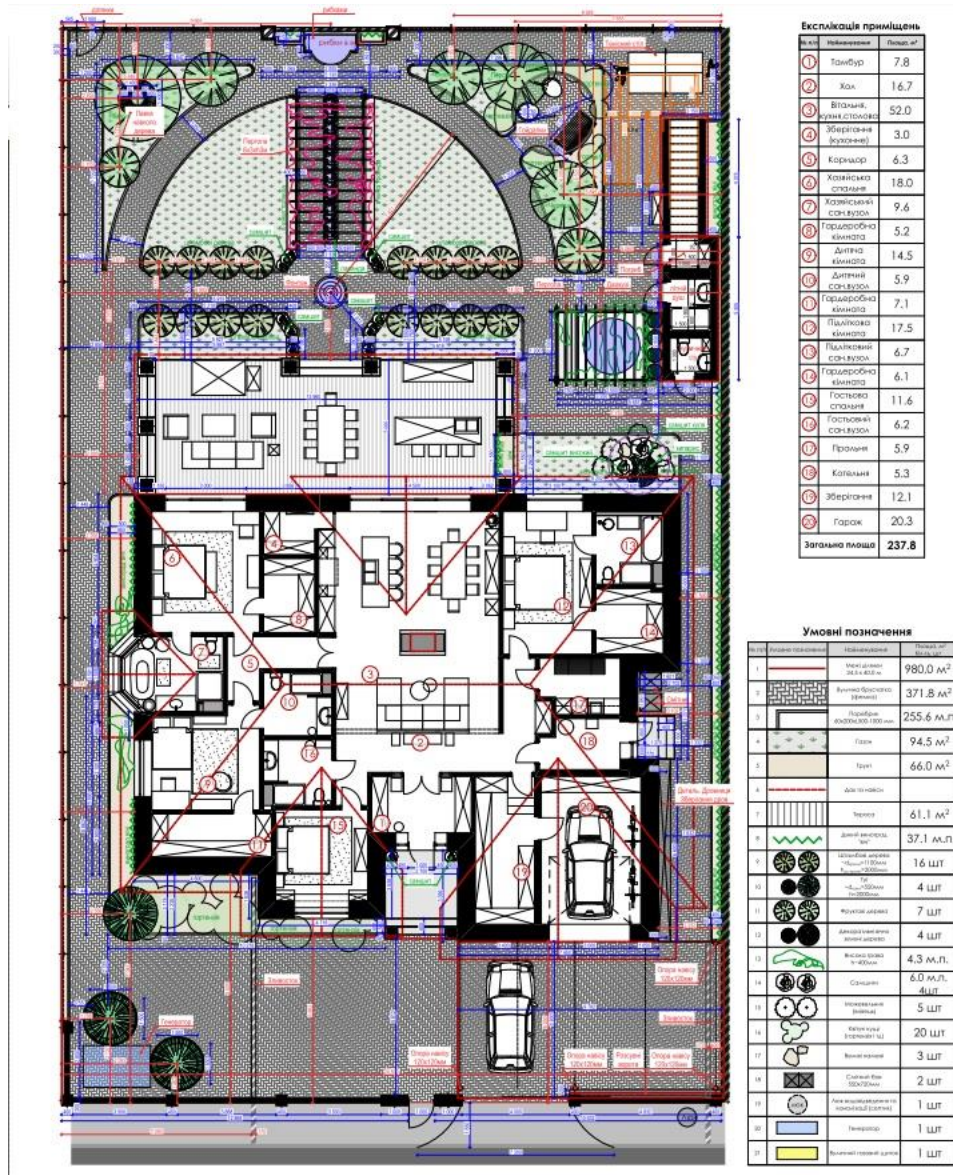


Рисунок 9.1 План земельного участку

Розрахункова зимова температура зовнішнього повітря для проектування:

- Середня температура опалювального періоду - -0,1 °С;
- Тривалість опалювального періоду - 176 днів;

#### 9.1.1 Перелік документації, що використана для проведення роботи

- ДБН В. 2.5-77:2014 «Котельні» ;

- Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів ДСП 173;
- НПАОП 0.00-1.26-96 «Правила будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів».
- ДБН В. 2.5-39:2008 Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі;

### 9.1.2 Характеристика об'єкту дослідженого у проекті

В даній магістерській роботі розглядається встановлення системи теплонасосного опалення використанням теплоти ґрунту для індивідуального житлового будинку. Будинок являє собою одноповерхову будівлю з горищем, загальною площею 242,2 м<sup>2</sup>, оснащений ґрунтовим тепловим насосом.

