

Міністерство освіти і науки України  
Одеський національний технологічний університет  
Кафедра холодильних установок і кондиціонування повітря



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему: Проект системи опалення, гарячого водопостачання  
та охолодження на базі ґрунтового теплового насосу для котеджу площею  
280 м<sup>2</sup> у м. Одеса

Здобувача Зіньковський В.О.

3 курсу ЕН-141 групи

Керівник к.т.н, доц. Яковлева О.Ю.

Консультанти: д.т.н, проф. Хмельнюк М.Г.

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від 28.05.2026 р. протокол № 10

Завідувач кафедри ХУКП Михайло ХМЕЛЬНЮК

Одеса - 2026 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

|                      |                                                                 |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Інститут             | Холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського |
| Кафедра              | Холодильних установок і кондиціонування повітря                 |
| Ступінь вищої освіти | Бакалавр                                                        |
| Спеціальність        | 142 Енергетичне машинобудування                                 |
| Освітня програма     | Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря          |

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.

«16» березня 2026 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Зіньковський Василь Олексійович

1. Тема роботи Проект системи опалення, гарячого водопостачання та охолодження на базі ґрунтового теплового насоса для котеджу площею 280 м<sup>2</sup> у м. Одеса

Затверджена наказом ОНТУ від 26.09.2025 р. наказ № 499-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 28.05.2026 р.

3. Вихідні дані роботи

Система охолодження та теплопостачання на базі ґрунтового теплового насоса, будівля площею 280 м<sup>2</sup> має 2 поверхи, місце розташування м. Одеса  
Холодоагент – R1234ze.

Теплоносій – Пропіленгліколь.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

Реферат, Вступ, 1. Теоретична частина, 2. Будівельно-ізоляційна конструкція будинку,  
3. Розрахунок тепловтрат; 4. Розрахунок теплонадходжень; 5. Розрахунок теплої підлоги; 6. Розрахунок системи гарячого водопостачання; 7. Розрахунок радіаторної системи опалення; 8. Підбір фанкойлів; 9. Тепловий розрахунок теплового насоса;  
10. Підбір компресора та допоміжного устаткування; 11. Вибір теплоносія;  
12. Розрахунок ґрунтового колектору. 13. Охорона праці, Перелік літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Презентація в PowerPoint

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

| Розділ        | Консультант                 | Підпис, дата   |                |
|---------------|-----------------------------|----------------|----------------|
|               |                             | Завдання видав | Завдання видав |
| Охорона праці | д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г. | 18.05.2026     | 22.05.2026     |

7. Дата видачі завдання 16.03.2026 р.

Керівник Яковлева О.Ю.

Завдання прийняв до виконання Зіньковський В.О.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №  | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                                                   | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1  | Реферат                                                                                               | 25.05-25.05.2026               | виконано |
| 2  | Вступ                                                                                                 | 16.03-20.03.2026               | виконано |
| 3  | Теоретична частина                                                                                    | 20.03-30.03.2026               | виконано |
| 4  | Будівельно-ізоляційна конструкція будинку                                                             | 01.04-03.04.2026               | виконано |
| 5  | Визначення теплових втрат                                                                             | 05.04-10.04.2026               | виконано |
| 6  | Розрахунок теплонадходжень;                                                                           | 11.04-15.04.2026               | виконано |
| 7  | Розрахунок теплої підлоги;                                                                            | 16.04-20.04.2026               | виконано |
| 8  | Розрахунок системи гарячого водопостачання;                                                           | 21.04-25.04.2026               | виконано |
| 9  | Розрахунок радіаторної системи опалення;                                                              | 27.04-30.04.2026               | виконано |
| 10 | Підбір фанкойлів; Тепловий розрахунок теплового насоса; Підбір компресора та допоміжного устаткування | 01.05-12.05.2026               | виконано |
| 11 | Вибір теплоносія; Розрахунок ґрунтового колектору                                                     | 14.05-17.05.2026               | виконано |
| 12 | Охорона праці                                                                                         | 18.05-22.05.2026               | виконано |
| 13 | Висновки                                                                                              | 22.05-23.05.2026               | виконано |
| 14 | Перелік літературних джерел                                                                           | 24.05-25.05.2026               | виконано |
| 15 | Підготовка графічної частини кваліфікаційної роботи                                                   | 25.05-27.05.2026               | виконано |

Здобувач-дипломник Зіньковський В.О.

Керівник роботи Яковлева О.Ю.

*Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.*

*Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.*

Здобувач-дипломник Зіньковський Василь Олексійович

## РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній роботі розроблено комбіноване системе охолодження, опалення та гарячого водопостачання на основі геотермального теплового насоса для приватного житлового будинку у м. Одеса, Україна, принесла значні висновки та перспективні результати. Цей проєкт продемонстрував життєздатність та ефективність таких систем у контексті кліматичних та енергетичних умов України.

Розроблена система, яка використовує R1234ze як холодоагент та використовує високу теплопровідність кам'яного ґрунту у Одеса, показала відмінні характеристики продуктивності. Система геотермального теплового насоса продемонструвала вищу ефективність порівняно з традиційними методами опалення та охолодження, з розрахунковим коефіцієнтом продуктивності (COP) понад 4.0 для режиму опалення та 3.5 для режиму охолодження. Ця висока ефективність призводить до значних енергозбережень та зниження експлуатаційних витрат для житлового будинку площею 280 м<sup>2</sup>, де проживає сім'я з чотирьох осіб. Впровадження цієї системи геотермального теплового насоса суттєво сприяє зменшенню вуглецевого сліду опалення та охолодження житлових приміщень. Порівняно з традиційними системами на основі викопних палив, наші розрахунки показують зменшення викидів CO<sub>2</sub> приблизно на 60-70%. Це відповідає зобов'язанням України щодо сталого розвитку та зусиль зі зменшення змін клімату.

**Ключові слова:** тепловий насос, кондиціювання, опалення, R1234ze.

## ABSTRACT

This thesis developed a combined cooling, heating and hot water supply system based on a geothermal heat pump for a private residential building in Odessa, Ukraine, yielding significant findings and promising results. This project demonstrated the viability and efficiency of such systems in the context of Ukraine's climatic and energy conditions.

The developed system, which uses R1234ze as a refrigerant and utilises the high thermal conductivity of the rocky soil in Odessa, demonstrated excellent performance characteristics. The geothermal heat pump system demonstrated higher efficiency compared to traditional heating and cooling methods, with a calculated coefficient of performance (COP) of over 4.0 for heating mode and 3.5 for cooling mode. This high efficiency leads to significant energy savings and reduced operating costs for a 280 m<sup>2</sup> residential property occupied by a family of four. The implementation of this geothermal heat pump system significantly contributes to reducing the carbon footprint of residential heating and cooling. Compared to traditional fossil fuel-based systems, our calculations show a reduction in CO<sub>2</sub> emissions of approximately 60–70%. This is in line with Ukraine's commitments to sustainable development and efforts to mitigate climate change.

**Keywords:** heat pump, air conditioning, heating, R1234ze.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 4    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

## Зміст

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| РЕФЕРАТ.....                                                               | 4  |
| ВСТУП. ....                                                                | 7  |
| 1.ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....                                                  | 8  |
| 2 БУДІВЕЛЬНО-ІЗОЛЯЦІЙНА КОНСТРУКЦІЯ БУДИНКУ .....                          | 20 |
| 2.1. Конструктивне рішення. ....                                           | 20 |
| 2.2. Обґрунтування вибору температурних режимів.....                       | 21 |
| 2.3. Визначення коефіцієнтів теплопередачі огорожувальних конструкцій..... | 21 |
| 3.РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВТРАТ .....                                              | 24 |
| 3.1. Розрахунок тепловтрат скрізь огорожі .....                            | 24 |
| 3.2. Розрахунок тепловтрат скрізь підлогу .....                            | 24 |
| 3.3. Розрахунок тепловтрат на інфільтрацію. ....                           | 24 |
| 3.4. Розрахунок сумарних тепловтрат. ....                                  | 24 |
| 4.РОЗРАХУНОК ТЕПЛОАДХОДЖЕНЬ. ....                                          | 26 |
| 4.1. Теплонадходження від людей. ....                                      | 26 |
| 4.2. Теплонадходження від штучного освітлення.....                         | 26 |
| 4.3. Теплонадходження від сонячної радіації.....                           | 27 |
| 4.3.1. Теплонадходження від сонячної радіації через скління .....          | 27 |
| 4.3.2. Теплонадходження від сонячної радіації через покриття. ....         | 28 |
| 4.4. Теплонадходження скрізь огорожі. ....                                 | 28 |
| 4.5. Теплонадходження від електроспоживаючого обладнання .....             | 29 |
| 4.6. Теплонадходження від інфільтрації .....                               | 29 |
| 4.7. Розрахунок сумарних теплонадходжень .....                             | 29 |
| 5.РОЗРАХУНОК ТЕПЛОЇ ПІДЛОГИ. ....                                          | 31 |
| 5.1. Обґрунтування вибору температури теплої підлоги .....                 | 31 |
| 5.2. Технологія монтажу водяної теплої підлоги. ....                       | 32 |
| 5.3. Тепловий розрахунок водяної теплої підлоги. ....                      | 33 |
| 5.4. Гідравлічний розрахунок водяної теплої підлоги. ....                  | 37 |
| 5.5. Підбір обладнання для теплої підлоги. ....                            | 38 |

|                  |             |                         |               |             |                                                                                                                                                                |  |  |
|------------------|-------------|-------------------------|---------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|                  |             |                         |               |             | <i>КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3</i>                                                                                                                                   |  |  |
|                  |             |                         |               |             |                                                                                                                                                                |  |  |
| <i>Змн.</i>      | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i>         | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | <div>Проект системи опалення, гарячого водопостачання та охолодження на базі ґрунтового теплового насосу для котеджу площею 280 м<sup>2</sup> у м. Одеса</div> |  |  |
| <i>Розроб.</i>   |             | <i>Зінковський В.О.</i> |               |             |                                                                                                                                                                |  |  |
| <i>Перевір.</i>  |             | <i>Яковлева О.Ю.</i>    |               |             |                                                                                                                                                                |  |  |
| <i>Реценз.</i>   |             |                         |               |             |                                                                                                                                                                |  |  |
| <i>Н. Контр.</i> |             |                         |               |             |                                                                                                                                                                |  |  |
| <i>Затверд.</i>  |             |                         |               |             | <div>Літ.</div> <div>Арк.</div> <div>Аркушів</div> <div>5</div> <div>84</div> <div>ОНТУ гр. ЕН-141</div>                                                       |  |  |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 6.РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ГОРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ. ....                | 40 |
| 7.РОЗРАХУНОК РАДІАТОРНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ. ....                   | 43 |
| 8.ПІДБІР ФАНКОЙЛІВ. ....                                          | 44 |
| 9.ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО НАСОСА. ....                      | 47 |
| 9.1. Схема та цикл теплового насоса. ....                         | 47 |
| 9.2. Методика розрахунку показників роботи теплового насоса. .... | 48 |
| 9.3. Результати розрахунку теплового насосу. ....                 | 50 |
| 10.ПІДБІР КОМПРЕСОРА ТА ДОПОМІЖНОГО УСТАТКУВАННЯ. ....            | 51 |
| 11.ВИБІР ТЕПЛОНОСІЯ. ....                                         | 64 |
| 12.РОЗРАХУНОК ҐРУНТОВОГО КОЛЕКТОРУ. ....                          | 65 |
| 13. ОХОРОНА ПРАЦІ. ....                                           | 71 |
| ВИСНОВОК. ....                                                    | 82 |
| ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ. ....                                          | 83 |

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 6    |

## ВСТУП

### Актуальність теми

Основні напрями досліджень у сфері теплоенергетики зосереджені на підвищенні енергоефективності будівель. У розвинених країнах близько 40% загального споживання енергії та приблизно 25% викидів парникових газів припадає на житлові й комерційні будівлі. Саме тому цей сектор має найвищий потенціал енергозбереження, і будівельні компанії пропонують нові екологічно безпечні та економічно вигідні рішення. У результаті теплові характеристики будівель постійно покращуються.

Разом з тим, підвищені вимоги до комфорту збільшують потребу в енергії. Попит на приготування гарячої води постійно зростає, а потреба в охолодженні збільшується через зростання кількості побутового електрообладнання, яке створює додаткові внутрішні теплові надходження. До того ж покращена теплова ізоляція призводить до того, що новим будівлям потрібно менше енергії для опалення, але значно більше — для охолодження. Таким чином, річні теплові потреби новобудов стають більш збалансованими між нагріванням і охолодженням.

Оптимальним рішенням для задоволення подвійних потреб є тепловий насос, адже він одночасно забезпечує теплову потужність у конденсаторі та холодопродуктивність у випарнику. У даній роботі наведено дослідження конструкції теплового насоса, здатного забезпечувати змінні та одночасні режими опалення й охолодження на основі ефективного та екологічно безпечного холодоагенту.

У сучасних теплових насосах все частіше використовується холодоагент R1234ze, що належить до групи гідрофторолефінів (HFO) із низьким показником глобального потепління (GWP). Його GWP становить близько 7, що суттєво менше за показник холодоагенту R134a ( $GWP \approx 1430$ ). Завдяки цьому R1234ze є значно безпечнішим для довкілля та є кращим вибором для систем кондиціонування, оскільки сприяє зменшенню викидів парникових газів.

### Мета та завдання дослідження

Метою даної роботи є дослідження та розробка проекту комбінованої системи охолодження опалення та гарячого водопостачання на базі ґрунтового теплового насосу для приватного житлового будинку у м. Одеса.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні задачі:

1. Розрахунок тепловитрат та теплонадходжень житлового будинку.
2. Розрахунок термодинамічного циклу теплового насосу з послідовним підбором обладнання, компресора, конденсатора, випарника та іншого устаткування.
3. Розрахунок ґрунтового колектора.

### Об'єкт дослідження

Комбінована система охолодження опалення та гарячого водопостачання на базі ґрунтового теплового насосу для приватного житлового будинку.

### Предмет дослідження

Енергетичні та екологічні характеристики комбінованої системи охолодження опалення та гарячого водопостачання на базі ґрунтового теплового насосу.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 7    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

## 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Тепловий насос – пристрій для перенесення теплової енергії від джерела з нижчою температурою до джерела з більш високою температурою, що дозволяє за допомогою витрат електричної енергії використовувати низькотемпературну теплову енергію ґрунту, повітря, води, господарсько-побутових стоків, шахтних вод, промислових скидів для отримання теплоносія придатного для тепло- та холодопостачання приміщень, будівель, споруд. При цьому витрачаючи 1 кВт·год електрое-нергії на роботу насоса можна отримати близько 2,5-3,5 кВт·год теплової енергії.

Загальна встановлена потужність теплових насосів на сьогодні складає 15 723 МВт [1]. Встановлена потужність геотермальних теплонасосних систем становить близько 6 700 МВт [2].

Такий великий обсяг використання теплових насосів у розвинених країнах пояснюється значними перевагами теплонасосних установок перед іншими системами теплопостачання:

- мають високий ступінь автоматизації;
- відрізняються високою надійністю, налагодженою системою виробництва та технічного обслуговування;
- приносять високу ефективність; (на кожен кіловат електричної енергії, витрачений на привід компресора, можна отримати від 3 до 8 кВт теплової енергії залежно від температури низькопотенційного джерела [3];
- характеризується високим рівнем заводської готовності обладнання, простотою монтажу, підключення та технічного обслуговування [4].

Зменшити температурний перепад без значного впливу на ефективність системи опалення можна за умови використання нового напрямку у теплофікації – «теплі підлоги». Технології створення «тепліх підлог» відпрацьовані та розширюють обсяги використання, а ТН з «теплыми підлогами» – це ще найбільш ефективніша система теплопостачання.

Лінійка потужності теплових насосів досить різноманітна, тому робить можливим забезпечення теплопостачання приватного будинку. Головним пріоритетом при реалізації такого проекту є наявність джерела низькотемпературної теплової енергії та економічна ефективність самого проекту.

Перед встановленням ТН постає потреба в проекті опалення, також попередньо проводиться розрахунок теплових втрат у приміщенні – це потрібно для того, щоб підібрати найбільш ефективний насос, який постачатиме теплом у необхідній кількості. Для монтажу обладнання потрібна оцінка технічних умов.

При встановленні ТН необхідно

дотримуватись наміченого плану робіт:

- буріння свердловини;
- встановлення зондів та їх занурення на глибину;
- занурення колектора, до якого встановлені теплообмінники;
- опускання труб з теплоносієм, а також з холодоагентом;
- розведення труб та їх з'єднання;
- встановлення баків, забезпечених термометром та нагрівальним елементом;

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 8    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

- підключення до електромережі;
- підключення до системи опалення будинку;
- пробний запуск системи.

У системах теплопостачання для приватних будинків потрібно враховувати протяжність теплових мереж споживача, які вимагають капітальних вкладень під час будівництва і експлуатації, але в перспективному баченні окуповуються при використанні.

Щоб забезпечити ефективну роботу теплового насоса, необхідно дотримуватися низки умов [5]:

- приміщення має бути якісно утепленим (тепловтрати не можуть перевищувати  $100 \text{ Вт/м}^2$ );
- тепловий насос вигідно використовувати для низькотемпературних опалювальних систем. Цей критерій відповідає системі теплої підлоги [6], оскільки її температура  $35\text{-}40^\circ\text{C}$ . ККД багато в чому залежить від співвідношення між температурою вхідного контуру і вихідного.

Принцип дії теплового насосу:

- холодоагент надходить у випарний контур і змінює свій агрегатний стан. При переході з рідкого стану в газоподібний з середовища поглинається тепло;
- за допомогою компресора газ під значним тиском переміщається в місце де необхідно віддати тепло. При цьому температура самого холодоагенту збільшується в декілька разів;
- стиснутий газ у теплообміннику конденсується, віддаючи при цьому накопичену енергію;
- тепло, що вивільнилося, передається рідині, яка циркулює в системі опалення будинку.

Енергія здатна без обмеження постійно переміщатися від пристрою, де здійснюється її відбір, до радіаторів опалення, тому цей процес нагадує спосіб перекачування будь-яких рідких або газоподібних речовин. Навіть незважаючи на те, що тепловий насос, який використовується для опалення будинку, споживає значну кількість електроенергії, в результаті такий спосіб обігріву обійдеться значно дешевше за використання традиційних печей і котлів.

Застосування теплових насосів є економічно виправданим, якщо теплова енергія використовується безпосередньо на місці установки обладнання.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 9    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

## 1.1 Сучасний стан та перспективи розвитку теплонасосних систем

В умовах постійного зростання вартості традиційних енергоресурсів та підвищення вимог до енергоефективності будівель особливого значення набувають технології використання відновлюваних джерел енергії.

Одним із найбільш перспективних напрямків є застосування теплових насосів, які забезпечують виробництво теплової енергії за рахунок використання низькопотенційної теплоти навколишнього середовища.

Сучасні теплові насоси можуть використовувати енергію повітря, ґрунту або підземних вод.

Серед цих рішень найбільш стабільними та енергоефективними є геотермальні (ґрунтові) теплові насоси.

Завдяки відносно постійній температурі ґрунту протягом року вони забезпечують високі значення коефіцієнта перетворення енергії та стабільну роботу незалежно від погодних умов.

Для індивідуальних житлових будинків геотермальні системи дозволяють об'єднати функції:

- опалення приміщень;
- гарячого водопостачання;
- кондиціювання та охолодження;
- підтримання комфортного мікроклімату протягом року.

Особливо актуальним є використання таких систем для сучасних котеджів площею понад 200 м<sup>2</sup>, де річне споживання теплової енергії є значним.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 10   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Таблиця 1.1 – Порівняння джерел теплоти для житлових будинків

| Джерело теплоти           | ККД/COP   | Екологічність | Експлуатаційні витрати |
|---------------------------|-----------|---------------|------------------------|
| Газовий котел             | 0,90–0,95 | Середня       | Середні                |
| Електричний котел         | 0,98–1,00 | Висока        | Високі                 |
| Повітряний тепловий насос | 3–5       | Висока        | Низькі                 |
| Ґрунтовий тепловий насос  | 4–6       | Дуже висока   | Найнижчі               |

Аналіз показує, що ґрунтові теплові насоси мають найкращі показники енергоефективності серед сучасних систем теплопостачання житлових будівель.

## 1.2 Кліматичні умови м. Одеса та передумови застосування геотермальних систем

Місто Одеса розташоване у південній кліматичній зоні України та характеризується відносно м'якою зимою і тривалим жарким літнім періодом. Такі умови обумовлюють необхідність використання універсальних систем, здатних ефективно працювати як у режимі опалення, так і в режимі охолодження.

Таблиця 1.2 – Основні кліматичні характеристики м. Одеса

| Показник                                            | Значення      |
|-----------------------------------------------------|---------------|
| Розрахункова температура зовнішнього повітря взимку | –18 °С        |
| Середня температура січня                           | –0,5 °С       |
| Розрахункова температура зовнішнього повітря влітку | +35 °С        |
| Середня температура липня                           | +23,5 °С      |
| Тривалість опалювального періоду                    | 155–170 діб   |
| Тривалість періоду кондиціювання                    | понад 120 діб |

Для умов Одеси характерні значні витрати енергії на охолодження приміщень у літній період. Геотермальні теплові насоси дозволяють реалізувати режим пасивного або активного охолодження, що суттєво знижує витрати електроенергії порівняно з традиційними кондиціонерами.

Крім того, наявність відносно сприятливих ґрунтових умов дозволяє ефективно використовувати вертикальні геотермальні зонди або горизонтальні ґрунтові колектори.

### 1.3 Принцип роботи ґрунтового теплового насоса

Ґрунтовий тепловий насос працює за парокомпресійним холодильним циклом і використовує теплоту ґрунту як низькопотенційне джерело енергії.

Основними елементами системи є:

- геотермальний контур;
- випарник;
- компресор;
- конденсатор;
- дросельний вентиль;
- система автоматики та керування;
- буферна ємність;
- бак гарячого водопостачання.

Температура ґрунту на глибині понад 10 м протягом року залишається практично сталою і становить приблизно +8...+12 °С. Завдяки цьому тепловий насос працює у стабільних умовах незалежно від сезонних коливань температури зовнішнього повітря.