Сумарне розрахункове теплове навантаження будівлі становить 17,83 кВт (15331 ккал/год).

- Опалення 14,23 кВт (12235 ккал/год).
- Витрата теплоти на ГВП 3,66 кВт (3147 ккал/год).

Середнє навантаження на систему – 9,14 кВт (7858 ккал/год).

## 9.2 Аналіз використання теплових насосів для потреб опалення замість традиційних способів теплопостачання

Використання теплових насосів для теплозабезпечення житлових та громадських будівель є найбільш сучасним та енергоефективним методом теплозабезпечення. Для теплозабезпечення промислових будівель використання теплових насосів обмежене. Практично можливо використати теплові насоси для теплозабезпечення адміністративно-офісних будівель підприємства.

Суттєвим чинником застосування теплових насосів для теплопостачання об'єкту є також невелика земельна ділянка забудови та незначне теплопостачання об'єкту. Площа забудови складає 980 м<sup>2</sup>. Практично можливо використати під свердловини до 68м<sup>2</sup> земельної ділянки, взято з розрахунку кількості та розташування свердловин (Розділ 5). За допомогою теплових насосів на такій площі забудови теоретично можливо забезпечити отримання теплової потужності, 19 кВт, від ґрунтових теплообмінників. Для цього необхідно будівництво до 10 свердловин включно середньою глибиною до 50 метрів. Витрати на отримання теплової потужності 19 кВт, від ґрунтових теплообмінників складуть не менше 700 тис. грн.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 86   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

Застосування теплових насосів для теплопостачання об'єкту дозволить повністю задовольнити потреби об'єкту в теплопостачанні.

Також, при такому варіанті теплопостачання, необхідно мати додаткові електричні потужності, тобто збільшити обсяги електропостачання вдвоє по відношенню до існуючих умов.

Для даного об'єкту проектування можливо отримання збільшеної електричної потужності по існуючим кабельним лініям та присутності запасу потужності на трансформаторних підстанціях, від яких здійснюється електропостачання.

Цей варіант вдосконалення теплопостачання дозволяє повністю забезпечувати теплопостачання за допомогою електроенергії. Також, має перспективу на перехід на автономне забезпечення дому електроенергією та теплом в майбутньому. Цього можна досягти за допомогою встановлення сонячних панелей та акумулятору накопичення електроенергії.

### 9.3 Розрахунки вартості експлуатації варіантів теплопостачання

З розділів 3 та 4 були взято тепловантаження на систему.

1.Максимальне теплоспоживання об'єкту 19 кВт.

2.Середнє навантаження об'єкту за опалювальний період:

$$Q_o^{cp} = 14,23 \frac{20 - (-1,1)}{20 - (-22)} = 7,14 \text{ кВт}.$$

3.Виробіток тепла для потреб теплопостачання за опалювальний період:

$$Q_o^{pich} = 7,14 \cdot 176 \cdot 24 = 30159 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}} = 25,932 \text{ гкал/рік}.$$

#### 9.3.1 Централізоване теплопостачання

4. Вартість теплової енергії, що постачається ПАТ «Київенерго»: 2284,4 грн/Гкал з ПДВ.

5. Вартість витрат на утримання та ремонт центральних теплових пунктів, витрат на утримання та ремонт індивідуальних теплових пунктів, від ПАТ «Київенерго»: 432,12 грн/Гкал з ПДВ.

6. Загальна вартість тарифу: 2716,56 грн/Гкал з ПДВ.

7. Вартість теплової енергії, що споживається об'єктом за опалювальний період:

$$25,932 \cdot 2716,56 = 70446 \text{ грн}.$$

Показники вартості цього варіанту теплопостачання занесені в таблицю 9.1.

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 87   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

### 9.3.2 Теплопостачання від теплового насоса

8. У розділі 5 було зазначено, що тепловий насос на виробництво 1,0 МВт теплової енергії витратить 227 кВт·год.