У режимі опалення теплота відбирається від ґрунту та передається системі опалення будинку. У режимі охолодження теплота від приміщень відводиться до ґрунтового контуру.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 12   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

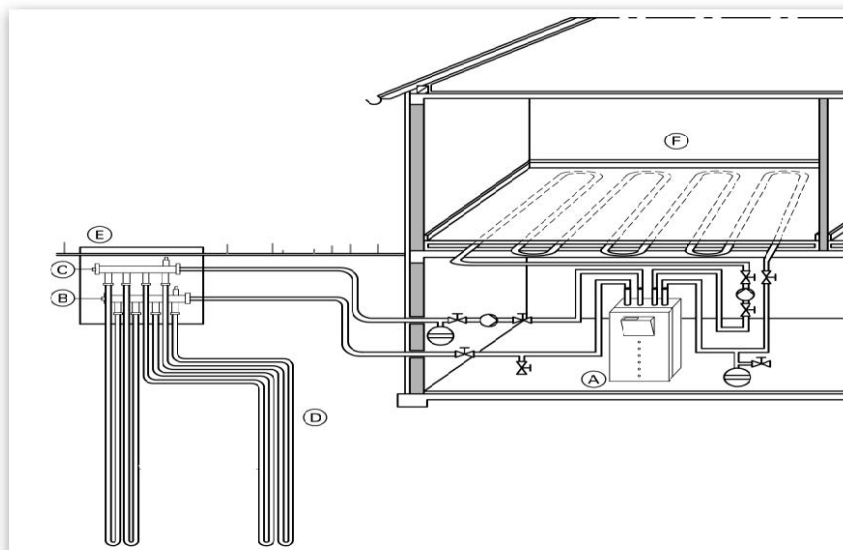


Рис. 1.1 Схема опалення житлового будинку на базі теплового насоса Vitocal 300/350. А – тепловий насос Vitocal 300/350; В – розподільник розсолу (зворотна магістраль); С – розподільник розсолу (подаюча магістраль); D – земляний зонд; Е – колекторний колодязь з розподілювачем розсолу; F – низькотемпературна опалювальна установка.

Таблиця 1.3 – Основні елементи геотермальної системи

| Елемент            | Призначення                            |
|--------------------|----------------------------------------|
| Геотермальний зонд | Відбір теплоти від ґрунту              |
| Тепловий насос     | Перетворення низькопотенційної енергії |
| Буферна ємність    | Акумулювання теплової енергії          |
| Бойлер ГВП         | Підготовка гарячої води                |
| Фанкойли           | Охолодження приміщень                  |
| Тепла підлога      | Низькотемпературне опалення            |

#### 1.4 Типи ґрунтових теплообмінників

Ефективність геотермальної системи значною мірою залежить від типу ґрунтового теплообмінника.

Найбільш поширеними є:

### *Горизонтальний колектор*

Трубопроводи укладаються на глибині 1,5–2,0 м. Система має відносно низьку вартість монтажу, але потребує значної земельної ділянки.

### *Вертикальні геотермальні зонди*

Теплообмінники розміщуються у свердловинах глибиною від 50 до 150 м.

Переваги:

- висока енергоефективність;
- мінімальна площа земельної ділянки;
- стабільна температура джерела теплоти;
- довговічність понад 50 років.

Для котеджу площею 280 м<sup>2</sup> в умовах міської забудови Одеси найбільш доцільним є застосування вертикальних геотермальних свердловин.

Таблиця 1.4 – Порівняння геотермальних контурів

| Параметр            | Горизонтальний | Вертикальний |
|---------------------|----------------|--------------|
| Вартість монтажу    | Нижча          | Вища         |
| Площа ділянки       | Велика         | Мінімальна   |
| Стабільність роботи | Середня        | Висока       |
| Термін служби       | 30–40 років    | 50+ років    |

### **1.5 Енергоефективність геотермальних теплових насосів**

Основним показником ефективності роботи теплового насоса є коефіцієнт перетворення енергії COP.

$$COP = Q_{\text{тепл}} / N_{\text{ел}}$$

де:

- $Q_{\text{тепл}}$  — теплова потужність, кВт;
- $N_{\text{ел}}$  — споживана електрична потужність компресора, кВт.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 14   |

Для сучасних геотермальних теплових насосів значення COP зазвичай становить від 4 до 6.

Таблиця 1.5 – Порівняння споживання електроенергії для отримання 20 кВт теплової потужності

| Система                    | Споживання електроенергії |
|----------------------------|---------------------------|
| Електрокотел               | 20 кВт                    |
| Повітряний ТН (COP=4)      | 5 кВт                     |
| Геотермальний ТН (COP=5,5) | 3,64 кВт                  |

Таким чином, геотермальні системи забезпечують найнижчі експлуатаційні витрати серед сучасних способів теплопостачання житлових будинків.

## 1.6 Аналіз сучасних холодоагентів для теплових насосів

Вибір холодоагенту є одним із ключових факторів, що визначають енергоефективність, надійність та екологічність теплового насоса. Протягом останніх десятиліть у теплонасосній техніці використовувалися різні групи робочих речовин, починаючи від хлорфторвуглеців (CFC) та гідрохлорфторвуглеців (HCFC) до сучасних гідрофторвуглеців (HFC) і гідрофторолефінів (HFO).

Посилення міжнародних вимог щодо скорочення викидів парникових газів призвело до поступової відмови від холодоагентів із високим потенціалом глобального потепління (GWP). Відповідно до положень Кігалійської поправки до Монреальського протоколу та європейського регламенту F-Gas, сучасні системи теплопостачання повинні використовувати холодоагенти з мінімальним впливом на навколишнє середовище.

Найбільш поширеними холодоагентами для теплових насосів на сьогодні є R410A, R32, R290 та R1234ze(E).

Таблиця 1.6 – Порівняльна характеристика сучасних холодоагентів

| Холодоагент | Група       | ODP | GWP  | Клас безпеки |
|-------------|-------------|-----|------|--------------|
| R410A       | HFC         | 0   | 2088 | A1           |
| R32         | HFC         | 0   | 675  | A2L          |
| R290        | Вуглеводень | 0   | 3    | A3           |
| R1234ze(E)  | HFO         | 0   | <1   | A2L          |

де:

- **ODP** – потенціал руйнування озонового шару;
- **GWP** – потенціал глобального потепління;
- **A1** – негорючий та малотоксичний холодоагент;
- **A2L** – малотоксичний холодоагент із низькою займистістю;
- **A3** – високозаймистий холодоагент.

З таблиці видно, що найбільший негативний вплив на довкілля має холодоагент R410A, який поступово виводиться з експлуатації в новому обладнанні. Холодоагент R32 має покращені екологічні характеристики, однак його потенціал глобального потепління все ще залишається відносно високим.

Природний холодоагент R290 характеризується дуже низьким значенням GWP та високими термодинамічними властивостями, проте його використання обмежується високою займистістю та підвищеними вимогами до безпеки.

У зв'язку з цим значний інтерес викликають холодоагенти нового покоління групи HFO (HydroFluoroOlefin), серед яких особливе місце займає **R1234ze(E)**.

### 1.6.1 Особливості холодоагенту R1234ze(E)

Холодоагент R1234ze(E) належить до четвертого покоління холодильних агентів і є представником класу гідрофторолефінів (HFO). Основною перевагою

даної речовини є надзвичайно низький потенціал глобального потепління, який становить менше одиниці.

Таблиця 1.7 – Основні характеристики холодоагенту R1234ze(E)

| Параметр                      | Значення                                     |
|-------------------------------|----------------------------------------------|
| Хімічна формула               | C <sub>3</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub> |
| Група                         | HFO                                          |
| ODP                           | 0                                            |
| GWP                           | ≈1                                           |
| Клас безпеки                  | A2L                                          |
| Температура кипіння при 1 атм | –19 °C                                       |
| Критична температура          | 109,4 °C                                     |
| Молекулярна маса              | 114 г/моль                                   |

Висока критична температура холодоагенту R1234ze(E) дозволяє ефективно використовувати його у теплових насосах, призначених для систем опалення та гарячого водопостачання. При цьому забезпечуються високі значення коефіцієнта перетворення енергії та можливість отримання теплоносія з температурою понад 60 °C.

До основних переваг R1234ze(E) належать:

- надзвичайно низький вплив на глобальне потепління;
- відсутність руйнування озонового шару;
- високі показники енергоефективності;
- можливість роботи при підвищених температурах конденсації;
- сумісність із сучасними компресорами та теплообмінним обладнанням;
- відповідність сучасним екологічним вимогам ЄС.

Крім того, використання холодоагенту R1234ze(E) дозволяє забезпечити довгострокову відповідність обладнання майбутнім екологічним нормам, що

особливо важливо для систем теплопостачання з розрахунковим терміном експлуатації понад 20 років.

| ISO 817 / ANSI / ASHRAE 34<br>Refrigerant Designation | Chemours<br>Tradename | Composition<br>(weight %)    | GWP*         | ODP | Application Area                                     | Replaces                          |
|-------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|--------------|-----|------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| R-1234yf                                              | Opteon™ XL10          | R-1234yf<br>(100)            | <1<br>(4)    | 0   | Stationary Refrigeration/AC                          | R-134a                            |
| R-452B                                                | Opteon™ XL55          | R-32/125/1234yf<br>(67/7/26) | 676<br>(698) | 0   | AC and Heat-pumps                                    | R-410A                            |
| R-454A                                                | Opteon™ XL40          | R-32/1234yf<br>(35/65)       | 238<br>(239) | 0   | Medium and Low<br>Temperature Refrigeration          | R-404A, R-507A,<br>R-407A, R-407F |
| R-454B                                                | Opteon™ XL41          | R-32/1234yf<br>(68.9/31.1)   | 467<br>(466) | 0   | AC and Heat-pumps                                    | R-410A                            |
| R-454C                                                | Opteon™ XL20          | R-32/1234yf<br>(21.5/78.5)   | 146<br>(148) | 0   | Hermetic Medium and Low<br>Temperature Refrigeration | R-22, R-407C,<br>R-404A           |

Рисунок 1.2 – Порівняння потенціалу глобального потепління сучасних холодоагентів Opteon XL

### 1.7 Системи опалення та охолодження для роботи з тепловими насосами

Максимальна ефективність ґрунтового теплового насоса досягається при використанні низькотемпературних систем опалення.

До таких систем належать:

- водяна тепла підлога;
- стінове опалення;
- стельові панелі;
- низькотемпературні радіатори;
- фанкойли.

Для котеджу площею 280 м<sup>2</sup> оптимальним рішенням є комбінована система:

1. Водяна тепла підлога для основного опалення.
2. Бойлер непрямого нагріву для гарячого водопостачання.
3. Фанкойли для літнього охолодження приміщень.
4. Буферна ємність для стабілізації режимів роботи теплового насоса.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 18   |

Таблиця 1.6 – Рекомендовані температурні режими

| Система                      | Температура подачі |
|------------------------------|--------------------|
| Тепла підлога                | 30–35 °С           |
| Низькотемпературні радіатори | 40–45 °С           |
| Бойлер ГВП                   | 50–55 °С           |
| Фанкойли (охолодження)       | 7–12 °С            |

## Висновки до розділу 1

Проведений аналіз показав, що для кліматичних умов м. Одеса та котеджу площею 280 м<sup>2</sup> найбільш ефективним рішенням є застосування ґрунтового теплового насоса із вертикальними геотермальними зондами. Така система дозволяє комплексно забезпечити потреби будинку в опаленні, гарячому водопостачанні та охолодженні при мінімальному споживанні електроенергії. Використання низькотемпературної системи опалення «тепла підлога» та фанкойлів для кондиціювання забезпечує високий рівень комфорту й максимальну ефективність роботи теплового насоса, що є підставою для подальшого розрахунку та проєктування системи.

Проведений аналіз показав, що серед сучасних холодоагентів найбільш перспективним для використання у ґрунтовому тепловому насосі є R1234ze(E). Завдяки надзвичайно низькому значенню GWP, відсутності озоноруйнівного впливу та високим енергетичним показникам даний холодоагент повністю відповідає сучасним екологічним і технічним вимогам. Тому в подальших розрахунках та проєктуванні системи опалення, гарячого водопостачання та охолодження котеджу площею 280 м<sup>2</sup> у м. Одеса як робочу речовину теплового насоса доцільно прийняти холодоагент R1234ze(E).

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 19   |

## 2 БУДІВЕЛЬНО-ІЗОЛЯЦІЙНА КОНСТРУКЦІЯ БУДИНКУ

### 2.1. Конструктивне рішення

Дані для розрахунку:

Двоповерховий будинок, розташований в м. Одеса, корисною площею 282 м<sup>2</sup>. Будинок складається з 2-х поверхів. Площі і найменування приміщень на-ведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Характеристика кімнат будинку

| Найменування         | Площа, м <sup>2</sup> |
|----------------------|-----------------------|
| <b>Перший поверх</b> |                       |
| 101 Кухня            | 50,70                 |
| 102 Гардеробна       | 11,20                 |
| 103 Кабінет          | 19,60                 |
| 104 Тамбур           | 7,10                  |
| 105 Кладова          | 3,40                  |
| 106 Хол              | 20,80                 |
| 108 Топкова          | 15,35                 |
| 109 Санвузол         | 10,07                 |
| <b>Всього:</b>       | <b>138,22</b>         |
| <b>Другий поверх</b> |                       |
| 201 Хол              | 21,10                 |
| 202 Спальня          | 30,50                 |
| 203 Спальня          | 30,30                 |
| 204 Гардеробна       | 10,20                 |
| 205 Спальня          | 29,90                 |
| 206 Санвузол         | 12,35                 |
| 207 Гардеробна       | 9,60                  |
| <b>Всього:</b>       | <b>143,95</b>         |
| <b>Разом:</b>        | <b>282,17</b>         |

Будинок має 16 кімнат, з них 3 спальні, 2 санвузли, гостинну-кухню на першому поверсі, допоміжні приміщення та не опалювальне горище. Топкова розташована на першому поверсі. В якості системи опалення використано тепловий насос. Комбінована система опалення передбачає як вбудовані прилади опалення (тепла підлога) так і фанкойлів в житлових приміщеннях, та радіатори в санвузлах та топковій (+гараж).

## 2.2. Обґрунтування вибору температурних режимів

Комфортна і оптимальна температура повітря у житлових приміщеннях будинку приймаються згідно з ДБН В.2.2-10:2022 "Заклади охорони здоров'я. Основні положення" (табл. 2.2.) [7].

**Таблиця 2.2.** Оптимальні і допустимі норми температури і відносної вологості в житлових приміщеннях

| Найменування приміщень    | Температура повітря, °С |           | Відносна вологість, % |           |
|---------------------------|-------------------------|-----------|-----------------------|-----------|
|                           | Оптимальна              | Допустима | Оптимальна            | Допустима |
| Житлова кімната           | 20-22                   | 18-24     | 30-45                 | 60        |
| Міжкімнатний коридор      | 18-20                   | 16-22     |                       |           |
| Кухня                     | 19-21                   | 18-26     |                       |           |
| Туалет                    | 19-21                   | 18-26     | не нормується         |           |
| Ванна, санвузол           | 24-26                   | 18-26     |                       |           |
| Вестибюль, сходові клітки | 16-18                   | 14-20     |                       |           |
| Кладові                   | 16-18                   | 12-22     |                       |           |

## 2.3. Визначення коефіцієнтів теплопередачі огорожувальних конструкцій

Розрахунок теплоізоляції передбачає порівняння розрахункових коефіцієнтів теплопередачі огорожувальних конструкцій з нормативними даними згідно з ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель. Вихідні дані для розрахунку показані в табл. 2.3 [8,9].

**Таблиця 2.3.** Вихідні дані для розрахунку

| № | Найменування показника                       | Од. виміру | Значення |
|---|----------------------------------------------|------------|----------|
| 1 | Район будівництва                            |            | Одеса    |
| 2 | Розрахункова температура зовнішнього повітря | °С         | -19      |
| 3 | Середня температура опалювального періоду    | °С         | 1        |
| 4 | Тривалість опалювального періоду             | доба       | 163      |

Для проектуваного будинку передбачено три режим опалення (обрані відповідно до рекомендацій табл. 2.2.): 1-й режим – для житлових приміщень, температура +20°С, відносна вологість 40%; 2-й режим – температура +18°С, відносна вологість 40%, передбачений для допоміжних приміщень; 3-й режим – температура +25°С, відносна вологість 40% - для санітарних приміщень (див. табл. 2).

Необхідні наведені термічні опори розраховані за допомогою програми «Valtek» [10,11] та представлені в табл. 2.5.-2.7. Конструкція, матеріали та коефіцієнти теплопередачі огорожувальних конструкцій представлені в табл. 2.8.

З табл. 2.8 видно, що розрахункові значення коефіцієнтів теплопередачі огорожувальних конструкцій перевищують нормативні показники, що задовольняє вимоги теплової ізоляції будівель.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 21   |

**Таблиця 2.4.** Вимоги та приведені коефіцієнти термічного опору в трьох режимах

| Режим | Розрахункова<br>темп. повітря у<br>приміщеннях, °С | Відносна<br>вологість<br>повітря, % | Градусо-добу<br>опал. періоду,<br>°С·добу | Темп.<br>точки<br>роси, °С |
|-------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|
| 1     | 20                                                 | 40                                  | 3097                                      | 6,0                        |
| 2     | 18                                                 | 40                                  | 2771                                      | 4,2                        |
| 3     | 25                                                 | 40                                  | 3912                                      | 10,5                       |

**Таблиця 2.5.** Необхідні наведені термічні опори – Режим 1

| №  | Найменування конструкції                            | R <sub>пр</sub><br>м²·К/Вт |
|----|-----------------------------------------------------|----------------------------|
| 1  | Стіни зовнішні                                      | 2,484                      |
| 2  | Покриття                                            | 3,748                      |
| 3  | Перекрыття горищні                                  | 3,294                      |
| 4  | Перекрыття над проїздами                            | 3,748                      |
| 5  | Перекрыття над підвалами з зовн. повітрям           | 3,294                      |
| 6  | Перекрыття над неопалюваними підвалами з прорізами  | 3,294                      |
| 7  | Перекрыття над неопалюваними підвалами без прорізів | 3,294                      |
| 8  | Перекрыття над неопалюваним техподпіллям            | 3,294                      |
| 9  | Вікна і балконні двері                              | 0,382                      |
| 10 | Ліхтарі Zenітні                                     | 0,327                      |
| 11 | Вітрини та вітражі                                  | 0,382                      |
| 12 | Двері першого поверху                               | 0,897                      |
| 13 | Двері поверхів вище першого                         | 0,55                       |
| 14 | Ворота                                              | 0,897                      |

**Таблиця 2.6.** Необхідні наведені термічні опори – Режим 2

| №  | Найменування конструкції                            | R <sub>пр</sub><br>м²·К/Вт |
|----|-----------------------------------------------------|----------------------------|
| 1  | Стіни зовнішні                                      | 2,37                       |
| 2  | Покриття                                            | 3,586                      |
| 3  | Перекрыття горищні                                  | 3,147                      |
| 4  | Перекрыття над проїздами                            | 3,586                      |
| 5  | Перекрыття над підвалами з зовн. повітрям           | 3,147                      |
| 6  | Перекрыття над неопалюваними підвалами з прорізами  | 3,147                      |
| 7  | Перекрыття над неопалюваними підвалами без прорізів | 3,147                      |
| 8  | Перекрыття над неопалюваним техподпіллям            | 3,147                      |
| 9  | Вікна і балконні двері                              | 0,358                      |
| 10 | Ліхтарі Zenітні                                     | 0,319                      |
| 11 | Вітрини та вітражі                                  | 0,358                      |
| 12 | Двері першого поверху                               | 0,851                      |
| 13 | Двері поверхів вище першого                         | 0,55                       |
| 14 | Ворота                                              | 0,851                      |

Таблиця 2.7. Необхідні наведені термічні опори – Режим 3

| №  | Найменування конструкції                            | Rпр<br>м²·К/Вт |
|----|-----------------------------------------------------|----------------|
| 1  | Стіни зовнішні                                      | 2,729          |
| 2  | Покриття                                            | 4,156          |
| 3  | Перекрыття горищні                                  | 3,66           |
| 4  | Перекрыття над проїздами                            | 4,156          |
| 5  | Перекрыття над підвалами з зовн. повітрям           | 3,66           |
| 6  | Перекрыття над неопалюваними підвалами з прорізами  | 3,66           |
| 7  | Перекрыття над неопалюваними підвалами без прорізів | 3,66           |
| 8  | Перекрыття над неопалюваним техподпіллям            | 3,66           |
| 9  | Вікна і балконні двері                              | 0,443          |
| 10 | Ліхтарі Zenітні                                     | 0,348          |
| 11 | Вітрини та вітражі                                  | 0,443          |
| 12 | Двері першого поверху                               | 1,011          |
| 13 | Двері поверхів вище першого                         | 0,55           |
| 14 | Ворота                                              | 1,011          |

Таблиця 2.8. Коефіцієнти теплопередачі огорожувальних конструкцій

| Конструкція    | Матеріали шарів               | $\lambda$ Вт/м·К | $\delta$ см | R<br>м²·К/Вт | K<br>Вт/м²·К |
|----------------|-------------------------------|------------------|-------------|--------------|--------------|
| Стіни зовнішні | РЦП 1800                      | 0,930            | 1,0         | 0,011        | 0,353        |
|                | Вапняк 1800                   | 1,050            | 40,0        | 0,381        |              |
|                | РЦП 1800                      | 0,930            | 1,0         | 0,011        |              |
|                | Мінераловатний Роквул 50      | 0,047            | 10,0        | 1,064        |              |
|                | РЦП 1800                      | 0,930            | 1,0         | 0,011        |              |
|                | Конструкція в цілому:         |                  |             | 2,835        |              |
| Підлога        | Глина низькощільна (8%/1300)  | 0,580            | 15,0        | 0,259        | 0,392        |
|                | Силікатний бетон 1800         | 1,160            | 20,0        | 0,172        |              |
|                | РЦП 1800                      | 0,930            | 1,0         | 0,011        |              |
|                | Плитка керамічна              | 1,000            | 1,0         | 0,010        |              |
|                | Конструкція в цілому (Зона 1) |                  |             | 2,552        |              |
|                | Конструкція в цілому (Зона 2) |                  |             | 4,752        |              |
|                | Конструкція в цілому (Зона 3) |                  |             | 9,052        |              |
|                | Конструкція в цілому (Зона 4) |                  |             | 14,652       |              |
| Перекрыття     | Пустотні панелі перекрыття    | 1,270            | 30,0        | 0,236        | 2,054        |
|                | РЦП 1800                      | 0,930            | 1,0         | 0,011        |              |
|                | Плитка керамічна              | 1,000            | 1,0         | 0,010        |              |
|                | Конструкція в цілому:         |                  |             | 0,487        |              |
| Покрівля       | Лист гіпсокартону ГКЛ 800     | 0,210            | 1,25        | 0,060        | 0,215        |
|                | Сосна вздовж волокон 500      | 0,350            | 2,5         | 0,071        |              |
|                | Мінераловатний Роквул 50      | 0,047            | 20,0        | 4,255        |              |
|                | Сосна вздовж волокон 500      | 0,350            | 2,0         | 0,057        |              |
|                | Конструкція в цілому:         |                  |             | 4,642        |              |

Примітка: РЦП – розчин цементно-піщаний.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 23   |

### 3. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВТРАТ

#### 3.1. Розрахунок тепловтрат скрізь огорожі

Втрати тепла в будинку відбуваються через стіни, вікна, дах і підлогу. Тепло також йде разом з повітрям при вентиляції і через щілини в конструкціях.

Втрати тепла через огорожі (стіни, вікна, дах):

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t, \quad (3.1)$$

де  $k$  – розрахунковий коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²К);

$F$  – площа огорожі, м²;

$\Delta t$  – різниця між зовнішньою і внутрішньою температурою.

#### 3.2. Розрахунок тепловтрат скрізь підлогу

Підлога не обігривається, тому визначення теплопритоків через ґрунт (Вт) ведеться позонно:

$$Q_{\text{п}} = (t_{\text{н}} - t_{\text{к}}) \sum_{i=1}^4 (k_{\text{yc}})_i F_i, \quad (3.2)$$

де  $F_i$  – площі відповідних зон, м²;

$k_{\text{yc}}$  – коефіцієнт теплопередачі відповідної зони, Вт/(м²К);

Розрахунок ведемо для площ тих, що потрапили у відповідну зону. Для обліку компенсації збільшення щільності теплового потоку площу першої зони збільшуємо на 4 м² (один кут). Умовні коефіцієнти теплопередачі по зонах приймаємо 0,48; 0,24; 0,12; 0,07 Вт/(м²·К) відповідно до довідкових даних.

#### 3.3. Розрахунок тепловтрат на інфільтрацію

Витрата тепла на нагрів припливного повітря рахується для житлових кімнат, кухні і санвузлів по формулі:

$$Q_{\text{інф}} = 0,28 \cdot L_{\text{п}} \cdot \rho \cdot c_{\text{р}} \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{з.п.}}), \quad (3.3)$$

де  $Q_{\text{інф}}$  – кількість тепла, необхідне для нагрівання інфільтрації, Вт;

$L_{\text{п}}$  – витрата повітря, що видаляється, м³/год;

$\rho$  – щільність повітря в приміщенні, кг/м³;

$c_{\text{р}}$  – питома теплоємність повітря, кДж/(кг·К);

$t_{\text{п}}$  – температура повітря приміщення, °С;

$t_{\text{з.п.}}$  – температура зовнішнього повітря, °С.

#### 3.4. Розрахунок сумарних тепловтрат

Розрахунок тепловтрат виконувався з урахуванням додаткових коефіцієнтів, що збільшують навантаження залежно від розташування приміщення (кутове), а

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 24   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

також північної та підвітряної сторони будівлі. Розрахунок виконувався за допомогою програмного забезпечення компанії «Valtec» [9].

Результат розрахунків тепловтрат через огорожувальні конструкції представлений в табл. 3.1. і 3.2.

**Таблиця 3.1.** Тепловтрати через огорожувальні конструкції поверх 1

| <b>Поверх 1</b>     | <b>Тепловтрати, Вт</b> |                     |                |
|---------------------|------------------------|---------------------|----------------|
| <b>Найменування</b> | <b>Тепловтрати</b>     | <b>Інфільтрація</b> | <b>Разом</b>   |
| 101 Кухня           | 2905,47                | 5588,84             | 8494,31        |
| 102 Гардеробна      | 340,74                 | 443,73              | 784,47         |
| 103 Кабінет         | 791,98                 | 940,58              | 1732,56        |
| 104 Тамбур          | 877,01                 | 914,22              | 1791,22        |
| 105 Кладові         | 112,95                 | 16,94               | 129,89         |
| 106 Хол             | 300,52                 | 45,08               | 345,59         |
| 108 Топкова         | 485,41                 | 469,87              | 955,28         |
| 109 Санвузол        | 464,39                 | 557,89              | 1022,28        |
| <b>Разом:</b>       | <b>6278,46</b>         | <b>8977,14</b>      | <b>15255,6</b> |

**Таблиця 3.2.** Тепловтрати через огорожувальні конструкції поверх 2

| <b>Поверх 2</b>     | <b>Тепловтрати, Вт</b> |                     |                 |
|---------------------|------------------------|---------------------|-----------------|
| <b>Найменування</b> | <b>Тепловтрати</b>     | <b>Інфільтрація</b> | <b>Разом</b>    |
| 201 Хол             | 319,63                 | 317,66              | 937,29          |
| 202 Спальня         | 1393,2                 | 2010,83             | 3404,04         |
| 203 Спальня         | 1427,3                 | 2010,83             | 3438,13         |
| 204 Гардеробна      | 241,27                 | 317,66              | 558,93          |
| 205 Спальня         | 1123,53                | 906,87              | 2030,39         |
| 206 Санвузол        | 823,11                 | 374,95              | 1198,07         |
| 207 Гардеробна      | 264,03                 | 317,66              | 581,69          |
| <b>Разом:</b>       | <b>5592,07</b>         | <b>6256,46</b>      | <b>11848,54</b> |

**Разом по об'єкту: 27 104 Вт.**

## 4. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОАДХОДЖЕНЬ

### 4.1. Теплонадходження від людей

Від людини в приміщення надходить конвективне і променисте тепло - явні теплонадходження. Крім того, з видихуваною і випаровуваною з поверхні шкіри вологою в повітря надходить приховане тепло. Сумарні надходження явного і прихованого тепла складають повні теплонадходження від людини. Інтенсивність надходження тепла і вологи від людини в основному залежить від температури повітря в приміщенні і тяжкості виконуваної роботи (табл. 4.1).

У розрахунках зазвичай приймають, що жінки в середньому виділяють 85 %, діти 75 % тепла і вологи, що виділяються дорослими чоловіками.

**Таблиця 4.1.** Тепло- і вологовиділення дорослих чоловіків

| Вид роботи / показник     | Позна-чення    | Оди-ниці | Температури повітря в приміщенні |       |       |       |       |       |
|---------------------------|----------------|----------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           |                |          | 10 °С                            | 15 °С | 20 °С | 25 °С | 30 °С | 35 °С |
| У стані спокою            |                |          |                                  |       |       |       |       |       |
| Явна теплота              | $q_{\text{я}}$ | Вт       | 140                              | 120   | 90    | 60    | 40    | 10    |
| Повна теплота             | $q_{\text{п}}$ | Вт       | 165                              | 145   | 120   | 95    | 95    | 95    |
| Вологовиділення           | $w$            | г/с      | 30                               | 30    | 40    | 50    | 75    | 115   |
| Легка робота              |                |          |                                  |       |       |       |       |       |
| Явна теплота              | $q_{\text{я}}$ | Вт       | 150                              | 120   | 100   | 65    | 40    | 5     |
| Повна теплота             | $q_{\text{п}}$ | Вт       | 180                              | 160   | 150   | 145   | 145   | 145   |
| Вологовиділення           | $w$            | г/с      | 40                               | 55    | 75    | 115   | 150   | 200   |
| Робота середньої важкості |                |          |                                  |       |       |       |       |       |
| Явна теплота              | $q_{\text{я}}$ | Вт       | 165                              | 135   | 105   | 70    | 40    | 5     |
| Повна теплота             | $q_{\text{п}}$ | Вт       | 215                              | 210   | 205   | 200   | 200   | 200   |
| Вологовиділення           | $w$            | г/с      | 70                               | 110   | 140   | 185   | 230   | 280   |

**Примітка:**  $q_{\text{я}}$  - явна теплота, Вт;  $q_{\text{п}}$  - повна теплота, Вт;

$$q_{\text{п}} = q_{\text{я}} + q_{\text{прих}}, \quad (4.1)$$

де  $q_{\text{прих}}$  – прихована теплота випаровування вологи (поту, дихання);

$w$  - вологовиділення, г/с.

Теплонадходження від людей розраховуємо за формулою:

$$Q_{\text{л}} = q_{\text{п}} \cdot n, \quad (4.2)$$

де  $q_{\text{п}} = 145$  Вт- повна теплота;

$n = 4$  – кількість людей.

### 4.2. Теплонадходження від штучного освітлення

Потужність встановлюваних світильників залежить від вимог до освітленості приміщення. Вся енергія, що витрачається на освітлення,  $N_{\text{осв}}$ , кВт, в результаті перетворюється на тепло,  $Q_{\text{осв}}$ , кВт, і надходить у приміщення (за винятком невеликої частки тепла, що витрачається на нагрівання огорож і частково виходить за межі приміщення). Тому в розрахунках часто приймають кількість теплоти від джерел штучного освітлення рівною:

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 26   |

$$Q_{\text{осв}} = N_{\text{осв}} \cdot \eta_{\text{осв}}, \quad (4.3)$$

$$Q_{\text{осв}} = q_{\text{осв}} F_{\text{п}}, \quad (4.4)$$

де  $q_{\text{осв}} = 5 \dots 10 \text{ Вт/м}^2$  - питома освітленість;

$N_{\text{осв}}$  - установча потужність ламп, Вт;

$\eta_{\text{осв}} = 0,92 \dots 0,97$  - коефіцієнт перетворення електричної енергії в теплову;

$F_{\text{п}}$  - площа приміщення,  $\text{м}^2$ .

### 4.3. Теплонадходження від сонячної радіації

Тепло сонячної радіації надходить у приміщення через заповнення світлових прорізів і через масивні огорожі. Інтенсивність теплового потоку, що проникає через скління, змінюється в часі майже синхронно зі зміною інтенсивності потоку сонячної енергії, що падає на скління. Надходження тепла через непрозорі масивні огорожі відбувається зі значним запізненням, що залежить від теплової інерції огорожі, тобто від її масивності. Такий розрахунок виконується для розрахункових параметрів теплового періоду.

#### 4.3.1. Теплонадходження від сонячної радіації через скління

Кількість тепла, що надходить у приміщення в розрахункову годину через скління, площею,  $F_{\text{ск}}, \text{м}^2$ , дорівнює:

$$Q_{\text{ск}} = q_{\text{с.р.}} \cdot F_{\text{ск}} \cdot A_{\text{ск}}, \quad (4.5)$$

де  $q_{\text{с.р.}}$  - інтенсивність сонячної радіації через скління,  $\text{кКал/м}^2 \cdot \text{год}$  (табл. 4.2.);

$F_{\text{ск}}$  - площа скління,  $\text{м}^2$ ;

$A_{\text{ск}}$  - коефіцієнт застосування (табл. 4.3.);

**Таблиця 4.2.** Величина сонячної радіації  $q_{\text{с.р.}}$  в  $\text{кКал/м}^2 \cdot \text{год}$  (при  $A_{\text{ск}} = 0$ )

| Характеристика             | Сторони світу і широти |     |     |             |     |     |         |     |     |             |     |     |
|----------------------------|------------------------|-----|-----|-------------|-----|-----|---------|-----|-----|-------------|-----|-----|
|                            | Пд                     |     |     | ПдСх і ПдЗх |     |     | Сх і Зх |     |     | ПнСх і ПнЗх |     |     |
|                            | 35°                    | 45° | 55° | 35°         | 45° | 55° | 35°     | 45° | 55° | 35°         | 45° | 55° |
| З дерев'яними обкладинками | 110                    | 125 | 125 | 85          | 110 | 125 | 125     | 125 | 145 | 65          | 65  | 65  |
| З металічними обкладинками | 140                    | 160 | 160 | 110         | 140 | 160 | 160     | 160 | 180 | 80          | 80  | 80  |

**Примітка:** Для застосування поверхонь, орієнтованих на північ  $q_{\text{с.р.}} = 0$ .

**Таблиця 4.3.** Значення коефіцієнту  $A_{\text{ск}}$

| Характеристика застосування  | $A_{\text{ск}}$ |
|------------------------------|-----------------|
| З однією рамою подвійне      | 1,15            |
| З однією рамою одинарне      | 1,45            |
| Забруднення скла звичайне    | 0,8             |
| Забілення вікон              | 0,6             |
| Застосування з матовим склом | 0,4             |
| Зовнішнє зашторювання вікон  | 0,25            |

#### 4.3.2. Теплонадходження від сонячної радіації через покриття

Кількість тепла, Вт, що надходить у приміщення через покриття:

$$Q_{\text{п}} = q_{\text{п}} \cdot F_{\text{п}} \cdot k_{\text{п}}, \quad (4.6)$$

де  $q_{\text{п}}$  - інтенсивність сонячної радіації через покриття, кКал/м<sup>2</sup>·год (табл. 4.4);

$F_{\text{п}}$  - площа поверхні покриття, м<sup>2</sup>;

$k_{\text{п}}$  - коефіцієнт теплопередачі покриття;

**Таблиця 4.4.** Значення коефіцієнту  $q_{\text{п}}$

| Характеристика покриття і широта      | $q_{\text{п}}$ , кКал/м <sup>2</sup> ·год |
|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| При безгорищному покритті для широт   |                                           |
| 35°                                   | 20                                        |
| 45 °                                  | 18                                        |
| 55 °                                  | 15                                        |
| 65 °                                  | 12                                        |
| При покритті з горищем для всіх широт | 5                                         |

При розрахунку теплонадходжень від сонячної радіації слід приймати більшу з двох величин теплонадходжень через засклення, розташоване в одній стіні приміщення та теплонадходжень через покриття.

Теплонадходження через засклення, розташоване з двох взаємно перпендикулярних стін приміщення слід приймати з коефіцієнтом 0,7 з додаванням теплонадходжень через покриття.

#### 4.4. Теплонадходження скрізь огорожі

Теплонадходження скрізь огорожу визначається по формулі:

$$Q_1 = k \cdot F \cdot (\Delta t + \Delta t_c), \quad (4.7)$$

де  $k$  - розрахунковий коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>К);

$F$  - площа огорожі, м<sup>2</sup>;

$\Delta t$  - різниця між зовнішньою і внутрішньою температурою;

$\Delta t_c$  - різниця температур від дії сонячного випромінювання;

$$\Delta t_c = p \cdot (q_c \cdot \epsilon_c / \alpha_n), \quad (4.8)$$

де  $p$  - коефіцієнт проникнення, залежить від масивності огорожі;

$q_c$  - розрахункова напруга сонячного випромінювання для літнього періоду, Вт/м<sup>2</sup>;

$\epsilon_c$  - коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання поверхнею огорожі;

$\alpha_n$  - коефіцієнт тепловіддачі від нагрітої сонцем поверхні в навколишнє середовище, Вт/(м<sup>2</sup>К).

#### 4.5. Теплонадходження від електроспоживаючого обладнання

Теплонадходження від електроспоживаючого обладнання

$$Q_{\text{обл}} = N_{\text{ел}} \cdot \eta_{\text{ел}}, \quad (4.9)$$

де  $N_{\text{ел}}$  - електрична потужність пристрою, Вт;

$\eta_{\text{ел}} = 0,8 \dots 0,97$  - коефіцієнт перетворення електричної енергії в теплову.

Для одного комп'ютера в повній комплектації приймаємо  $N_{\text{ел}} = 300$  Вт.

Якщо на кухні встановлені електроплити (індукційні) слід враховувати одночасність роботи та потужність камфорок 1 кВт, 1,5 кВт та 2 кВт для покриття цих теплонадходжень.

#### 4.6. Теплонадходження від інфільтрації

Формула для розрахунку теплонадходжень від інфільтрації повітря влітку:

$$Q_{\text{інф}} = V_{\text{інф}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot (h_{\text{зов}} - h_{\text{вн}}), \quad (4.10)$$

де  $V_{\text{інф}}$  — об'єм повітря, що проникає до приміщення, м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{п}}$  — щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$h_{\text{зов}}$ ,  $h_{\text{вн}}$  — ентальпія зовнішнього і внутрішнього повітря, відповідно, кДж/кг.

Ця формула враховує, що теплоприплив влітку залежить не тільки від кількості повітря, але і від різниці в його енергетичному вмісті всередині і зовні приміщення.

#### 4.7. Розрахунок сумарних теплонадходжень

Розрахунок теплонадходжень здійснюємо для тих приміщень, де потрібно створити оптимальний мікроклімат влітку: кухня-вітальня, кабінет, спальні:

$$Q_{\text{заг}} = \Sigma Q_i + Q_{\text{інф}}. \quad (4.11)$$

Параметри повітря які прийняті для розрахунку:

Температура зовнішнього повітря: 35 °С

Температура внутрішнього повітря: 24 °С

Результати розрахунків наведені в табл. 4.5. та табл. 4.6.

Таблиця 4.5. Підсумки розрахунку теплонадходжень

| Поверх | Приміщення  | ЗС, Вт | Вк, Вт | Пк, Вт | Люди, Вт | Осв., Вт | Ел. обл., Вт | Інф., Вт | $Q_{\text{заг}}$ , Вт |
|--------|-------------|--------|--------|--------|----------|----------|--------------|----------|-----------------------|
| 1      | 103 Кабінет | 95     | 603    |        | 116      | 195      | 300          | 412      | 1721                  |
|        | 101 Кухня   | 467    | 2359   |        | 696      | 507      | 2000         | 1071     | 7100                  |
| 2      | 202 Спальня | 301    | 1189   | 682    | 232      | 305      | 50           | 644      | 3403                  |
|        | 203 Спальня | 272    | 1189   | 543    | 232      | 243      | 50           | 513      | 3042                  |
|        | 205 Спальня | 319    | 573    | 624    | 232      | 279      | 50           | 589      | 2666                  |

**Примітки:** ЗС – зовнішні стіни; Вк – вікна, Пк – покрівля; Л – люди; Осв. – освітлення; Ел.обл. – електричне обладнання; Інф. – інфільтрація.

**Таблиця 4.6.** Зведена таблиця теплонадходжень

| Найменування  | Теплонадходження, Вт |                |                 |
|---------------|----------------------|----------------|-----------------|
|               | Теплоприпливи        | Інфільтрація   | Разом           |
| 101 Кухня     | 6028,89              | 1070,78        | 7099,68         |
| 103 Кабінет   | 1309,36              | 411,84         | 1721,20         |
| 202 Спальня   | 2758,79              | 644,16         | 3402,95         |
| 203 Спальня   | 2529,23              | 513,22         | 3042,44         |
| 205 Спальня   | 2076,45              | 589,25         | 2665,70         |
| <b>Разом:</b> | <b>14702,72</b>      | <b>3229,15</b> | <b>17931,97</b> |

## 5. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОЇ ПІДЛОГИ

Тепла підлога буде розрахована для першого та другого поверху. Так як система комбінована, то тепла підлога буде використовуватися разом з фанкойлами. Виходячи з розрахунку тепловтрат всі приміщення можна опалити за допомогою теплої підлоги, окрім санвузлів, де додатково повинні бути встановлені рушникосуші та топкової. В санвузлах, топковій та гаражі додатково передбачені радіатори.

Для роботи теплового насосу в режимі охолодження будуть встановлені фанкойли. Вони також будуть працювати в комбінованому режимі опалення з теплою підлогою у кухні-вітальні та спальнях.

### 5.1. Обґрунтування вибору температури теплої підлоги

Основні температурні вимоги до систем теплих підлог. Рекомендується середню температуру поверхні підлоги приймати не вище (згідно ДБН В.2.5-67:2013) [12]:

26°C для приміщень з постійним перебуванням людей;

31°C для приміщень з тимчасовим перебуванням людей.

Згідно ДБН В.2.5-67:2013 перепад температури на окремих ділянках підлоги не повинен перевищувати 10°C (оптимально 5°C). Температура теплоносія в системі теплих підлог не повинна перевищувати 55°C (ДБН В.2.5-67:2013 п. 6.25–6.32). Температура поверхні працюючого теплої підлоги не повинна перевищувати таких значень:

- 35°C - в прикордонних зонах;
- 29°C - в приміщеннях тривалого перебування людей;
- 33°C - в санвузлах, ванних кімнатах.

Для укладання труб опалення підлоги використовують різні форми: змійку, кутову змійку, равлик, подвійну змійку (див. рис. 5.1) [14].

Для великих приміщень квадратної, прямокутної форми будемо використовувати укладання теплої підлоги по схемі «равлика».