9. На 1 Гкал витрата електроенергії:  $227 \cdot 1,16 = 263,32$  кВт·год.

10. Витрати електричної енергії за опалювальний період:

$263,32 \cdot 25,932 = 6828,4$  кВт·год.

11. Вартість електроенергії, що споживається складає 1,44 грн за 1 кВт·год при умові використання менше 250 кВт/год на місяць, якщо більше то вартість буде складати 1,68 грн за 1 кВт·год.

12. Вартість споживання електроенергії при цьому буде складати:

$6828,4 \cdot 1,68 = 11471,7$  грн

13. Вартість електричної енергії необхідної для циркуляційного насосу за опалювальний період:

$330,9 \cdot 1,68 = 555,9$  грн

де 330,9 кВт/год кількість споживання електричної енергії для циркуляції теплоносія

14. Витрати по відношенню до 1 варіанту складають:

$(11471,7 + 555,9) / 70446 \cdot 100 = 17,1\%$

15. Скорочення витрат по відношенню до варіанту 1 складають:

$100 - 17 = 82,9\%$

### 9.4 Висновки

В даному розділі надана порівняльна оцінка по основним складовим, що визначають енергоефективність теплопостачання об'єкту:

9.4.1. *Екологічні чинники:* Викиди парникових газів для варіанту роботи твердопаливного котла менше, ніж викиди котлів, що працюють на природному газі. Викиди парникових газів для роботи електричного котла та при застосуванні теплових насосів також менше ніж викиди котлів, що працюють на природному газі.

9.4.2. *Технічні питання:* Впровадження всіх варіантів є технічно можливим.

9.4.3. *Експлуатаційні чинники:* При існуючих тарифах на постачання теплової енергії, природного газу, електричної енергії, вартості дров, з розглянутих розрахунків слідує: Експлуатаційні витрати на теплопостачання від теплових насосів, менше експлуатаційних витрат на централізоване теплопостачання на 82,9 %.

*Варіант автономного теплопостачання з застосуванням природного газу не розглядається, але інформаційно наводимо дані, що експлуатаційні витрати на теплопостачання за допомогою газових котлів, з ККД 92,5%, менше експлуатаційних*

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 88   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

витрат на централізоване теплопостачання на 23,3%.) При вартості природного газу 8959,32 грн/ 1000 м<sup>3</sup> ).

9.4.4. *Енергозбереження:* Варіант теплопостачання при теплопостачанні від теплових насосів більш енергоефективний, але запровадження цього варіанту передбачає високу вартість обладнання та будівельно-монтажних робіт.

9.4.5 *Економічні чинники:* Капітальні витрати на забезпечення теплопостачання з застосуванням теплових насосів найбільші.

Попередньо прораховані вартості варіантів застосування як резервного та альтернативного джерела теплопостачання, експлуатаційних витрат, екологічних чинників зведено в таблицю 9.1.

Таблиця 9.1 Зведена таблиця попередніх прорахунків відносної вартості експлуатації, впливу на навколишнє середовище при порівнянні вибору джерела теплопостачання об'єкту.

| № | Варіант теплопостачання              | Попередня вартість капітальних затрат, млн.грн. | Відносна вартість експлуатаційних затрат, % | Вплив на навколишнє середовище,% |
|---|--------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Централізоване теплопостачання       | 0,1-0,3                                         | 100                                         | 100                              |
| 2 | Теплопостачання від теплових насосів | 0.7-0.9                                         | 17,1                                        | 14                               |

З аналізу технічних, економічних та екологічних чинників варіантів вибору джерела теплопостачання для об'єкту: «Теплонасосна системи теплопостачання індивідуального житлового будинку з використанням теплоти ґрунту, за адресою: село Биківня, Київської області» доцільно будівництво вбудованої котельні з застосуванням теплових насосів.