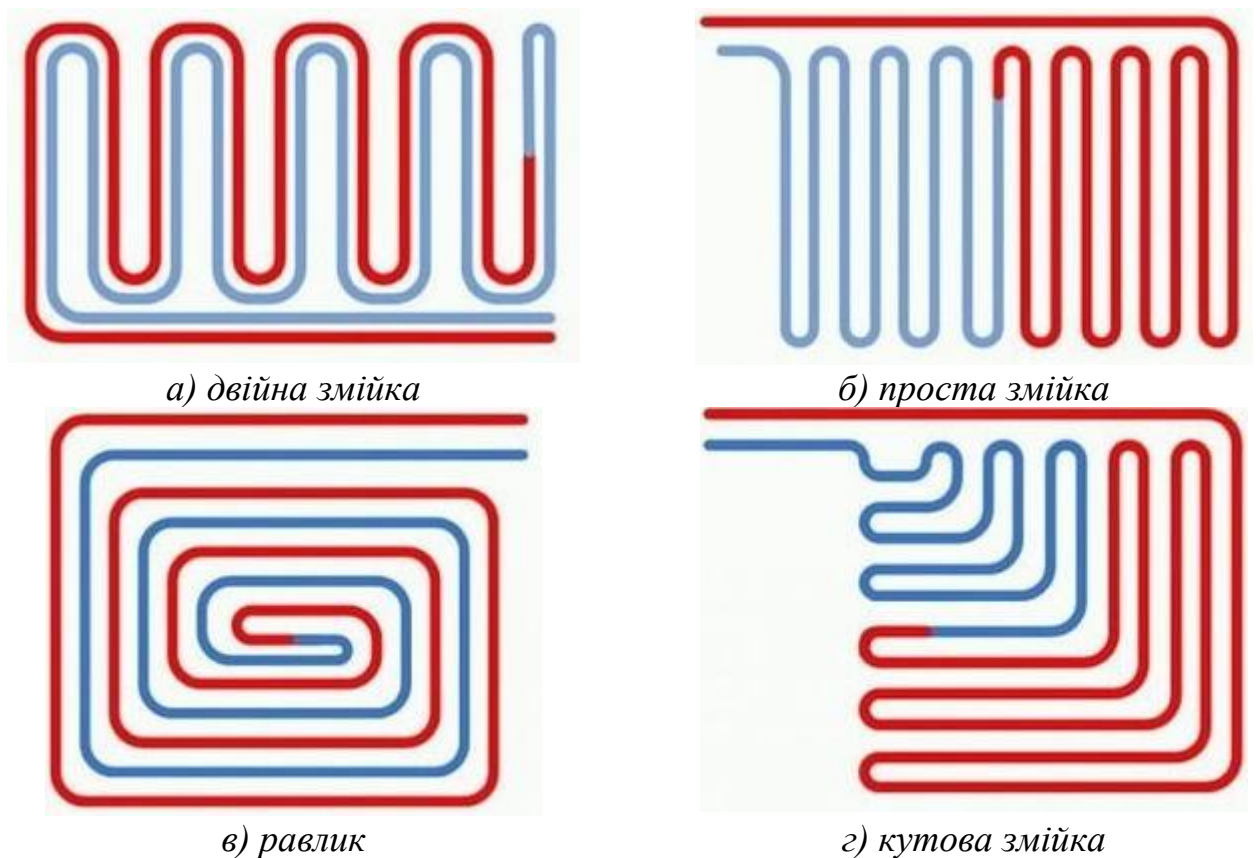
Для маленьких приміщень, приміщень зі складними формами (санвузли) або довгих приміщень (коридори, комори) будемо використовувати схему «змійка».

Крок укладання обирається згідно з розрахунками. Для крайових зон використовується крок, рівний 10 см. Для інших зон з різницею в 5 см - 15 см, 20 см, 25 см але не більше 30 см.

У великих приміщеннях конструкцію теплої підлоги будемо ділити на менші площі і робити кілька контурів. Ця необхідність виникає як мінімум з двох причин:

- обмеження довжини труби контуру необхідно, щоб не отримати ефект "замкненої петлі", при якому через неї не буде циркуляції теплоносія;
- правильна робота самої цементної заливний плити, площа якої не повинна перевищувати 30 м<sup>2</sup>. Співвідношення довжин її сторін має бути 1/2 і довжина одного з країв не повинна перевищувати 8 м.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 31   |

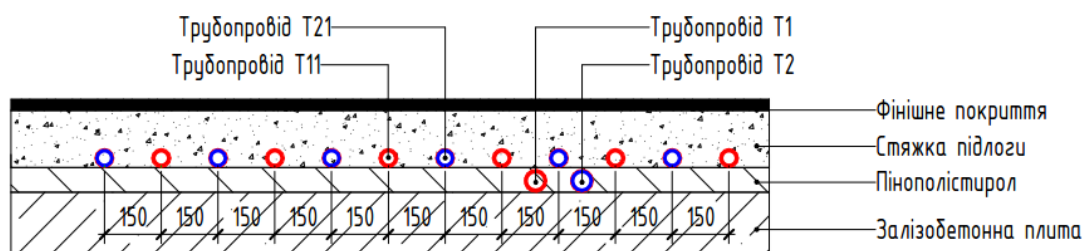


**Рис. 5.1.** Типові схеми укладки теплої підлоги

## 5.2. Технологія монтажу водяної теплої підлоги

Найбільш поширеним способом реалізації систем підлогового опалення є монолітні бетонні підлоги, виконані так званим «мокрим» методом [13].

Конструкція підлоги представляє з себе «лишковий пиріг» з різних матеріалів (рис.5.2).



**Рис. 5.2.** Укладання петель теплої підлоги спіраллю (равлик)

Монтаж системи теплих підлог починається з підготовки поверхні під монтаж теплої підлоги. Поверхня повинна бути вирівняна, нерівності по площі не повинні перевищувати  $\pm 5$  мм. Допускаються нерівності і виступи не більше 10 мм. При необхідності поверхню вирівнюється додаткової стяжкою. Порушення цієї вимоги може привести до «завоздушування» труб.

Після вирівнювання поверхні необхідно уздовж бічних стін укласти демпферну стрічку шириною не менше 5 мм для компенсації теплового розширення моноліту теплої підлоги. Вона повинна бути покладена уздовж всіх стін, що обрамляють

приміщення, стоек, дверних коробок, відводів і т.п. Стрічка повинна виступати над запланованої висотою конструкції підлоги мінімум на 20 мм (рис.5.3.).

Розкладка труб здійснюється з певним кроком і в потрібній конфігурації. При цьому рекомендується подаючий трубопровід слід укласти ближче до зовнішніх стін. Важливо, щоб фольговані теплоізоляційні матеріали мали захисну плівку на алюмінії.



**Рис. 5.3.** Укладання петель теплої підлоги

Після чого укладається шар теплоізоляції для запобігання витоку тепла в нижні приміщення. Як термоізоляції рекомендується використовувати спінені матеріали (полістирол, поліетилен) щільністю не менше 25 кг/м<sup>3</sup>.

Після розкладки петель, безпосередньо перед заливкою стяжки, проводиться опресовування системи при тиску 1.5 від робочого, але не менше 0.3 МПа.

При заливці цементно-піщаної стяжки труба повинна перебувати під тиском води 0,3 МПа при кімнатній температурі. Мінімальна висота заливки над поверхнею труби повинна бути не менше 3 см (максимальна рекомендована висота, за європейськими нормами - 7 см). Цементно-піщана суміш повинна бути не нижче марки 400 з пластифікатором. Після заливки стяжку рекомендується «провібрувати».

Пуск системи здійснюється тільки після повного висихання бетону (приблизно 4 дні на 1 см товщини стяжки). Температура води під час пуску системи повинна бути кімнатної. Після пуску системи щодня збільшувати температуру води, що подається на 5°C до робочої температури.

### 5.3. Тепловий розрахунок водяної теплої підлоги

При відомому питомому тепловому потоці розрахунок середньої температури теплоносія проводиться за формулою:

$$t_{\text{TH}} = t_{\text{в}} + q_{\text{в}} R_{\text{пр}}^{\text{в}} + q_{\text{в}} b R_{\text{тр}}^{\text{пр}} (1 + a), \quad (5.1)$$

де

$t_{\text{TH}}$  – середня температура теплоносія, °C;

$t_{\text{в}}$  – температура повітря в приміщенні, °C;

$q_{\text{в}}$  – питомий тепловий потік у напрямку "вгору", Вт/м<sup>2</sup>;

$R_{\text{пр}}^{\text{в}}$  – приведений опір теплопередачі шарів підлоги над трубами, м<sup>2</sup>·K/Вт;

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 33   |

$b$  – крок труб теплої підлоги, см;  
 $R_{\text{тр}}^{\text{пр}}$  – приведений опір теплопередачі стінки труби,  $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ ;  
 $a$  – відношення питомих теплових потоків за напрямками "вниз"/"вгору",  $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$ .

При відомій середній температурі теплоносія питомий тепловий потік у напрямку «вгору» визначається шляхом розв'язання рівняння:

$$t_{\text{тн}} = t_{\text{в}} + q_{\text{в}} R^{\text{в}} + 0,1368 q_{\text{в}}^{(1/1,1)} + q_{\text{в}} b R_{\text{тр}}^{\text{пр}} \left[ 1 + \frac{t_{\text{в}} + q_{\text{в}} R^{\text{в}} + 0,1368 q_{\text{в}}^{(1/1,1)} - t_{\text{н}}}{q_{\text{в}} R_{\text{п}}^{\text{н}}} \right]. \quad (5.2)$$

Характеристики труб теплої підлоги та характеристики шарів ізоляції над та під трубами теплої підлоги для кожного приміщення на першому та другому поверхах, а також результати розрахунків наведені у табл. 5.1-5.3 [11].

**Таблиця 5.1.** Характеристики труб теплої підлоги

| Матеріал                                 | Металопластикові 16×2,0 |       |        |
|------------------------------------------|-------------------------|-------|--------|
| Зовнішній діаметр                        | Øз                      | 16,00 | мм     |
| Внутрішній діаметр                       | Øв                      | 12,00 | мм     |
| Шорсткість                               | Δ                       | 0,01  | мм     |
| Коефіцієнт теплопровідності стінок труби | λст                     | 0,43  | Вт/м·К |

**Таблиця 5.2. Характеристики шарів ізоляції над та під трубами теплої підлоги перший поверх**

| Приміщення       | $t_{\text{в}}$ |    | $t_{\text{зм}}$ |    | Шари підлоги над трубами |      | Шари підлоги під трубами |      | Потік в прим. | Крок | $t$ підлоги |        | Тепловий потік |           |                | $t_{\text{тн}}$ |
|------------------|----------------|----|-----------------|----|--------------------------|------|--------------------------|------|---------------|------|-------------|--------|----------------|-----------|----------------|-----------------|
|                  | °C             | °C | °C              | °C | Матеріал                 | D см | Матеріал                 | D см |               |      | max °C      | min °C | q в Вт/м²      | q ∑ Вт/м² | q пог. Вт/м.п. |                 |
| Приміщення 101_1 | 20             | 20 | 20              | 20 | РЦП 1800                 | 3,4  | ІПП 40                   | 5    | 1047          | 20   | 27,75       | 25,13  | 84,45          | 94,35     | 18,87          | 37              |
|                  |                |    |                 |    | ДВП 1000                 | 1    | ПЗБП                     | 30   |               |      |             |        |                |           |                |                 |
| Приміщення 101_2 | 20             | 20 | 20              | 20 | РЦП 1800                 | 3,4  | ІПП 40                   | 5    | 1182          | 20   | 27,75       | 25,13  | 84,45          | 94,35     | 18,87          | 37              |
|                  |                |    |                 |    | ДВП 1000                 | 1    | ПЗБП                     | 30   |               |      |             |        |                |           |                |                 |
| Приміщення 101_3 | 20             | 20 | 20              | 20 | РЦП 1800                 | 3,4  | ІПП 40                   | 5    | 1013          | 20   | 27,75       | 25,13  | 84,45          | 94,35     | 18,87          | 37              |
|                  |                |    |                 |    | ДВП 1000                 | 1    | ПЗБП                     | 30   |               |      |             |        |                |           |                |                 |
| Приміщення 102   | 20             | 20 | 20              | 20 | РЦП 1800                 | 3,4  | ІПП 40                   | 5    | 945,8         | 20   | 27,75       | 25,13  | 84,45          | 94,35     | 18,87          | 37              |
|                  |                |    |                 |    | ДВП 1000                 | 1    | ПЗБП                     | 30   |               |      |             |        |                |           |                |                 |
| Приміщення 103_1 | 20             | 20 | 20              | 20 | РЦП 1800                 | 3,4  | ІПП 40                   | 5    | 844,5         | 20   | 27,75       | 25,13  | 84,45          | 94,35     | 18,87          | 37              |
|                  |                |    |                 |    | ДВП 1000                 | 1    | ПЗБП                     | 30   |               |      |             |        |                |           |                |                 |
| Приміщення 103_2 | 20             | 20 | 20              | 20 | РЦП 1800                 | 3,4  | ІПП 40                   | 5    | 844,5         | 20   | 27,75       | 25,13  | 84,45          | 94,35     | 18,87          | 37              |
|                  |                |    |                 |    | ДВП 1000                 | 1    | ПЗБП                     | 30   |               |      |             |        |                |           |                |                 |
| Приміщення 104   | 18             | 18 | 18              | 18 | РЦП 1800                 | 3,4  | ІПП 40                   | 5    | 699,5         | 15   | 27,03       | 24,78  | 99,93          | 111,6     | 16,73          | 37              |
|                  |                |    |                 |    | ДВП 1000                 | 1    | ПЗБП                     | 30   |               |      |             |        |                |           |                |                 |
| Приміщення 105   | 18             | 18 | 18              | 18 | РЦП 1800                 | 3,4  | ІПП 40                   | 5    | 664           | 20   | 26,61       | 23,69  | 94,85          | 105,9     | 21,18          | 37              |
|                  |                |    |                 |    | ДВП 1000                 | 1    | ПЗБП                     | 30   |               |      |             |        |                |           |                |                 |
| Приміщення 106   | 18             | 18 | 18              | 18 | РЦП 1800                 | 3,4  | ІПП 40                   | 5    | 1176          | 20   | 26,61       | 23,69  | 94,85          | 105,9     | 21,18          | 37              |
|                  |                |    |                 |    | ДВП 1000                 | 1    | ПЗБП                     | 30   |               |      |             |        |                |           |                |                 |
| Приміщення 109   | 25             | 20 | 20              | 20 | РЦП 1800                 | 3,4  | ІПП 40                   | 5    | 162,4         | 20   | 30,5        | 28,67  | 57,99          | 68,53     | 13,71          | 37              |
|                  |                |    |                 |    | ДВП 1000                 | 1    | ПЗБП                     | 30   |               |      |             |        |                |           |                |                 |

**Примітки:** РЦП 1800 - Розчин цементно-піщаний 1800; ПП 40 - Пінополістирол 40; ПЗБП - Плити залізобетонні пустотні.

**Таблиця 5.3.** Характеристики шарів ізоляції над та під трубами теплої підлоги другий поверх

| Приміщення       | $t_e$ | $t_{zn}$ | Шари підлоги над трубами |         | Шари підлоги під трубами |         | Потік у прим. | Крок | t підлоги |           | Тепловий потік           |                          |                   | $t_{гн}$ |
|------------------|-------|----------|--------------------------|---------|--------------------------|---------|---------------|------|-----------|-----------|--------------------------|--------------------------|-------------------|----------|
|                  | °C    | °C       | Матеріал                 | D<br>см | Матеріал                 | D<br>см |               |      | max<br>°C | min<br>°C | q в<br>Вт/м <sup>2</sup> | q ∑<br>Вт/м <sup>2</sup> | q пог.<br>Вт/м.п. |          |
|                  |       |          |                          |         |                          |         |               |      |           |           |                          |                          |                   |          |
| Приміщення 201_1 | 18    | 18       | РЦП 1800                 | 3,4     | ІПП 40                   | 5       | 331,98        | 20   | 26,61     | 23,69     | 94,85                    | 105,9                    | 21,18             | 37       |
|                  |       |          | ДВП 1000                 | 1       | ПЗБП                     | 30      |               |      |           |           |                          |                          |                   |          |
| Приміщення 202_1 | 20    | 20       | РЦП 1800                 | 3,4     | ІПП 40                   | 5       | 1055,63       | 20   | 27,75     | 25,13     | 84,45                    | 94,35                    | 18,87             | 37       |
|                  |       |          | ДВП 1000                 | 1       | ПЗБП                     | 30      |               |      |           |           |                          |                          |                   |          |
| Приміщення 202_2 | 20    | 20       | РЦП 1800                 | 3,4     | ІПП 40                   | 5       | 971,18        | 20   | 27,75     | 25,13     | 84,45                    | 94,35                    | 18,87             | 37       |
|                  |       |          | ДВП 1000                 | 1       | ПЗБП                     | 30      |               |      |           |           |                          |                          |                   |          |
| Приміщення 203_1 | 20    | 18       | РЦП 1800                 | 3,4     | ІПП 40                   | 5       | 841,7         | 20   | 27,73     | 25,11     | 84,17                    | 95,49                    | 19,1              | 37       |
|                  |       |          | ДВП 1000                 | 1       | ПЗБП                     | 30      |               |      |           |           |                          |                          |                   |          |
| Приміщення 203_2 | 20    | 18       | РЦП 1800                 | 3,4     | ІПП 40                   | 5       | 841,7         | 20   | 27,73     | 25,11     | 84,17                    | 95,49                    | 19,1              | 37       |
|                  |       |          | ДВП 1000                 | 1       | ПЗБП                     | 30      |               |      |           |           |                          |                          |                   |          |
| Приміщення 204_1 | 18    | 18       | РЦП 1800                 | 3,4     | ІПП 40                   | 5       | 303,52        | 20   | 26,61     | 23,69     | 94,85                    | 105,9                    | 21,18             | 37       |
|                  |       |          | ДВП 1000                 | 1       | ПЗБП                     | 30      |               |      |           |           |                          |                          |                   |          |
| Приміщення 204_2 | 18    | 18       | РЦП 1800                 | 3,4     | ІПП 40                   | 5       | 322,49        | 20   | 26,61     | 23,69     | 94,85                    | 105,9                    | 21,18             | 37       |
|                  |       |          | ДВП 1000                 | 1       | ПЗБП                     | 30      |               |      |           |           |                          |                          |                   |          |
| Приміщення 205_1 | 20    | 18       | РЦП 1800                 | 3,4     | ІПП 40                   | 5       | 589,19        | 20   | 27,73     | 25,11     | 84,17                    | 95,49                    | 19,1              | 37       |
|                  |       |          | ДВП 1000                 | 1       | ПЗБП                     | 30      |               |      |           |           |                          |                          |                   |          |
| Приміщення 205_2 | 20    | 18       | РЦП 1800                 | 3,4     | ІПП 40                   | 5       | 967,96        | 20   | 27,73     | 25,11     | 84,17                    | 95,49                    | 19,1              | 37       |
|                  |       |          | ДВП 1000                 | 1       | ПЗБП                     | 30      |               |      |           |           |                          |                          |                   |          |
| Приміщення 206   | 25    | 18       | РЦП 1800                 | 3,4     | ІПП 40                   | 5       | 403,97        | 20   | 30,48     | 28,65     | 57,71                    | 69,66                    | 13,93             | 37       |
|                  |       |          | ДВП 1000                 | 1       | ПЗБП                     | 30      |               |      |           |           |                          |                          |                   |          |
| Приміщення 207   | 25    | 18       | РЦП 1800                 | 3,4     | ІПП 40                   | 5       | 555,93        | 20   | 26,7      | 23,74     | 95,85                    | 102                      | 20,39             | 37       |
|                  |       |          | ДВП 1001                 | 1       | ПЗБП                     | 30      |               |      |           |           |                          |                          |                   |          |

**Примітки:** РЦП 1800 - Розчин цементно-гіпсовий 1800; ІПП 40 - Пінополістирол 40; ПЗБП - Плити залізобетонні пустотні

#### 5.4. Гідравлічний розрахунок водяної теплої підлоги

Визначаємо загальні гідравлічні втрати:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{лін}} + \Delta p_{\text{кмс}}, \quad (5.3)$$

де

$\Delta p$  - загальні втрати тиску, Па;

$\Delta p_{\text{кмс}}$  - втрати тиску на місцеві опори, Па;

$\Delta p_{\text{лін}}$  - лінійні втрати тиску, Па;

$$\Delta p_{\text{лін}} = \lambda \rho v^2 / 2d, \quad (5.4)$$

де

$\lambda$  - коефіцієнт тертя;

$\rho$  - щільність середовища, що транспортується, кг/м³;

$v$  - швидкість потоку, м/с;

$$\Delta p_{\text{кмс}} = \xi \rho v^2 / 2, \quad (5.5)$$

$$\sqrt{\lambda} = \frac{0,5 \left[ \frac{b}{2} + \frac{1,312(2-b) \lg(3,7d_p/K_e)}{\lg Re_\phi - 1} \right]}{\lg(3,7d_p/K_e)}, \quad (5.6)$$

де

$Re_\phi$  - фактичне число Рейнольдса;

$b$  - число подібності режимів течії рідини;

$K_e$  - коефіцієнт еквівалентної шорсткості, мм;

$d_p$  - внутрішній діаметр трубопроводу на розрахунковому ділянці, мм

$$Re_{\text{кр}} = 500 d_p / K_e, \quad (5.7)$$

$$Re_\phi = d_p V / \nu_t, \quad (5.8)$$

$$b = 1 + \lg Re_\phi / \lg Re_{\text{кр}}. \quad (5.9)$$

Дані розрахунків заносимо в табл. 5.4-5.5.

**Таблиця 5.4.** Характеристики колекторів теплої підлоги першого поверху

| Номер кол.     | Ø кол., мм | Номер петлі | Довжина петлі брутто, м | Теплове навант., Вт | Ви-трата, кг/с | Швид-кість, м/с | Втрати тиску, Па | % відкр. вентиля |
|----------------|------------|-------------|-------------------------|---------------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|
| 1              | 32         | 1           | 82,2                    | 1551,16             | 0,037          | 0,331           | 15593,27         | 100,00           |
| 1              | 32         | 2           | 83,2                    | 1570,03             | 0,038          | 0,335           | 16273,57         | 100,00           |
| 1              | 32         | 3           | 64,2                    | 1211,49             | 0,029          | 0,258           | 8099,87          | 100,00           |
| 1              | 32         | 10          | 70,0                    | 1320,94             | 0,032          | 0,281           | 10191,56         | 100,00           |
| 1              | 32         | 6           | 59,6                    | 1124,68             | 0,027          | 0,24            | 6453,10          | 69,95            |
| 1              | 32         | 7           | 50,0                    | 943,53              | 0,023          | 0,201           | 3988,44          | 100,00           |
| 1              | 32         | 9           | 51,0                    | 853,34              | 0,02           | 0,182           | 3419,51          | 24,71            |
| 1              | 32         | 5           | 24,0                    | 508,35              | 0,012          | 0,108           | 675,27           | 5,90             |
| 1              | 32         | 8           | 66,0                    | 1397,96             | 0,033          | 0,298           | 10669,72         | 100,00           |
| 1              | 32         | 4           | 24,0                    | 328,96              | 0,008          | 0,07            | 339,00           | 2,75             |
| <b>Всього:</b> |            | <b>10</b>   | <b>574,2</b>            | <b>10810,42</b>     | <b>0,259</b>   | <b>0,23</b>     | <b>16273,57</b>  |                  |

**Таблиця 5.5.** Характеристики колекторів теплої підлоги другого поверху

| Номер кол.     | Ø кол., мм | Номер петлі | Довжина петлі брутто, м | Теплове навант., Вт | Ви-трата, кг/с | Швид-кість, м/с | Втрати тиску, Па | % відкр. вентиля |
|----------------|------------|-------------|-------------------------|---------------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|
| 2              | 32         | 11          | 22,4                    | 474,46              | 0,011          | 0,101           | 614,86           | 3,94             |
| 2              | 32         | 13          | 75                      | 1415,288            | 0,034          | 0,302           | 12338,268        | 100,00           |
| 2              | 32         | 14          | 72,7                    | 1371,886            | 0,033          | 0,292           | 11441,741        | 100,00           |
| 2              | 32         | 12          | 71,8                    | 1371,168            | 0,033          | 0,292           | 11134,321        | 100,00           |
| 2              | 32         | 15          | 67                      | 1279,502            | 0,031          | 0,273           | 9225,655         | 100,00           |
| 2              | 32         | 16          | 22,4                    | 474,46              | 0,011          | 0,101           | 589,482          | 14,78            |
| 2              | 32         | 17          | 28,8                    | 610,021             | 0,015          | 0,13            | 1114,059         | 10,44            |
| 2              | 32         | 18          | 55                      | 1050,338            | 0,025          | 0,224           | 5470,016         | 100,00           |
| 2              | 32         | 19          | 78                      | 1489,57             | 0,036          | 0,317           | 13837,592        | 100,00           |
| 2              | 32         | 20          | 28,2                    | 392,908             | 0,009          | 0,084           | 537,587          | 5,28             |
| 2              | 32         | 21          | 32,2                    | 656,645             | 0,016          | 0,14            | 1419,107         | 100,00           |
| <b>Всього:</b> |            | <b>11</b>   | <b>553,5</b>            | <b>10586,25</b>     | <b>0,205</b>   | <b>0,23</b>     | <b>13837,59</b>  |                  |

## 5.5. Підбір обладнання для теплої підлоги

За результатами гідравлічного розрахунку для компенсації втрати тиску підбираємо [15]:

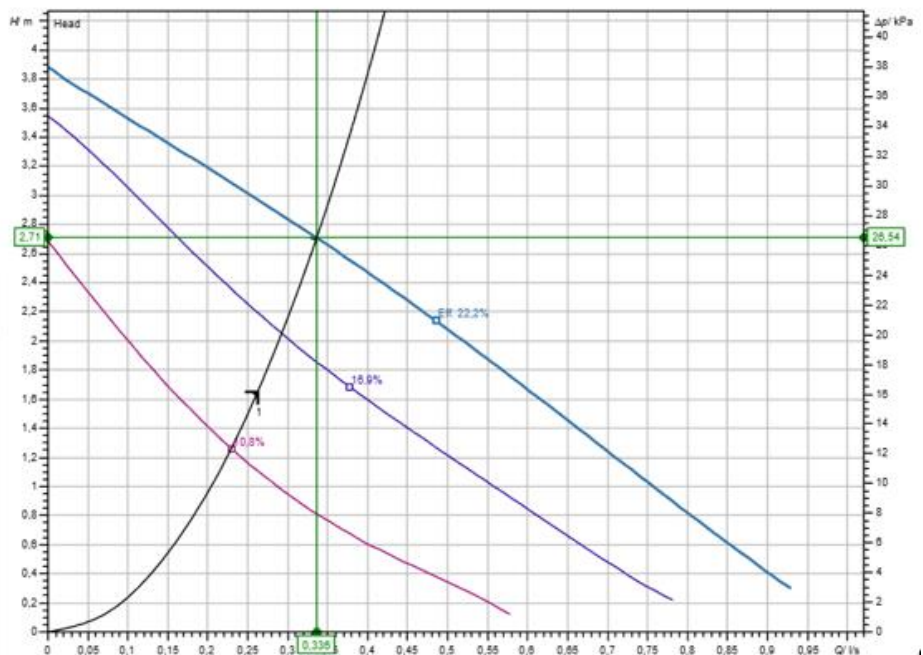
- два насоси **WILO RS 25/4** з номінальним напором 4 м (рис. 5.4);
- два колекторних блока **Valtec VTc.594.EMNX.0711**, 11 x 3/4" (рис. 5.5);
- дві шафи колекторні вбудовуванні **Valtec VTc.540.B (ШРВ)** (рис. 5.6).

Flow  
0,263 l/s

Head / Pump pressure  
1,659 m

Geodesic head  
0 m

> Введення робочої точки



**Рис. 5.4.** Зовнішній вигляд насоса **WILO Star-RS 25/4-130** та його витратно-напірна характеристика

## Коллекторный блок Valtec VTc.594.EMNX.0711, 1 1/4", 11 x 3/4"

Коллекторный блок для систем водяного радиаторного і підлогового опалення (водяна тепла підлога) з регулювальними і ручними (з можливістю установки електротермічного сервоприводу) запірними клапанами, автоматичним відводом повітря і дренажем. Діаметр колекторів – 1 або 1 1/4". Число виходів – від 3 до 12. Діаметр патрубків – 3/4", різьблення – зовнішнє, стандарт приєднання – «євроконус». Робоча температура теплоносія – до 120° С, тиск – до 10 бар.

**Шафа колекторна вбудовувана ШРВ Valtec VTc.540.B (ШРВ)** - шафа колекторна вбудовувана, з висувними ніжками.

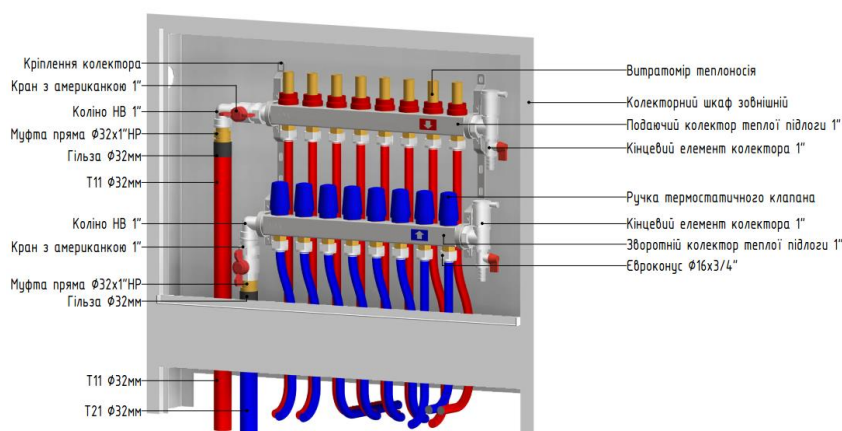
Висувні ніжки дають можливість регулювати висоту шафи від 680 до 780 мм (модель VTc.540.B). Ніжки мають отвори для кріплення шафи до підлоги. Відкидні дверцята мають замок, який захищає встановлене в шафі обладнання від несанкціонованого доступу. Всередині шафи встановлені пересувні монтажні рейки, до яких кріпляться устаткування. Вбудовуванні колекторні шафи VTc.540 оснащені висувною рамкою, яка дозволяє регулювати глибину встановлення від 110 до 165 мм, і можуть закріплюватися в ніші за допомогою фіксаторів (рис. 5.7).



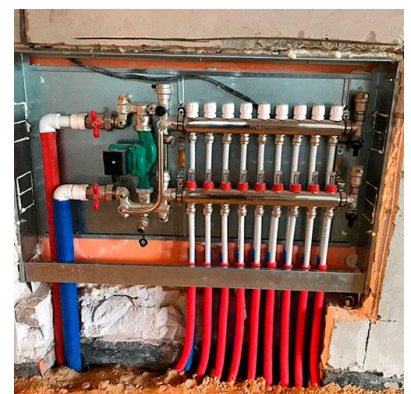
**Рис. 5.5.** Зовнішній вигляд колекторного блоку Valtec



**Рис. 5.6.** Зовнішній вигляд колекторної шафи вбудованої Valtec



**Рис. 5.7.** Фото монтажу колекторної шафи з циркуляційним насосом



|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 39   |

## 6. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ГОРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Розрахунок споживання гарячої води будемо виконувати на основі ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній водопровід та каналізація [16].

**Таблиця 6.1.** Вихідні данні

|                                             |                |
|---------------------------------------------|----------------|
| Розмір споживання гарячої води              | Сім'я (4 люд.) |
| Максимальна температура подачі гарячої води | 53 °С          |
| Температура води на вході                   | 10 °С          |

Згідно з розрахунком за ДБН В.2.5-64:2012 для житлового будинку квартирного типу з ванною від 1500 до 1700 мм, обладнаними душовими кабінами, тепловий потік упродовж максимального споживання дорівнює:

$$Q_{hr}^h = 1,16q_{hr}^h(53 - t^c) + Q^{ht} = 22,73 \text{ кВт} \quad (6.1)$$

де

$q_{hr}^h = 0,452 \text{ м}^3/\text{год}$  максимальні годинні витрати гарячої води;

$t^c = 10 \text{ °С}$  температура холодної води;

$Q^{ht} = 0,2 \text{ кВт}$  - теплові втрати на розрахунковій ділянці, які визначають як:

$$Q^{ht} = q_{w,k}l_{w,k} + q_{w,s}l_{w,s}, \quad (6.2)$$

де

$q_{w,k} = 11 \text{ Вт/м}$  – питомі теплові втрати трубопроводів, які прокладаються в підвалах, техпідпіллях, на горищі;

$q_{w,s} = 7 \text{ Вт/м}$  - питомі теплові втрати трубопроводів, які прокладаються в шахтах, каналах, штрабах;

$l_{w,k}$  – довжина всіх трубопроводів гарячого водопостачання, які прокладаються в підвалах, техпідпіллях, на горищі, м;

$l_{w,s}$  – довжина всіх трубопроводів гарячого водопостачання, які прокладаються в шахтах, каналах, штрабах, м.

Отримане значення показує максимальне навантаження, але для системи з тепловим насосом використовується накопичувальна буферна ємність для ГВП.

Виконаємо підбір потужності теплового насоса і бака ГВП згідно ДСТУ Б В.2.5-44:2010 Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами (EN 154550:2007, MOD). (див. табл. 6.2) [17-19]. З табл. 6.2 видно, що необхідна потужність теплового насоса для приготування ГВП становить 11,05 кВт і для цього достатньо мати буферну ємність 190 л.

Обраний бойлер непрямого нагріву Musond MНWT 200 НР об'ємом 200 л має змішувковий теплообмінник площею  $2,9 \text{ м}^2$  (табл. 10), який здатний передати потужність 11,6 кВт для нагріву ГВП.

Відповідно, можна зробити висновок, що кількість тепла, що накопичується в баку, разом з потужністю теплового насоса здатна забезпечити максимальне навантаження системи ГВП – 22 кВт у піковий період водовідбору.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 40   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

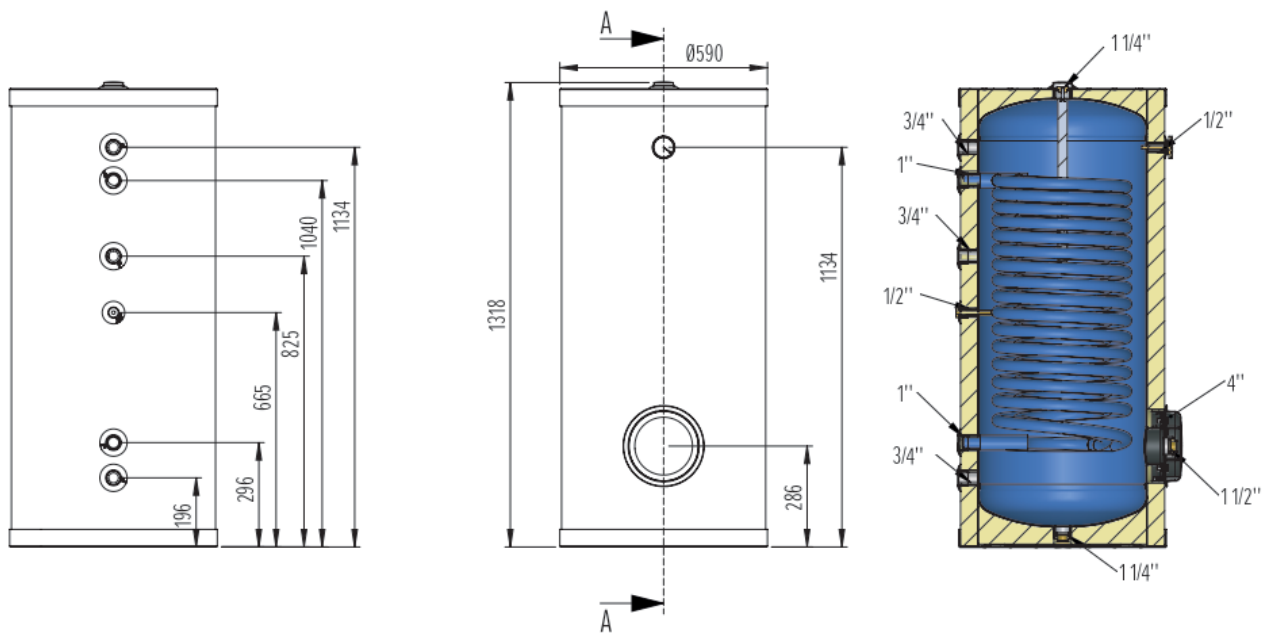
Таблиця 6.2. Оціночне споживання ГВП

| Цільове використання  | Температура води, °C | Разове споживання гарячої води, л | Енерговитрати за день, кВт·год | Кількість спрацювань в день, шт. | Споживана потужність, сумарна, кВт | Сумарний обсяг, л |
|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Маленький             | 40                   | 2,1                               | 0,11                           | 16                               | 1,68                               | 33,6              |
| На поверх             | 40                   | 2,1                               | 0,11                           | 2                                | 0,22                               | 4,2               |
| Вологе прибирання     | 55                   | 2,1                               | 0,11                           | 2                                | 0,22                               | 4,2               |
| Посудомийна           | 55                   | 6,31                              | 0,32                           | 1                                | 0,32                               | 6,3               |
| Витрати на душ        | 40                   | 28,04                             | 1,4                            | 1                                | 1,4                                | 28,04             |
| Витрати на ванну      | 40                   | 72,2                              | 3,61                           | 2                                | 7,21                               | 114,4             |
| <b>Всього за день</b> |                      |                                   |                                |                                  | <b>11,05</b>                       | <b>190,74</b>     |

Приймаємо бак непрямого нагріву ГВП ємністю 200 л - **Mycond MHWТ 200 HP** (рис. 6.1, табл. 6.3) [20].

Таблиця 6.3. Технічні характеристики баку ГВП **Mycond MHWТ 200 HP**

| Модель                                                                              | Од. виміру       | MHWТ 200 HP               | MHWТ300 HP |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|------------|
| Загальний об'єм                                                                     | L, л             | 200                       | 300        |
| Висота включно з ізоляцією                                                          | H, мм            | 1318                      | 1815       |
| Діаметр                                                                             | D, мм            | 590                       | 590        |
| Ізоляція                                                                            |                  | Жорсткий поліуретан 50 мм |            |
| Робочий тиск / максимальна температура у баку ГВП                                   | бар / °C         | 8 / 85                    | 8 / 85     |
| Робочий тиск / максимальна температура у змійовику                                  | бар / °C         | 12 / 110                  | 12 / 110   |
| Випробувальний тиск бака ГВП                                                        | бар              | 12                        | 12         |
| Висота підключення патрубків підключення змійовика – вх/вих                         | Свх/Свих, мм; 1" | 1040 / 296                | 1378 / 316 |
| Об'єм змійовика                                                                     | л                | 19                        | 28         |
| Площа теплообмінника                                                                | м²               | 2,9                       | 3,99       |
| Продуктивність під час тривалої роботи згідно з стандартом DIN 4708; 10°C/80°C/45°C | кВт (м³/год)     | 64 (1,6)                  | 84 (2,1)   |
| Втрати тиску                                                                        | мбар             | 220                       | 330        |
| Електричний нагрівач (опційно)                                                      | 1 ½"             | Так                       | Так        |
| Вага                                                                                | кг               | 89                        | 114        |
| <b>Входи/виходи бака ГВП</b>                                                        |                  |                           |            |
| Вхід холодної води                                                                  | A, мм; дюйм      | 196; ¾"                   | 216; 1"    |
| Вихід гарячої води                                                                  | B, мм; дюйм      | 1134; ¾"                  | 1611; 1"   |
| Рециркуляція                                                                        | R, мм; дюйм      | 825; ¾"                   | 1073; 1"   |
| Анод                                                                                | F, мм; 1 ¼"      | 1318                      | 1815       |
| Термометр                                                                           | T, мм; ½"        | 1134                      | 1611       |
| Штуцер для датчика                                                                  | G, мм; ½"        | 665                       | 913        |
| Фланець (оглядовий люк)                                                             | O, мм            | 286                       | 296        |
| Штуцер для нагрівального елемента                                                   | Uгвп, мм; 1 ½"   | 286                       | 296        |
| Штуцер зливу                                                                        | X, мм; 1 ¼"      | В нижній частині бака     |            |



**Рис. 6.1. Габаритні розміри баку ГВП Mycond MНWT 200 HP**

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 42   |

## 7. РОЗРАХУНОК РАДІАТОРНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

Радіатори встановлюємо у топковій (де нема теплої підлоги), санвузлах на першому та другому поверсі та в гаражі.

Довжина радіатора повинна перекривати 80% віконного проїму, а також забезпечувати необхідну теплопродуктивність.

За допомогою сайту виробника радіаторів Kermi [21] виконуємо онлайн розрахунок та основні технічні показники зводимо у табл. 7.1.

**Таблиця 7.1.** Характеристики підібраних радіаторів Kermi

| Приміщення     | Модель                | $Q_t$ , Вт  | $G_w$ , кг/с  | $\Delta P$ , кПа |
|----------------|-----------------------|-------------|---------------|------------------|
| 108 Топкова    | Kermi FTV 22 500/800  | 629         | 62,89         | 5                |
| 109 Санвузол   | Kermi FTV 22 500/700  | 550         | 54,99         | 5                |
| 206 Санвузол   | Kermi FTV 22 500/1000 | 786         | 78,53         | 5                |
| Гараж          | Kermi FTV 22 500/1000 | 786         | 78,53         | 5                |
|                | Kermi FTV 22 500/1000 | 786         | 78,53         | 5                |
| <b>Всього:</b> |                       | <b>3537</b> | <b>353,47</b> | <b>5</b>         |

**Примітка:** Теплопродуктивність розрахована за умов подачі теплоносія 55 °С. Крім цього у кожному санвузлі будуть встановлені рушникосушки.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 43   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

## 8. ПІДБІР ФАНКОЙЛІВ

Підбір фанкойлів будемо здійснювати за наступними вихідними даними:

Тип фанкойла: настінний

Температура теплоносія (зима): 45/40 °C

Температура теплоносія (літо): 7/12 °C

Температура повітря в приміщенні (зима): 20 °C

Температура повітря в приміщенні (літо): 24 °C

Холодопродуктивність: розрахункові значення теплонадходжень (табл. 4.6)

Теплопродуктивність: виконання вимог комбінованої системи опалення (тепла підлога + фанкойл), перевірка повної компенсації тепловтрат.

Технічні характеристики фанкойлів компанії Mycond представлені в табл. 8.1 та 8.2 [20].