## ВИСНОВКИ

Данна магістерська дисертація являє собою реальний проект. У цьому проекті була спроектована систем опалення та кондиціонування повітря, доповнена аналізом вертикального ґрунтового теплообмінника, для індивідуального житлового будинку з використанням ґрунтового теплового насосу у селі Биківня Київської області, і складається з теплотехнічних розрахунків, технічних рішень та досліджень, направлених на реалізацію інженерних систем будівлі, що розглядається. Система опалення відповідає всім сучасним нормам з енергозбереження, автоматизації роботи інженерних систем та охорони праці експлуатації інженерних систем. Даний проект має потенціал для удосконалення системи автономного споживання будинку встановленням сонячних панелей та акумулятору зберігання електроенергії.

У даній магістерській дисертації було виконано наступний обсяг робіт:

1. Розраховано теплові втрати приміщення;
2. Розраховано надходження теплоти до приміщень об'єкта проектування;
3. Проведений аналіз ґрунту.
4. Розраховано та досліджено вертикальний ґрунтовий теплообмінник;
5. Виконано розрахунок опалення і кондиціонування будинку;
6. Вибрано обладнання системи опалення та ГВП;
7. Виконано розрахунок теплої підлоги;
8. Виконано техніко-економічні обґрунтування;
9. У розділі з охорони праці розглянуті питання по забезпеченню безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Всі технічні рішення, розглянуті та прийняті для проекту, відповідають умовам екологічних, санітарно-гігієнічних та інших діючих норм і забезпечують безпечну для життя та здоров'я людей експлуатацію будівлі. Для отриманих теплових втрат приміщення, враховуючи оптимальні умови роботи ґрунтових теплообмінників, було розраховано вертикальний теплообмінник для теплонасосної системи опалення. При розробці проекту були витримані вимоги таких керівних та нормативних документів:

СНиП 2.04.05-91\*У «Отопление, вентиляция и кондиционирование»;

ДБН В.1.1-7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»;

СНиП II - 3 - 79\*. «Строительная теплотехника».

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 90   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу : zakon1.rada.gov.ua/signal/kr06145.
2. Некрасова О.А., Синяк Ю.В. Исследование теплонасосных систем отопления (модельный подход) // Теплоэнергетика. – 1986. – № 11. – С. 30–34.
3. Безродний М.К. Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання: монографія / М.К. Безродний, Н.О. Притула. – К.: НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2016. – 272 с.
4. ДСТУ Б В.2.5-44:2010 Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами [Текст]. – Чинний від 2010-09-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – IV, 51 с.
5. Пісарев В.С. Теплові насоси та холодильні установки. Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2002. – 124 с.
6. Безродний М.К. Енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання / М.К. Безродний, Н.О. Притула. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 208 с.
7. Пуховий І.І. Теплонасосне та безпосереднє використання теплової енергії доквілля і її потенціал в Україні / І.І. Пуховий // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2005. – № 1. – 92–97 с.
8. Безродний М.К. Теплові насоси та їх використання. [Текст]: посіб. / М.К. Безродний, І.І. Пуховий, Д.С. Кутра. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 289 с.
9. Алабовський О.М., Боженко М.Ф., Хоренженко Ю.В. Проектування котелень промислових підприємств. – К. Вища школа, 1992. – 208 с.
10. Боженко М.Ф. Джерела теплопостачання та споживачі теплоти: Навч. посіб. / М.Ф.Боженко, В.П.Сало. – Київ: ІВЦ Вид-во «Політехніка», 2004. – 192 с.
11. ДБН В. 2.6.-31: 2006 зі зміною №1 від 1 липня 2013 року. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – Чинні від 2007-04-01 – К.: Мінрегіонбуд України, 2006. – 70 с.
12. СНиП 2.04.05-91\*У Отопление, вентиляция и кондиционирование. Издание неофициальное. – К.: КиевЗНИИЭП, 1996. – 89 с.
13. Гершкович В. Ф. Особенности проектирования систем теплоснабжения зданий с тепловыми насосами / В. Ф. Гершкович. – К.: Украинская Академия Архитектуры ЧП «Энергоминимум», 2009. – 60 с.
14. Технічні дані продукції з інтернет ресурсів: <http://www.vaillant.ua/dlia-klientiv/>, <https://www.reflex-winkelmann.com/ua/>, <https://wilo.com/ua/>, <https://www.buderus.com/ua/>