**Таблиця 8.1.** Характеристики настінних фанкойлів Mycond

| Модель                             |                        |                        | MHW 18          | MHW 27          | MHW 35          |
|------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Об'ємна витрата повітря            | Висока швидкість       | фути <sup>3</sup> /хв. | 200             | 300             | 400             |
|                                    |                        | м <sup>3</sup> /год.   | 340             | 510             | 680             |
|                                    | Середня швидкість      | фути <sup>3</sup> /хв. | 150             | 225             | 300             |
|                                    |                        | м <sup>3</sup> /год.   | 255             | 382,5           | 510             |
|                                    | Низька швидкість       | фути <sup>3</sup> /хв. | 100             | 150             | 200             |
|                                    |                        | м <sup>3</sup> /год.   | 170             | 255             | 340             |
| Холодопродуктивність               | Висока швидкість       | Вт                     | 1808            | 2712            | 3618            |
|                                    | Середня швидкість      | Вт                     | 1537            | 2305            | 3075            |
|                                    | Низька швидкість       | Вт                     | 1175            | 1763            | 2352            |
| Теплопродуктивність                | Висока швидкість       | Вт                     | 2709            | 4070            | 5418            |
|                                    | Середня швидкість      | Вт                     | 2303            | 3460            | 4605            |
|                                    | Низька швидкість       | Вт                     | 1761            | 2646            | 3522            |
| Рівень шуму                        |                        | дБ(А)                  | 42 / 39 / 36    | 42 / 39 / 36    | 43 / 40 / 37    |
| Двигун вентилятора                 | Кількість вентиляторів |                        | 1               | 1               | 1               |
|                                    | Кількість двигунів     |                        | 1               | 1               | 1               |
|                                    | Вхідна потужність      | Вт                     | 52              | 52              | 62              |
| Об'ємна витрата води               |                        | кг/год.                | 350             | 610             | 800             |
| Гідравлічний опір                  |                        | кПа                    | 30              | 30              | 30              |
| Макс. робочий тиск                 |                        | МПа                    | 1,6             | 1,6             | 1,6             |
| Розміри (Ш×Г×В)                    | Чисті                  |                        | 850×300×198     | 850×300×198     | 850×300×198     |
|                                    | В упаковці             | мм                     | 885×360×270     | 885×360×270     | 885×360×270     |
| Вага нетто / брутто                |                        | кг                     | 11/12,5         | 11/12,5         | 12,6/14,5       |
| Вхідна / вихідна водяна труба      |                        |                        | Rc1/2" (Ду 15)  | Rc1/2" (Ду 15)  | Rc1/2" (Ду 15)  |
| Зливна труба                       |                        |                        | R1/2" (Ду 15)   | R1/2" (Ду 15)   | R1/2" (Ду 15)   |
| Кількість у контейнері (20/40/40Н) |                        |                        | 328 / 672 / 756 | 328 / 672 / 756 | 328 / 672 / 756 |

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 44   |

Продовження табл. 8.1

| Модель                             |                        |           | MHW 45          | MHW 54          | MHW 72          |
|------------------------------------|------------------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Об'ємна витрата повітря            | Висока швидкість       | фути³/хв. | 500             | 600             | 800             |
|                                    |                        | м³/год.   | 850             | 1020            | 1360            |
|                                    | Середня швидкість      | фути³/хв. | 375             | 450             | 600             |
|                                    |                        | м³/год.   | 637,5           | 765             | 1020            |
|                                    | Низька швидкість       | фути³/хв. | 250             | 300             | 400             |
|                                    |                        | м³/год.   | 425             | 510             | 680             |
| Холодопродуктивність               | Висока швидкість       | Вт        | 4514            | 5406            | 7210            |
|                                    | Середня швидкість      | Вт        | 3837            | 4595            | 6129            |
|                                    | Низька швидкість       | Вт        | 2934            | 3514            | 4687            |
| Теплопродуктивність                | Висока швидкість       | Вт        | 6767            | 8155            | 10807           |
|                                    | Середня швидкість      | Вт        | 5752            | 6898            | 9186            |
|                                    | Низька швидкість       | Вт        | 4399            | 5275            | 7025            |
| Рівень шуму                        |                        | дБ(А)     | 47 / 43 / 40    | 47 / 43 / 40    | 49 / 45 / 41    |
| Двигун вентилятора                 | Кількість вентиляторів |           | 1               | 1               | 1               |
|                                    | Кількість двигунів     |           | 1               | 1               | 1               |
|                                    | Вхідна потужність      |           | Вт              | 76              | 96              |
| Об'ємна витрата води               |                        | кг/год.   | 950             | 1080            | 1390            |
| Гідравлічний опір                  |                        | кПа       | 30              | 40              | 40              |
| Макс. робочий тиск                 |                        | МПа       | 1,6             | 1,6             | 1,6             |
| Розміри (Ш×Г×В)                    | Чисті                  |           | 970×315×235     | 970×315×235     | 1100×330×235    |
|                                    | В упаковці             | мм        | 1010×380×300    | 1010×380×300    | 1140×390×300    |
| Вага нетто / брутто                |                        | кг        | 15/17           | 16/18           | 20/23           |
| Вхідна / вихідна водяна труба      |                        |           | Rc1/2" (Ду 15)  | Rc1/2" (Ду 15)  | Rc1/2" (Ду 15)  |
| Зливна труба                       |                        |           | R1/2" (Ду 15)   | R1/2" (Ду 15)   | R1/2" (Ду 15)   |
| Кількість у контейнері (20/40/40Н) |                        |           | 238 / 476 / 544 | 238 / 476 / 544 | 210 / 434 / 496 |

Таблиця 8.2. Таблиця зміни теплопродуктивності залежно від умов роботи

| Температура повітря на вході, °С |                        |                          | 18 °С за сухим термометром |      |       |       |       |       | 20 °С за сухим термометром |      |       |       |       |       |
|----------------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| Температура води на вході, °С    |                        |                          | 40                         | 45   | 50    | 60    | 70    | 80    | 40                         | 45   | 50    | 60    | 70    | 80    |
| Модель                           | Витрата води (кг/год.) | Падіння тиску води (кПа) |                            |      |       |       |       |       |                            |      |       |       |       |       |
| 72                               | 900                    | 14.8                     | 5260                       | 6449 | 7668  | 10045 | 12423 | 14830 | 4785                       | 6003 | 7162  | 9570  | 11977 | 14355 |
|                                  | 1100                   | 21                       | 5648                       | 6927 | 8235  | 10791 | 13378 | 15934 | 5143                       | 6421 | 7700  | 10286 | 12842 | 15429 |
|                                  | 1300                   | 28                       | 6095                       | 7492 | 8860  | 11624 | 14419 | 17154 | 5560                       | 6927 | 8324  | 11119 | 13854 | 16649 |
|                                  | 1500                   | 36                       | 7889                       | 9319 | 12206 | 15124 | 18042 | 5835  | 7264                       | 8753 | 11641 | 14558 | 17476 | 5567  |

|      |      |          |        |      |                       |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 |  |  |  |  | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |  |  |  |  | 45   |

Необхідна теплопродуктивність фанкойла для кухні становить - 5252 Вт. З табл. 8.2 видно що модель фанкойла MHW 72 повністю задовольняє вимогам. Зовнішній вигляд настінного фанкойла фірми Mycond показано на рис. 8.1.



**Рис. 8.1.** Зовнішній вигляд настінного фанкойла Mycond

На основі аналізу технічних характеристик фанкойлів були обрані відповідні моделі, що забезпечують необхідну тепло- і холодопродуктивність. Список моделей представлений у табл. 8.3.

**Таблиця 8.3.** Характеристики підібраних фанкойлів

| Поверх | Приміщення     | $Q_{\text{тн}}$ , Вт | Модель | $Q_{\text{х}}$ , Вт | $Q_{\text{т}}$ , Вт | $G_{\text{w}}$ , кг/с | $\Delta P$ , кПа |
|--------|----------------|----------------------|--------|---------------------|---------------------|-----------------------|------------------|
| 1      | 103 Кабінет    | 1721                 | MHW 27 | 2712                | 4070                | 610                   | 30               |
|        | 101 Кухня      | 7100                 | MHW 72 | 7210                | 10807               | 1390                  | 40               |
| 2      | 202 Спальня    | 3403                 | MHW 35 | 3618                | 5418                | 800                   | 30               |
|        | 203 Спальня    | 3042                 | MHW 35 | 3618                | 5418                | 800                   | 30               |
|        | 205 Спальня    | 2666                 | MHW 27 | 2712                | 4070                | 610                   | 30               |
|        | <b>Всього:</b> | 17932                |        |                     |                     | 4210                  | 40               |

**Примітка:**  $Q_{\text{тн}}$  - розрахункові теплонадходження;  $Q_{\text{х}}$  - холодопродуктивність;  $Q_{\text{т}}$  – теплопродуктивність;  $G_{\text{w}}$  - витрата води;  $\Delta P$  – гідравлічний опір.

З урахуванням витрати води та втрати тиску обраних фанкойлів для контуру фанкойлів обрано циркуляційний насос WILO RS 25/7 з номінальним напором 7 м.

## 9. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО НАСОСА

Теплове навантаження на компресор визначимо з урахуванням не врахованих тепловтрат коефіцієнта робочого часу 0,83:

$$\Sigma Q_0 \text{ комп} = 1,2 \cdot 17,932 = 21,518 \text{ кВт.} \quad (9.1)$$

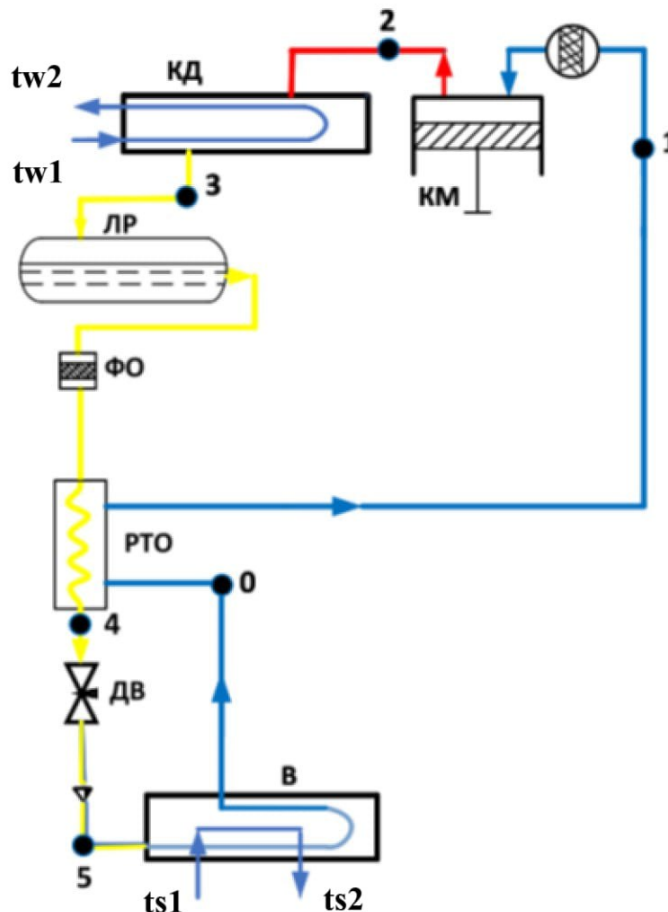
Даний тепловий насос розраховується на холодопродуктивність 21,5 кВт. Зроблено розрахунок циклу, підбір обладнання.

### 9.1. Схема та цикл теплового насоса

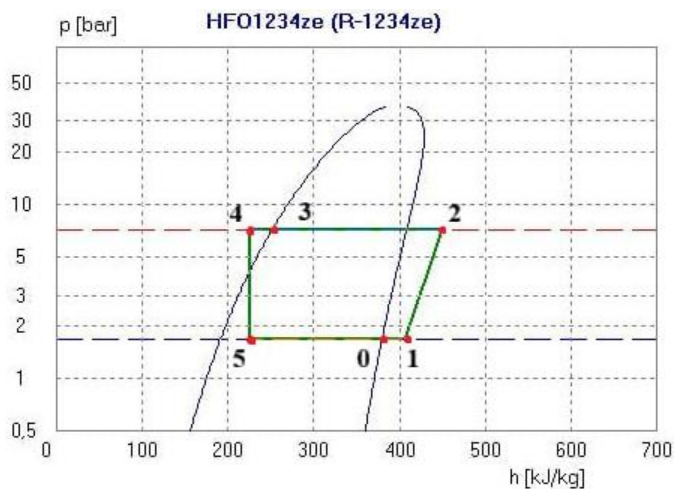
Розрахунок циклу теплового насоса зроблений з урахуванням регенеративного теплообмінника та напівгерметичного поршневого компресора [17].

Схема теплового насоса з розставленими розрахунковими точками зображена на рис. 9.1.

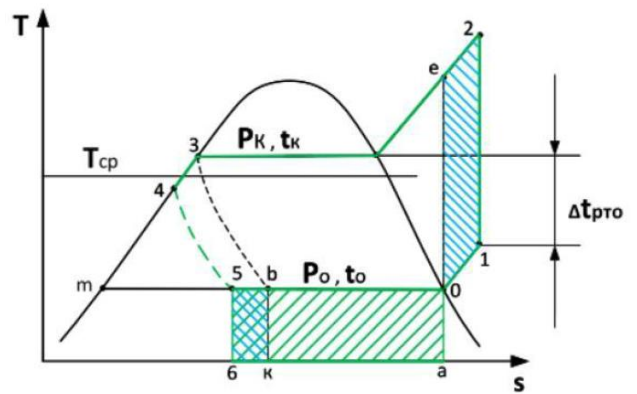
Термодинамічний цикл роботи теплового насоса зображений на  $\lg p-h$  - діаграмі та  $T-s$  діаграмі показано на рис. 9.2.



**Рис. 9.1.** Схема теплового насоса: *КМ* – компресор; *КД* – конденсатор; *ЛР* – лінійний ресивер; *ФО* – фільтр осушувач, *РТО* – регенеративний теплообмінник; *ДВ* – дросельний вентиль; *В* – випарник



а)  $\lg p-h$  - діаграма



б)  $T-s$  - діаграма

Рис 9.2. Цикл теплового насоса

**Початкові дані (режим):**

**Холодоагент:**

Температура кипіння:

Температура конденсації:

**Теплоносій (контур споживача):**

Температура на вході:

Температура на виході:

**Теплоносій (грунтовий контур):**

Температура на вході:

Температура на виході:

Холодопродуктивність:

**S0/W35**

**R1234ze**

$t_o = -7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p_o = 1,66\text{ бар}$

$t_k = 37,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p_k = 7,16\text{ бар}$

вода

$t_{w1} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

$t_{w2} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$

пропіленгліколь (30% мас.)/вода

$t_{s1} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

$t_{s2} = -3\text{ }^{\circ}\text{C}$

$Q_o = 21,5\text{ кВт}$

## 9.2. Методика розрахунку показників роботи теплового насоса

Питомі характеристики циклу:

- питома масова холодопродуктивність:

$$q_o = h_5 - h_o, \text{ кДж/кг}; \quad (9.2)$$

- питома об'ємна холодопродуктивність:

$$q_v = q_o / v_1, \text{ кДж/м}^3; \quad (9.3)$$

- питома адиабатна робота стиснення:

$$l_a = h_2 - h_1, \text{ кДж/кг}; \quad (9.4)$$

- питома тепло, відведене у конденсаторі:

$$q_k = h_2 - h_3, \text{ кДж/кг}. \quad (9.5)$$

Масова витрата агента:

$$M_a = Q_o / q_o, \text{ кг/с}. \quad (9.6)$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_d = M_a \cdot v_1, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (9.7)$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 48   |

Тепловий потік в конденсаторі:

$$Q_k = q_k \cdot M_a, \text{ кВт.} \quad (9.8)$$

Тепловий потік в РТО:

$$Q_{\text{рто}} = h_1 - h_0 = h_3 - h_4, \text{ кВт,} \quad (9.9)$$

$$h_1 = f(t_1); t_1 = t_k - \Delta t_{\text{рто}}; \Delta t_{\text{рто}} = 10 \dots 15 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт подачі компресора:

$$\lambda = \lambda_c \cdot \lambda'_w, \quad (9.10)$$

де  $\lambda_c$  - об'ємний коефіцієнт, враховує вплив мертвого простору ( $c = 0,03$ ,  $m = 1$ ):

$$\lambda_c = 1 - c \cdot [(P_k / P_0)^{1/m} - 1], \quad (9.11)$$

де  $\lambda'_w$  - об'ємний коефіцієнт, що враховує нагрівання від стінок циліндра ( $\alpha = 1,12$ ;  $\beta = 0,5$ ,  $\theta = t_1 - t_0$  - повний перегрів на всмоктуванні):

$$\lambda'_w = (T_0 + \Theta) / (\alpha \cdot T_k + \beta \cdot \Theta). \quad (9.12)$$

Об'єм, описаний поршнями компресора:

$$V_h = V_d / \lambda, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (9.13)$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_a = M_a \cdot l_a, \text{ кВт.} \quad (9.14)$$

Індикаторна потужність компресора ( $\beta = 0,0025$ ):

$$N_i = N_a / \eta_i, \text{ кВт} \quad (9.15)$$

$$\eta_i = (\lambda'_w + \beta \cdot t_0). \quad (9.16)$$

Потужність тертя ( $p_{\text{тр}} = 40$  кПа - середній тиск тертя):

$$N_{\text{тр}} = V_h \cdot p_{\text{тр}}, \text{ кВт} \quad (9.17)$$

Ефективна потужність компресора:

$$N_e = N_i + N_{\text{тр}}, \text{ кВт.} \quad (9.18)$$

Електрична потужність компресора:

$$N_{\text{ел}} = N_e / \eta_{\text{ел}}, \text{ кВт.} \quad (9.19)$$

де  $\eta_{\text{елдв}}$  - ККД електродвигуна компресора.

Дійсний коефіцієнт перетворення:

$$COP = Q_k / N_e. \quad (9.20)$$

Холодильний коефіцієнт:

$$\varepsilon = Q_0 / N_e. \quad (9.21)$$

Розрахунок виконано за допомогою програми Chemours Refrigerant Expert CRE 1.0 [22]. Результати розрахунків зведені в табл. 9.1- 9.3.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 49   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

**Таблиця 9.1.** Параметри вузлових точок циклу для режиму S0/W35

| № | $t, ^\circ\text{C}$ | $p, \text{бар}$ | $h, \text{кДж/кг}$ | $s, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ | $v, \text{м}^3/\text{кг}$ | $\rho, \text{кг/м}^3$ |
|---|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 0 | -7,00               | 1,6604          | 379,34             | 1,6744                            | 0,1099                    | 9,099                 |
| 1 | 22,50               | 1,6604          | 405,28             | 1,7668                            | 0,1245                    | 8,032                 |
| 2 | 77,95               | 7,1564          | 449,89             | 1,8057                            | 0,0321                    | 31,15                 |
| 3 | 37,50               | 7,1564          | 251,41             | 1,1748                            | 0,0009                    | 1111                  |
| 4 | 18,92               | 7,1564          | 225,47             | 1,0887                            | 0,0009                    | 1111                  |
| 5 | -7,00               | 1,6604          | 225,47             | 1,0963                            | 0,0208                    | 47,62                 |

### 9.3. Результати розрахунку теплового насосу

**Таблиця 9.2.** Розрахункові параметри теплового насоса для режиму S0/W35

| Показники                                                             | Значення |
|-----------------------------------------------------------------------|----------|
| Питома холодопродуктивність, $q_0, \text{кДж/кг}$                     | 153,9    |
| Об'ємна холодопродуктивність, $q_v, \text{кДж/м}^3$                   | 1235,3   |
| Питома адіабатна робота стиснення, $l_a, \text{кДж/кг}$               | 44,61    |
| Питомий тепловий потік в конденсаторі, $q_k, \text{кДж/кг}$           | 198,5    |
| Масова витрата холодоагенту, $M_a, \text{кг/с}$                       | 0,1397   |
| Дійсна об'ємна продуктивність компресора $V_d, \text{м}^3/\text{год}$ | 62,65    |
| Тепловий потік в конденсаторі $Q_k, \text{кВт}$                       | 27,73    |
| Холодопродуктивність $Q_0, \text{кВт}$                                | 21,5     |
| Тепловий потік в РТО $Q_{\text{рто}}, \text{кВт}$                     | 3,62     |
| Коефіцієнт подачі компресора, $\lambda$                               | 0,734    |
| Об'ємна продуктивність компресора, $V_h, \text{м}^3/\text{год}$       | 85,33    |
| Адіабатне потужність компресора, $N_a, \text{кВт}$                    | 6,23     |
| Індикаторний ККД компресора, $\eta_i$                                 | 0,798    |
| Індикаторна потужність $N_i, \text{кВт}$                              | 7,81     |
| Ефективна потужність $N_e, \text{кВт}$                                | 8,76     |
| ККД електродвигуна, $\eta_{\text{ел.дв}}$                             | 0,98     |
| Потужність електродвигуна $N_{\text{ел}}, \text{кВт}$                 | 8,94     |
| Дійсний коефіцієнт перетворення COP                                   | 4,45     |
| Холодильний коефіцієнт, $\varepsilon$                                 | 3,45     |

**Таблиця 9.3.** Додаткові параметри системи

| Показник                                                              | Значення   |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| Діаметр рідкого патрубку, мм                                          | 12,0 x 1,0 |
| Діаметр всмоктуючого патрубку КМ, мм                                  | 28,0 x 1,5 |
| Діаметр нагнітального патрубку КМ, мм                                 | 18,0 x 1,0 |
| Швидкість руху холодоагенту, м/с                                      | 22,35      |
| Кількість R1234ze, яка заповнюється в ресивер, кг                     | 33,12      |
| Кількість мастила BSE55, яка заправляється в компресор, $\text{дм}^3$ | 4,0        |

## 10. ПІДБІР КОМПРЕСОРА ТА ДОПОМІЖНОГО УСТАТКУВАННЯ

### 10.1. Підбір компресору

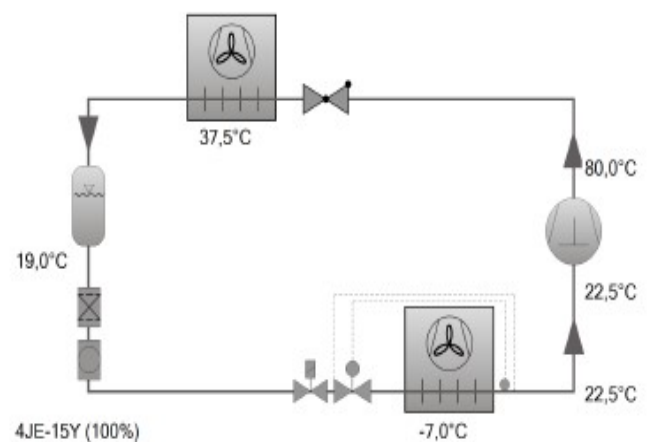
Підбір компресорів здійснимо по потрібній холодопродуктивності  $Q_0 = 21,5$  кВт з параметрами роботи, представленими при тепловому розрахунку за допомогою програми BITZER Software v7.1.2 rev1. [23].

Вибираємо напівгерметичний поршневий компресор фірми **BITZER** марки **4JE-15Y** з холодопродуктивністю за даних умов  $Q_0 = 21,9$  кВт і споживаною електричною потужністю  $N_{ел} = 5,7$  кВт. Звіт підбору та технічні параметри компресора наведені на рис. 10.1, 10.2. Габаритні розміри та з'єднання на рис. 10.3.

#### Selection: Semi-hermetic Reciprocating Compressors

##### Input Values

|                           |                                    |
|---------------------------|------------------------------------|
| Compressor model          | 4JE-15Y                            |
| Mode                      | Refrigeration and air conditioning |
| Refrigerant               | R1234ze                            |
| Reference temperature     | Dew point temp.                    |
| Evaporating SST           | -7,00 °C                           |
| Condensing SDT            | 37,5 °C                            |
| Liq. subc. (in condenser) | 18,50 K                            |
| Suction gas temperature   | 22,5 °C                            |
| Operating mode            | Auto                               |
| Power supply              | 400V-3-50Hz                        |
| Capacity control          | 100%                               |
| Useful superheat          | 100%                               |



##### Result

|                                 |             |
|---------------------------------|-------------|
| Compressor                      | 4JE-15Y-40P |
| Capacity steps                  | 100%        |
| Cooling capacity                | 21,9 kW     |
| Cooling capacity *              | 18,67 kW    |
| Evaporator capacity             | 21,9 kW     |
| Power input                     | 5,70 kW     |
| Current (400V)                  | 13,74 A     |
| Voltage range                   | 380-420V    |
| Condenser capacity              | 27,6 kW     |
| COP/EER                         | 3,84        |
| COP/EER *                       | 3,28        |
| Mass flow                       | 439 kg/h    |
| Operating mode                  | Standard    |
| Discharge gas temp. w/o cooling | 80,0 °C     |

Рис. 10.1. Звіт підбору компресора BITZER 4JE-15Y

| Technical Data                               |                                                                        |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Displacement (1450rpm 50Hz)                  | 63,5 m³/h                                                              |
| Displacement (1750rpm 60Hz)                  | 76,6 m³/h                                                              |
| No. of cylinder x bore x stroke              | 4 x 65 mm x 55 mm                                                      |
| Weight                                       | 192 kg                                                                 |
| Max. pressure (LP/HP)                        | 19 / 32 bar                                                            |
| Connection suction line                      | 42 mm - 1 5/8"                                                         |
| Connection discharge line                    | 28 mm - 1 1/8"                                                         |
| Oil type R134a/R407C/R404A/R507A/R407A/R407F | BSE32(Standard)   R134a tc>70°C: BSE55 (Option)                        |
| Oil type R22 (R12/R502)                      | B5.2(Option)                                                           |
| Oil type R1234yf                             | BSE32 (Standard)   R1234yf tc>70°C : BSE55 (Option)                    |
| Oil type R1234ze                             | BSE55 (Standard)   to>15°C: BSE85K (Option)   tc>70°C: BSE85K (Option) |
| Oil type R454C/R455A                         | BSE32 (Standard)                                                       |
| Oil type R515B                               | BSE55 (Standard)   to>15°C: BSE85K (Option)   tc>70°C: BSE85K (Option) |
| Motor data                                   |                                                                        |
| Motor version                                | 2                                                                      |
| Motor voltage (more on request)              | 380-420V PW-3-50Hz                                                     |
| Max. operating current                       | 30.8 A                                                                 |
| Winding ratio                                | 50/50                                                                  |
| Starting current (Rotor locked)              | 97.0 A Y / 158.0 A YY                                                  |
| Max. power input                             | 19,0 kW                                                                |
| Extent of delivery (standard)                |                                                                        |
| Motor protection                             | SE-B3 (Option), SE-B2 (Option), CM-RC-02 (Standard)                    |
| Enclosure class                              | IP54 (Standard), IP66 (Option)                                         |
| Vibration dampers                            | Standard                                                               |
| Oil charge                                   | 4,00 dm³                                                               |
| Discharge shut-off valve                     | Standard                                                               |
| Suction shut-off valve                       | Standard                                                               |
| Available options                            |                                                                        |
| Discharge gas temperature sensor             | Option                                                                 |
| Start unloading                              | Option                                                                 |
| Capacity control                             | 100-50% (Option)                                                       |
| Capacity Control - infinite                  | 100-10% (Option)                                                       |
| Additional fan                               | Option                                                                 |
| Refrigerant Injection (RI)                   | Option                                                                 |
| Oil service valve                            | Option                                                                 |
| Oil heater                                   | 140 W (Option)                                                         |
| Oil pressure monitoring                      | MP54 (Option), Delta-PII                                               |

Рис. 10.2. Технічні характеристики компресора BITZER 4JE-15Y

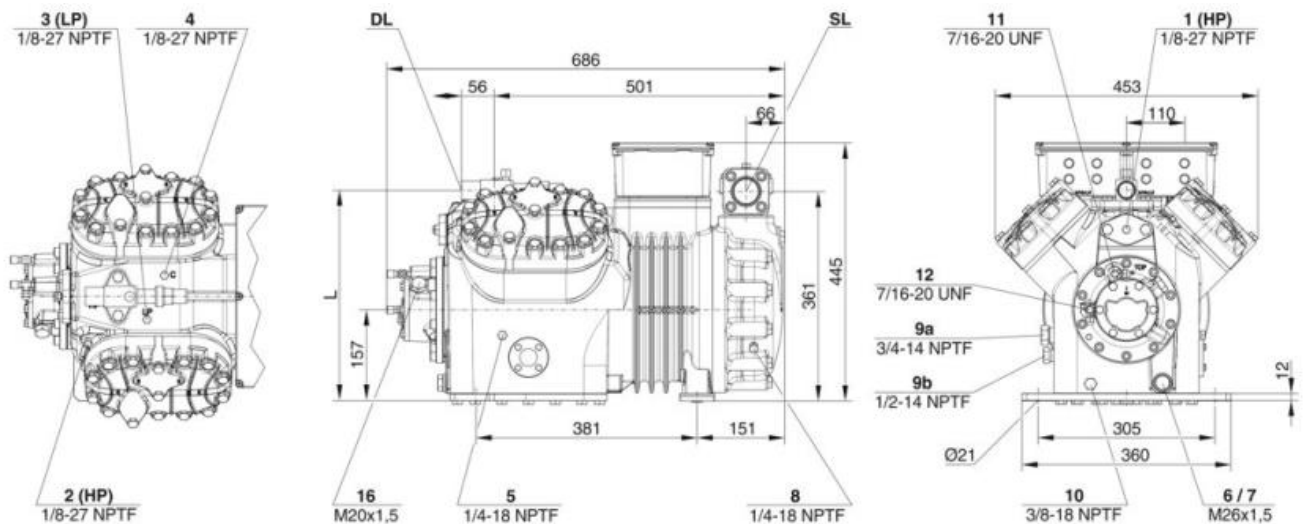


Рис. 10.3. Габаритні розміри напівгерметичного поршневого компресора 4JE-15Y

## 10.2. Підбір ресиверу

Підбір ресивера виконуємо за допомогою програми BITZER Software v7.1.2 rev1. [23]. Вибираємо горизонтальний ресивер фірми BITZER F402H.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 52   |

Звіт підбору та технічні параметри ресивера наведені на рис. 10.4, 10.5. Габаритні розміри та з'єднання на рис. 10.6.

|                              |                    |
|------------------------------|--------------------|
| Compressor:                  | 4JE-15Y            |
| Recommendation:              | F402H              |
| <b>Selection</b>             | <b>F402H</b>       |
| Recommended operating point: | A                  |
| Selected operating point:    | A                  |
| Receiver volume              | 39,0 dm³           |
| Max. refrigerant charge      | 41,4 kg            |
| Receiver load                | 79,6 %             |
| Receiver unit                | indivi. components |
| lower fixing rails           | 327301-05          |
| upper fixing rails           | 327301-10          |
| upper fixing plate           | 320366-02          |



Рис. 10.4. Горизонтальний ресивер F402H

| Technical Data                             |                 |
|--------------------------------------------|-----------------|
| Weight                                     | 32,0 kg         |
| Total width                                | 1214 mm         |
| Total depth                                | 272 mm          |
| Total height                               | 303mm           |
| Receiver volume refrigerant                | 39,0 l          |
| Max. refrigerant charge 90% at 20°C / 68°F |                 |
| R22                                        | 42,5 kg         |
| R134a                                      | 43,0 kg         |
| R407C                                      | 40,7 kg         |
| R404A/R507A                                | 37,5 kg         |
| R448A                                      | 39,1 kg         |
| R449A                                      | 39,2 kg         |
| R450A                                      | 41,9 kg         |
| R454C                                      | 35,2 kg         |
| R455A                                      | 36,5 kg         |
| R513A                                      | 42,0 kg         |
| R1234yf                                    | 39 kg           |
| R1234ze                                    | 41,4 kg         |
| R515B                                      | 42,0 kg         |
| Max. pressure                              | 33 bar          |
| Max. operating temperature                 | 120°C           |
| Connection inlet KL                        | 28mm - 1 1/8"   |
| Connection thread/ -flange                 | 1 3/4" - 12 UNF |
| Connection outlet FL                       | 28mm - 1 1/8"   |
| Connection thread/ -flange                 | 1 3/4" - 12 UNF |
| Gauge                                      | 7/16" 20UNF     |
| Connection for pressure relief valve       | 1 1/4"-12UNF    |
| Adapter for pressure relief valve          | Option          |
| Minimum level control                      | Option          |
| Maximum level control                      | Option          |
| *According PED 2014/68/EU                  | Standard        |
| Special Approvals (on request)             | Option          |

Рис. 10.5. Технічні характеристики горизонтального ресивера F402H

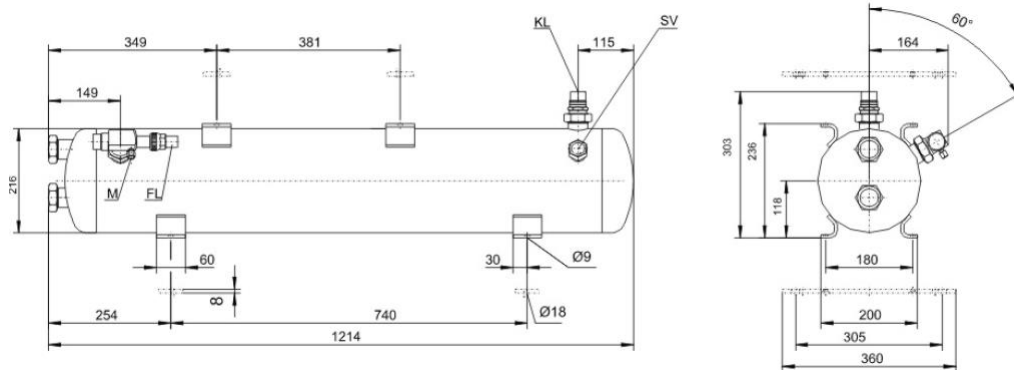


Рис. 10.6. Габаритні розміри горизонтального ресивера BITZER F402H

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 53   |

### 10.3. Підбір конденсатора та випарника

Для відведення теплоти конденсації в даній холодильній системі використовуємо паяний пластинчатий теплообмінник. Розрахункове теплове навантаження може бути визначена за даними теплового розрахунку див табл. 9.2.

Основні вихідні дані для підбору теплообмінників зведені у табл. 10.1.

**Таблиця 10.1.** Вихідні дані для підбору теплообмінників - режим S0/W35

| Теплообмінник              | Контур споживача |           | Грунтовий контур |                    |
|----------------------------|------------------|-----------|------------------|--------------------|
| Режим роботи               | Конденсатор      |           | Випарник         |                    |
| Сторона теплоносія         | Сторона 1        | Сторона 2 | Сторона 1        | Сторона 2          |
| Рідина                     | R1234ze          | Вода      | R1234ze          | Propylenglycol 30% |
| Потужність $Q_k/Q_o$ , кВт | 28               |           | 21,5             |                    |
| Температура $t_k/t_o$ , °C | 37,5             |           | -7               |                    |
| Температура на вході, °C   |                  | 30        |                  | 0                  |
| Температура на виході, °C  |                  | 35        |                  | -3                 |
| Модель теплообмінника      | B85Hx90/1P       |           | F85Hx96/1P       |                    |

Підбір паяних пластинчатих теплообмінників компанії SWEP (рис. 10.7) виконано за допомогою сайту компанії OPEKS Energysystems [24].

Технічні характеристики та параметри обраного конденсатора SWEP B85Hx90/1P представлені на рис. 10.8, а випарника – SWEP F85Hx96/1P на рис. 10.9, 10.10.



**Рис. 10.7.** Зовнішній вигляд теплообмінника SWEP

# Конденсатор - Рейтинг

## Теплообмінник: B85Hx90/1P

SWEP DThermX

Дата: 06/11/2025

Псевдонім SSP: B85

### ВИХІДНІ УМОВИ

|                          |      | Сторона 1  | Протитік | Сторона 2 |
|--------------------------|------|------------|----------|-----------|
| Рідина                   |      | R1234ze(E) |          | Water     |
| Напрямок потоків         |      | Внутрішній |          | Outer     |
| Circuit                  |      |            |          |           |
| Потужність               | kW   |            | 28.00    |           |
| Якість пари на вході     |      | 1.000      |          |           |
| Якість пари на виході    |      | 0.000      |          |           |
| Температура на вході     | °C   | 65.0       |          | 30.0      |
| Конд. темп (роса) (Роси) | °C   | 37.5       |          |           |
| Переохолодження          | K    | 3.0        |          |           |
| Темп. на виході          | °C   | 34.5       |          | 35.0      |
| Масова витрата           | kg/s | 0.1478     |          | 1.340     |
| Рідина сконденсована     | kg/s | 0.1478     |          |           |

### ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ - 2 СТУПІНЬ

|                                                |                       | Сторона 1     |       | Сторона 2 |
|------------------------------------------------|-----------------------|---------------|-------|-----------|
| Total heat transfer area                       | m <sup>2</sup>        |               | 5.28  |           |
| Питомий тепловий потік                         | kW/m <sup>2</sup>     |               | 5.30  |           |
| СерЛогРізн. Т-р                                | K                     |               | 4.8   |           |
| Overall heat transfer coefficient (необхідний) | W/m <sup>2</sup> ,°C  |               | 1120  |           |
| Втрати тиску - (загальні) *                    | kPa                   | 0.849         |       | 11.3      |
| - в отворах (Вхідний отвір/Outlet)             | kPa                   | -0.223/0.0164 |       | 1.18      |
| Робочий тиск (на виході)                       | kPa                   | 716           |       |           |
| Кількість каналів на 1 хід                     |                       | 44            |       | 45        |
| Кількість пластин                              |                       |               | 90    |           |
| Запас поверхні                                 | %                     |               | 15    |           |
| Коефіцієнт забруднення                         | m <sup>2</sup> ,°C/kW |               | 0.119 |           |
| Діаметр отвору (верх/низ)                      | mm                    | 33.0/33.0     |       | 33.0/33.0 |
| Рекомендований діаметр вхідного патрубка       | mm                    | 14.1 - 31.5   |       |           |
| Рекомендований діаметр вихідного патрубка      | mm                    | 9.16 - 18.3   |       |           |
| Число Рейнольдса                               |                       |               |       | 695.9     |
| Вхідний отвір Портова швидкість                | m/s                   | 4.56          |       | 1.58      |
| Швидкість в каналах                            | m/s                   | 0.475         |       | 0.161     |
| Напруга зсуву                                  | kPa                   |               |       | 0.0177    |
| Найбільша різн. темп. стінки                   | K                     |               | 0.1   |           |
| Min/Макс . температура стінки                  | °C                    | 30.3/35.5     |       | 30.3/35.4 |

\* За виключенням впадіння тиску у патрубках.

### Загальне

|                                    |                 | Сторона 1 |       | Сторона 2 |
|------------------------------------|-----------------|-----------|-------|-----------|
| Загальна вага (Жодних зв'язків)*   | kg              |           | 14.39 |           |
| Об'єм каналів (Внутрішній Circuit) | dm <sup>3</sup> |           | 4.14  |           |
| Estimated refrigerant charge       | kg              |           | 0.98  |           |
| Об'єм каналів (Outer Circuit)      | dm <sup>3</sup> |           | 4.23  |           |
| Розмір отвору F1/P1                | mm              |           | 33    |           |
| Розмір отвору F2/P2                | mm              |           | 33    |           |
| Розмір отвору F3/P3                | mm              |           | 33    |           |
| Розмір отвору F4/P4                | mm              |           | 33    |           |

\*Вага залежить від обраних підключень.

### Розміри

| FRONT | BACK | SIDE | A | mm | 526 ±2          |  |  |  |  |
|-------|------|------|---|----|-----------------|--|--|--|--|
|       |      |      | B | mm | 119 ±1          |  |  |  |  |
|       |      |      | C | mm | 470 ±1          |  |  |  |  |
|       |      |      | D | mm | 63 ±1           |  |  |  |  |
|       |      |      | E | mm | 27 (opt. 45) ±1 |  |  |  |  |
|       |      |      | F | mm | 169.6 ±3%       |  |  |  |  |
|       |      |      | G | mm | 6 ±1            |  |  |  |  |
|       |      |      | R | mm | 23              |  |  |  |  |

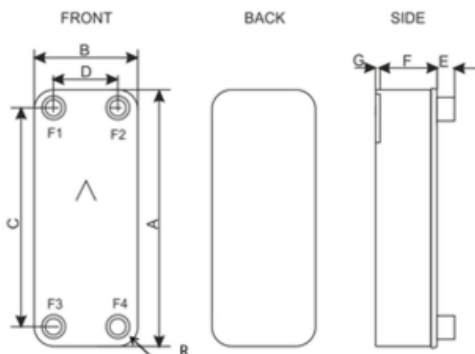


Рис. 10.8. Технічні характеристики конденсатора SWEP B85Hx90/1P

## Випарник - Рейтинг

Теплообмінник: F85Hx96/1P

SWEP DTherm

Дата: 04/11/2021

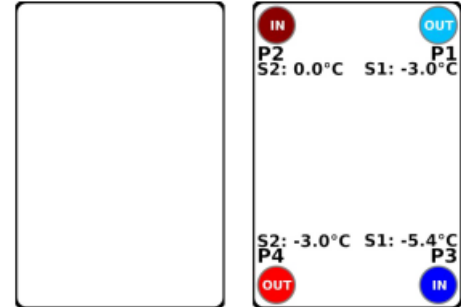
Псевдонім SSP: F85  
дані підключення

Отвір NND Найменування

|    |    |                                   |
|----|----|-----------------------------------|
| P1 | 36 | SOLDER 35.1 AISI 304 (27)         |
| P2 | 36 | ISO-G 1 1/2" (27)                 |
| P3 | 36 | SOLDER 9.65 (CONED) AISI 304 (27) |
| P4 | 36 | ISO-G 1 1/2" (27)                 |

| Місце підключення | Сторона 1 (S1) | Сторона 2 (S2) |
|-------------------|----------------|----------------|
| Вхідний отвір     | P3             | P2             |
| Outlet            | P1             | P4             |

Конфігурація портів



F - Сторона

P - Сторона

## ВИХІДНІ УМОВИ

| Рідина                     | Сторона 1  | Сторона 2  |
|----------------------------|------------|------------|
| Напрямок потоків           | R1234ze(E) | R1234ze(E) |
| Circuit                    | Внутрішній | Outer      |
| Потужність                 | 21.50      |            |
| Темп. переохолодж. рідини. | 37.00      |            |
| Якість пари на вході       | 0.318      |            |
| Якість пари на виході      | 1.000      |            |
| Температура на вході       | -5.4       | 0.0        |
| Випаровування темп (Роси)  | -7.0       |            |
| Перегрів                   | 4.0        |            |
| Темп. на виході            | -3.0       | -3.0       |
| Масова витрата             | 0.1628     | 1.890      |
| • Пари на вході            | 0.05171    |            |
| Рідина випарувана          | 0.1111     |            |

## ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ - 2 СТУПІНЬ

|                                                | Сторона 1   | Сторона 2 |
|------------------------------------------------|-------------|-----------|
| Total heat transfer area                       | 5.64        |           |
| Питомий тепловий потік                         | 3.81        |           |
| СерЛогРіз. Т-р                                 | 4.4         |           |
| Overall heat transfer coefficient (необхідний) | 873         |           |
| Втрати тиску - (загальні)                      | 25.1        | 28.3      |
| - в отворах (Вхідний отвір/Outlet)             | -4.19/2.65  | 2.24      |
| - inlet connections                            | 13.2        | 0.000     |
| - outlet connections                           | 0.0234      | 0.000     |
| Pressure drop in fluid distribution            | 242 - 285   |           |
| Робочий тиск (на виході)                       | 166         |           |
| Кількість каналів на 1 хід                     | 47          | 48        |
| Кількість пластин                              | 96          |           |
| Запас поверхні                                 | 22          |           |
| Коефіцієнт забруднення                         | 0.203       |           |
| Діаметр отвору (верх/низ)                      | 33.0/17.0   | 33.0/33.0 |
| Рекомендований діаметр вхідного патрубка       | 7.28 - 11.5 |           |
| Рекомендований діаметр вихідного патрубка      | 29.3 - 65.6 |           |
| Число Рейнольдса                               |             | 90.33     |
| Outlet port velocity                           | 20.9        | 2.13      |

## ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ - 2 СТУПІНЬ

|                              | Сторона 1 | Сторона 2 |
|------------------------------|-----------|-----------|
| Швидкість в каналах          | 2.04      | 0.203     |
| Напруга зсуву                |           | 0.0457    |
| Найбільша різн. темп. стінки | 0.1       |           |
| Min/Макс. температура стінки | -3.9/-0.6 | -3.9/-0.6 |

## ПРИМІТКИ

- i Pressure drop in distribution device is 2.4 - 2.8 bar.
- i Superheat less than 5 K.

Рис. 10.9. Технічні характеристики випарника SWEP F85Hx96/1P

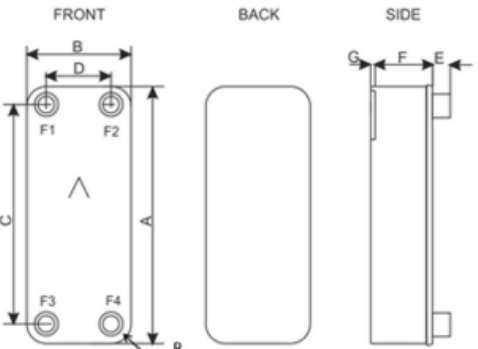
| Загальне                                                                          |                 | Сторона 1 | Сторона 2          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------|
| Загальна вага (Жодних зв'язків)*                                                  | kg              |           | 16.74              |
| Об'єм каналів (Внутрішній Circuit)                                                | dm <sup>3</sup> |           | 4.42               |
| Об'єм каналів (Outer Circuit)                                                     | dm <sup>3</sup> |           | 4.51               |
| Розмір отвору F1/P1                                                               | mm              |           | 33                 |
| Розмір отвору F2/P2                                                               | mm              |           | 33                 |
| Розмір отвору F3/P3                                                               | mm              |           | 33                 |
| Розмір отвору F4/P4                                                               | mm              |           | 33                 |
| *Вага залежить від обраних підключень.                                            |                 |           |                    |
| Розміри                                                                           |                 |           |                    |
|  | FRONT           | A         | mm 526 ±2          |
|                                                                                   | BACK            | B         | mm 119 ±1          |
|                                                                                   | SIDE            | C         | mm 470 ±1          |
|                                                                                   |                 | D         | mm 63 ±1           |
|                                                                                   |                 | E         | mm 27 (opt. 45) ±1 |
|                                                                                   |                 | F         | mm 180.64 ±3%      |
|                                                                                   |                 | G         | mm 6 ±1            |
|                                                                                   |                 | R         | mm 23              |
|                                                                                   |                 |           |                    |

Рис. 10.10. Технічні характеристики випарника SWEP F85Hx96/1P (продовження)

## 10.4 Підбір допоміжного устаткування

Підбір допоміжного устаткування виконуємо за допомогою програмного забезпечення компанії Danfoss - Coolselector®2 v 5.6.6 [25] та отриманих результатів розрахунку циклу.