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     | 91   |

# Додаток А

## СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ І ТВОРЧИХ ДОСЯГНЕНЬ

Антоненко Богдана Миколайовича

(прізвище, ім'я, по-батькові студента)

| № з/п | Найменування праць                           | Рукописні або друківні | Назва видавництва, журналу (номер, рік) або номер авторського свідоцтва, номер дипломного на винахід                                                                                                                                                        | Кількість друкованих аркушів або сторінок разом | Прізвище співавторів праці |
|-------|----------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------|
| 1     | 2                                            | 3                      | 4                                                                                                                                                                                                                                                           | 5                                               | 6                          |
| 1     | Переривчаста вентиляція громадських будівель | Друк                   | Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів, м. Київ, 23– 26 квітня 2019 р. У 2 т. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – Т. 1. – 313 с. ISBN 978-966-622- | 1 стор.                                         | Боженко М. Ф.              |

Автор

Богдан АНТОНЕНКО

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 92   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

Додаток Б  
Перевірка дипломного проєкта на академічну доброчесність



Ім'я користувача:  
Риндюк Дмитро Вікторович

Дата перевірки:  
10.12.2022 20:42:53 EET

Дата звіту:  
10.12.2022 20:55:51 EET

ID перевірки:  
1013266543

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

ID користувача:  
92674

Назва документа: Антоненко Богдан ТУ-11мл

Кількість сторінок: 84 Кількість слів: 15347 Кількість символів: 119383 Розмір файлу: 11.62 MB ID файлу: 1013024894

2907 слів позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунку слів

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

**29.2%**  
**Схожість**

Найбільша схожість: 8.82% з Інтернет-джерелом (<https://core.ac.uk/download/pdf/323531306.pdf>)

18.5% Джерела з Інтернету 62 Сторінка 56

21.7% Джерела з Бібліотеки 587 Сторінка 88

**0% Цитат**

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

**0.02%**  
**Вилучень**

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

Немає вилучених Інтернет-джерел

0.02% Вилученого тексту з Бібліотеки 14 Сторінка 88

**Модифікації**

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 415

Підозріле форматування 14 сторінок

|     |      |          |        |      |                     |      |
|-----|------|----------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |          |        |      | МД. 22. 144. 219 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                     | 93   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                     |      |

## ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

| № з/п | Формат | Позначення              | Найменування                                                           | Кількість аркушів | Примітка |
|-------|--------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------|
| 1     | A4     |                         | Завдання на дипломний проект                                           | 2                 |          |
| 2     | A4     | МД 22. 144. 219 ПЗ      | Пояснювальна записка                                                   | 93                |          |
| 3     | A1     | МД 22. 144. 219.001 ТМК | Теплова схема                                                          | 1                 |          |
| 4     | A1     | МД 22. 144. 219.002 ТМК | Розташування котельні. Компоновка обладнання.<br>Розрізи 1-1, 2-2, 3-3 | 2                 |          |
| 5     | A1     | МД 22. 144. 219.003 ТМК | Розміщення трубопроводів котельні.<br>Розрізи 4-4, 5-5, 6-6            | 2                 |          |
| 6     | A1     | МД 22. 144. 219.004 ТМК | Тепла підлога                                                          | 1                 |          |
| 7     | A1     | МД 22. 144. 219.005 ТМК | План об'єкту.<br>Розташування свердловин на об'єкті                    | 1                 |          |
| 8     | A3     | МД 22. 144. 219.005 С   | Специфікація                                                           | 4                 |          |

|           |             |       |      |                                          |                                                          |         |
|-----------|-------------|-------|------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------|
|           |             |       |      | МД 22. 144. 219                          |                                                          |         |
|           | ПІБ         | Підп. | Дата |                                          |                                                          |         |
| Студента  | Антоненко   |       |      | Відомість<br>магістерської<br>дисертації | Аркуш                                                    | Аркушів |
| Керівник  | Безродний   |       |      |                                          |                                                          | 1       |
| Т. контр. | Нікуленкова |       |      |                                          | КПІ ім. Ігоря<br>Сікорського, Каф.<br>ТАЕ, Гр. ТУ – 11мп |         |
| Н.контр.  | Середа      |       |      |                                          |                                                          |         |
| Зав.каф.  | Черноусенко |       |      |                                          |                                                          |         |