### 10.4.1. Підбір електронного розширювального вентиля

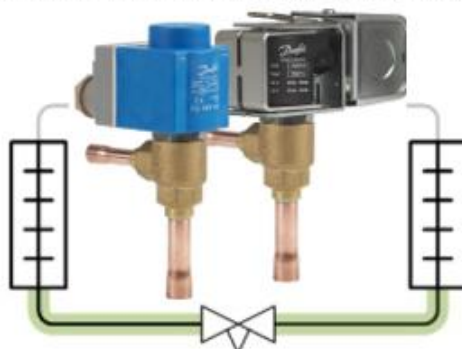
| Умови роботи                                                                         |                                                                                     |                            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------|
| Холодоагент:                                                                         | R1234ze(E)                                                                          | Холодопродуктивність:      | 21,50 kW  |
| Масова витрата в лінії:                                                              | 430,7 kg/h                                                                          | Теплопродуктивність:       | 23,59 kW  |
| Температура кипіння:                                                                 | -7,0 °C                                                                             | Температура конденсації:   | 37,5 °C   |
| Тиск кипіння:                                                                        | 1,660 bar                                                                           | Тиск конденсації:          | 7,156 bar |
| Ефективний перегрів:                                                                 | 29,5 K                                                                              | Переохолодження:           | 0 K       |
| Додатковий перегрів:                                                                 | 0 K                                                                                 | Додаткове переохолодження: | 18,5 K    |
| Темп-ра нагнітання:                                                                  | 76,6 °C                                                                             |                            |           |
| <b>Система і лінія:</b>                                                              | Система безпосереднього охолодження (DX). Рідинна лінія                             |                            |           |
| <b>Критерії вибору:</b>                                                              | Навантаження: 80,00. Падіння тиску у розподільвачі: 0 bar. 20 L. 0 min.<br>PTO: 0,3 |                            |           |
|  |                                                                                     |                            |           |

Рис. 10.11. Умови робота та зовнішній вигляд електронного розширювального вентиля компанії Danfoss модель AKV 10P8

**Таблиця 10.2. Технічні характеристики EPB - AKV 10P8**

| Тип                       | AKV 10P6 | AKV 10P7 | AKV 10P8 |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| NS                        | 10       | 12       | 12       |
| Макс. продуктивність [kW] | 10,42    | 16,87    | 22,76    |
| Мін. продуктивність [kW]  | 1,042    | 1,687    | 2,276    |
| Навантаження [%]          | 206      | 127      | 94       |
| DP Перепад тиску [bar]    | 5,496    | 5,496    | 5,496    |
| Швидкість на вході [m/s]  | 2,01     | 1,59     | 1,59     |

## 10.4.2. Підбір фільтра-осушувача

### Умови роботи

|                         |            |                            |           |
|-------------------------|------------|----------------------------|-----------|
| Холодоагент:            | R1234ze(E) | Холодопродуктивність:      | 21,50 kW  |
| Масова витрата в лінії: | 503,5 kg/h | Теплопродуктивність:       | 28,62 kW  |
| Температура кипіння:    | -7,0 °C    | Температура конденсації:   | 37,5 °C   |
| Тиск кипіння:           | 1,660 bar  | Тиск конденсації:          | 7,156 bar |
| Ефективний перегрів:    | 0 K        | Переохолодження:           | 18,5 K    |
| Додатковий перегрів:    | 29,5 K     | Додаткове переохолодження: | 0 K       |
| Темп-ра нагнітання:     | 58,7 °C    |                            |           |

**Система і лінія:** Система безпосереднього охолодження (DX). Рідинна лінія

**Критерії вибору:** Швидкість: 1,00. 20 L. 0 min. Ефективність РТО: 0,3



**Рис. 10.12. Умови робота та зовнішній вигляд фільтра-осушувача компанії Danfoss модель DML 084**

**Таблиця 10.3. Технічні характеристики фільтра-осушувача DML 084**

| Тип                                    | DML 054 | DML 084 | DML 164 | DML 304 | DML 414 |
|----------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| NS                                     | 12      | 12      | 12      | 12      | 12      |
| Серцевини                              | 1       | 1       | 1       | 1       | 1       |
| Kv [m³/h]                              | 1,85    | 1,89    | 2,32    | 2,86    | 2,95    |
| Kv_розр [m³/h]                         | 1,85    | 1,89    | 2,32    | 2,86    | 2,95    |
| DP Перепад тиску [bar]                 | 0,063   | 0,060   | 0,040   | 0,026   | 0,025   |
| DT_насих. [K]                          | 0,3     | 0,3     | 0,2     | 0,1     | 0,1     |
| Швидкість на вході [m/s]               | 1,22    | 1,22    | 1,22    | 1,22    | 1,22    |
| Осушувальна здатність при 24,0 °C [kg] | 8,547   | 13,67   | 30      | 62,4    | 84,21   |
| Заправка [kg]                          | 0,1006  | 0,135   | 0,2676  | 0,5493  | 0,734   |

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 58   |

### 10.4.3. Підбір реле тиску

Підбираємо реле тиску на всмоктуванні в компресор фірми Danfoss модель KP2 (див. табл. 10.4)

**Таблиця 10.4.** Технічні характеристики реле тиску KP2

| Pressure switch KP2                                             |             |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|
| Холодоагенти:                                                   | R1234ze(E)  |
| Опис продукту:                                                  | Реле тиску  |
| Функція скидання:                                               | Автоматичн. |
| Діапазон регулювання [бар] Pe [Мін.]:                           | 0.20        |
| Діапазон регулювання [бар] Pe [Макс.]:                          | 3.50        |
| Діапазон регулювання [фунт/дюйм <sup>2</sup> надл.] Pe [Мін.]:  | 3.00        |
| Діапазон регулювання [фунт/дюйм <sup>2</sup> надл.] Pe [Макс.]: | 51.00       |
| Макс. робочий тиск [бар]:                                       | 10.0        |
| Функція контакту:                                               | SPDT        |
| Тип підключення тиску:                                          | G           |
| Розмір підключення тиску:                                       | 1/4         |
| Тиск Штекер/Штекер:                                             | Зовнішн.    |
| Клас захисту корпусу IP:                                        | IP30        |

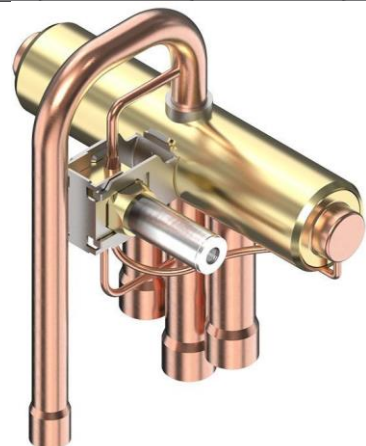
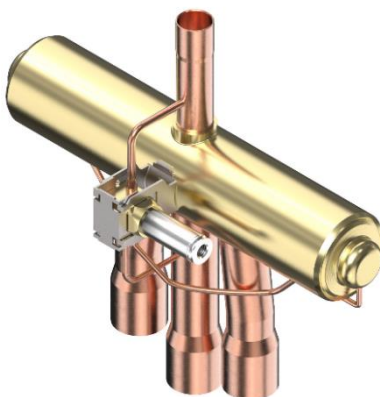


### 10.4.4. Підбір чотириходового вентиля

Підбір 4-х ходового реверсивного клапана здійснюємо на основі діаметрів всмоктуючого та нагнітаючого ліній компресора з урахуванням його продуктивності. З таблиць технічних характеристик вибираємо клапани Danfoss моделі STF-1511G3. Технічні характеристики вказані в табл. 10.5, зовнішній вигляд на рис. 10.13.

**Таблиця 10.5.** Технічні характеристики 4-ходового реверсивного клапану STF-1511G3

| Model number | Discharge |           | Suction |           | Capacity / kW [condition 1] <sup>(1)</sup> |              | Capacity / kW [condition 2] <sup>(2)</sup> |              |
|--------------|-----------|-----------|---------|-----------|--------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------|--------------|
|              | I.D. mm   | O.D. inch | I.D. mm | O.D. inch | Δ p: 0,1 bar                               | Δ p: 0,2 bar | Δ p: 0,1 bar                               | Δ p: 0,2 bar |
| STF-1511G    | 22.50     | 7/8"      | 28.90   | 1 1/8"    | 30.12                                      | 42.39        | 27.82                                      | 39.17        |



**Рис. 10.13.** Зовнішній вигляд 4-ходового реверсивного клапану STF-1511G3

### 10.4.5. Підбір регенеративного теплообмінника

РТО (теплообмінник «труба в трубі») фірми Danfoss модель HE 4.0.

| Умови роботи            |            |                            |           |
|-------------------------|------------|----------------------------|-----------|
| Холодоагент:            | R1234ze(E) | Холодопродуктивність:      | 21,50 kW  |
| Масова витрата в лінії: | 433,4 kg/h | Теплопродуктивність:       | 24,55 kW  |
| Температура кипіння:    | -7,0 °C    | Температура конденсації:   | 37,5 °C   |
| Тиск кипіння:           | 1,660 bar  | Тиск конденсації:          | 7,156 bar |
| Ефективний перегрів:    | 29,0 K     | Переохолодження:           | 18,0 K    |
| Додатковий перегрів:    | 0 K        | Додаткове переохолодження: | 0 K       |
| Темп-ра нагнітання:     | 58,7 °C    |                            |           |

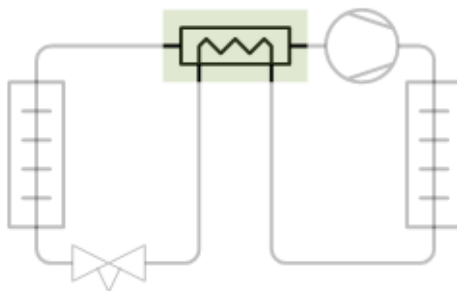
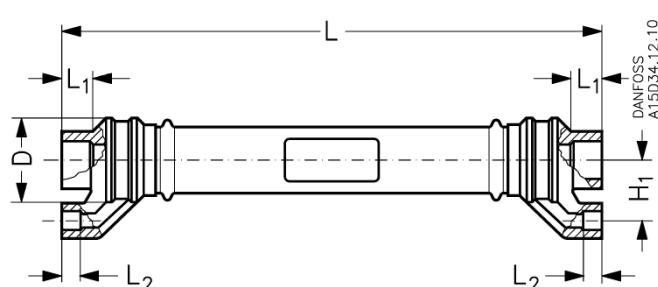


Рис. 10.14. Умови роботи теплообмінника «труба в трубі» HE 4.0.



| Type   | H <sub>1</sub> | L   | L <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | øD   | Net weight |
|--------|----------------|-----|----------------|----------------|------|------------|
| HE 0.5 | 20             | 178 | 10             | 7              | 27.5 | 0.3        |
| HE 1.0 | 25             | 268 | 12             | 9              | 30.2 | 0.5        |
| HE 1.5 | 30             | 323 | 14             | 10             | 36.2 | 1          |
| HE 4.0 | 38             | 373 | 20             | 10             | 48.3 | 1.5        |

Рис. 10.15. Зовнішній вигляд та габаритні розміри теплообмінник HE 4.0.

Таблиця 10.6. Технічні характеристики теплообмінник «труба в трубі» HE 4.0.

| Тип           | HE 8.0 | HE 4.0 | HE 1.5 | HE 1.0 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|
| DT газу [K]   | -0,5   | -0,2   | -0,1   | -0,1   |
| DT рід [K]    | -0,3   | -0,2   | -0,1   | 0,0    |
| DP газу [bar] | 0,056  | 0,254  | 1,718  | 3,356  |
| DP рід [bar]  | 0,070  | 0,184  | 0,184  | 0,786  |
| Q [kW]        | -0,049 | -0,025 | -0,012 | -0,008 |
| NS газ        | 42     | 28     | 18     | 16     |
| NS рід        | 16     | 12     | 12     | 10     |

### 10.4.6. Підбір зворотного клапана

| Умови роботи            |                                                            |                            |           |
|-------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------|
| Холодоагент:            | R1234ze(E)                                                 | Холодопродуктивність:      | 21,50 kW  |
| Масова витрата в лінії: | 430,7 kg/h                                                 | Теплопродуктивність:       | 24,48 kW  |
| Температура кипіння:    | -7,0 °C                                                    | Температура конденсації:   | 37,5 °C   |
| Тиск кипіння:           | 1,660 bar                                                  | Тиск конденсації:          | 7,156 bar |
| Ефективний перегрів:    | 29,5 K                                                     | Переохолодження:           | 18,5 K    |
| Додатковий перегрів:    | 0 K                                                        | Додаткове переохолодження: | 0 K       |
| Темп-ра нагнітання:     | 58,7 °C                                                    |                            |           |
| Система і лінія:        | Система безпосереднього охолодження (DX). Лінія нагнітання |                            |           |
| Критерії вибору:        | Швидкість: 15,00. 20 L. 0 min. Ефективність PTO: 0,3       |                            |           |

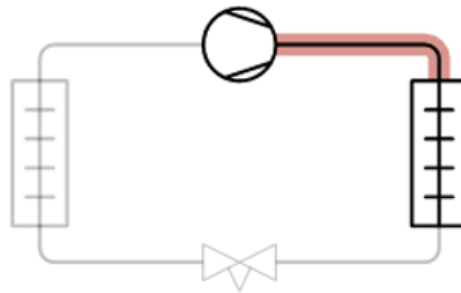


Рис. 10.16. Умови роботи та зовнішній вигляд зворотного клапана Danfoss NRVH 19 v2

Таблиця 10.7. Технічні характеристики зворотного клапана NRVH 19 v2

| Тип                               | NRVH 12 v2 | NRVH 16 v2 | NRVH 19 v2 | NRVH 22 | NRVH 28 |
|-----------------------------------|------------|------------|------------|---------|---------|
| NS                                | 12         | 16         | 18         | 22      | 28      |
| Kv [m³/h]                         | 2,5        | 4          | 6,5        | 8,5     | 16,5    |
| DP_100 [bar]                      | 0,400      | 0,500      | 0,240      | 0,300   | 0,300   |
| DP_min [bar]                      | 0,207      | 0,190      | 0,165      | 0,280   | 0,280   |
| Kv_розр [m³/h]                    | 2,5        | 3,957      | 5,223      | 4,531   | 4,545   |
| DP Перепад тиску [bar]            | 1,087      | 0,377      | 0,209      | 0,282   | 0,280   |
| DT_насич. [K]                     | 5,8        | 1,9        | 1,1        | 1,4     | 1,4     |
| Ступінь відкриття [%]             | -          | -          | -          | -       | -       |
| Навантаження [%]                  | 154        | 87         | 75         | 52      | 27      |
| Можливе часткове навантаження [%] | 6          | 12         | 14         | 39      | 75      |
| Швидкість на вході [m/s]          | 55,58      | 26,64      | 20,01      | 12,47   | 7,20    |

### 10.4.7. Підбір регулятора витрати води

Підбір регуляторів витрати води робимо для кожного теплообмінника, а саме один для конденсатора (рис. 10.17), другий для випарника (рис. 10.18). Технічні характеристики регулятора витрати води наведені у табл. 10.8.

### Умови роботи

Теплопродуктивність: 28,00 kW

Температура на вході: 30,0 °C

Температура на виході: 35,0 °C

Сфера застосування: Конденсатор

Падіння тиску на клапані: 2,000 bar

Густина:

1000 kg/m<sup>3</sup>

Питома теплоємність:

4,19 kJ/(kg·K)

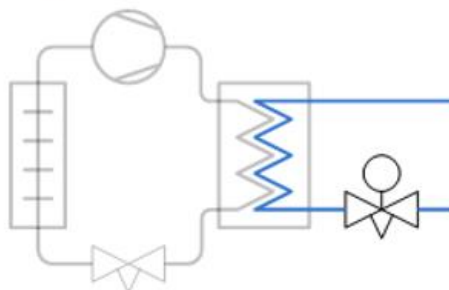


Рис. 10.17. Регулятор витрати води конденсатору Danfoss AVTA25

### Умови роботи

Холодопродуктивність: 21,50 kW

Температура на вході: 0 °C

Температура на виході: -3,0 °C

Сфера застосування: Випарник

Падіння тиску на клапані: 2,000 bar

Густина:

1069 kg/m<sup>3</sup>

Питома теплоємність:

3,51 kJ/(kg·K)

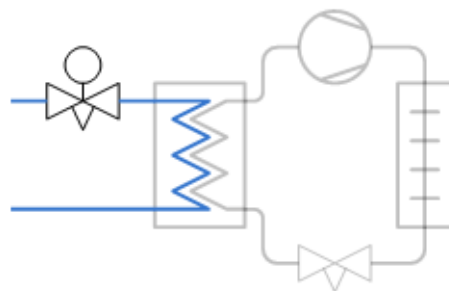


Рис. 10.18. Регулятор витрати води випарника Danfoss AVTA25

Таблиця 10.8. Технічні характеристики регулятора витрати води AVTA25

| Тип                                 | AVTA 15 | AVTA 20 | AVTA 25 |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|
| Kv [m <sup>3</sup> /h]              | 1,9     | 3,4     | 5,5     |
| Об'ємна витрата [m <sup>3</sup> /h] | 4,811   | 4,811   | 4,811   |
| DP Перепад тиску [bar]              | 2,000   | 2,000   | 2,000   |
| Ступінь відкриття [%]               | 179     | 100     | 60      |
| Зміщення [bar]                      | -       | -       | -       |

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

КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3

Арк.

62

#### 10.4.8. Підбір оглядове скло

| Умови роботи                                                             |            |                            |         |         |         |
|--------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------|---------|---------|---------|
| Холодоагент:                                                             | R1234ze(E) | Теплопродуктивність:       | 28,00   | kW      |         |
| Холодопродуктивність:                                                    | 25,52      | Масова витрата в лінії:    | 511,3   | kg/h    |         |
| Температура кипіння:                                                     | -7,0 °C    | Температура конденсації:   | 37,5    | °C      |         |
| Тиск кипіння:                                                            | 1,660 bar  | Тиск конденсації:          | 7,156   | bar     |         |
| Ефективний перегрів:                                                     | 29,5 K     | Переохолодження:           | 0       | K       |         |
| Додатковий перегрів:                                                     | 0 K        | Додаткове переохолодження: | 18,5    | K       |         |
| Темп-ра нагнітання:                                                      | 76,6 °C    |                            |         |         |         |
| Система і лінія: Система безпосереднього охолодження (DX). Рідинна лінія |            |                            |         |         |         |
| Тип                                                                      | SGP 10s    | SGP 12s                    | SGP 16s | SGP 18s | SGP 19s |
| NS                                                                       | 10         | 12                         | 15,88   | 18      | 19,05   |
| Kv [m³/h]                                                                | 1,76       | 2,7                        | 4,58    | 6,96    | 6,96    |
| DP Перепад тиску [bar]                                                   | 0,071      | 0,030                      | 0,011   | 0,005   | 0,005   |
| DT_насич. [K]                                                            | 0,4        | 0,2                        | 0,1     | 0,0     | 0,0     |
| Швидкість на вході [m/s]                                                 | 2,39       | 1,53                       | 0,80    | 0,60    | 0,53    |

Рис. 10.19. Технічні характеристики оглядового скла фірми Danfoss модель SGP 16s

#### 10.4.9. Підбір запірного клапана

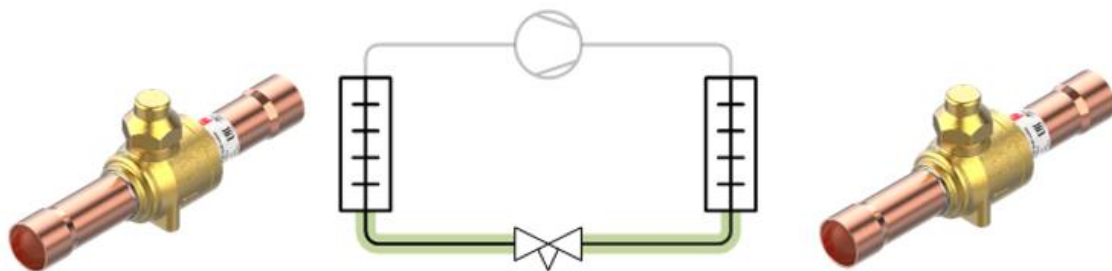
| Умови роботи                                                                         |            |                            |         |         |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------|---------|---------|---------|
| Холодоагент:                                                                         | R1234ze(E) | Теплопродуктивність:       | 28,00   | kW      |         |
| Холодопродуктивність:                                                                | 25,52      | Масова витрата в лінії:    | 511,3   | kg/h    |         |
| Температура кипіння:                                                                 | -7,0 °C    | Температура конденсації:   | 37,5    | °C      |         |
| Тиск кипіння:                                                                        | 1,660 bar  | Тиск конденсації:          | 7,156   | bar     |         |
| Ефективний перегрів:                                                                 | 29,5 K     | Переохолодження:           | 0       | K       |         |
| Додатковий перегрів:                                                                 | 0 K        | Додаткове переохолодження: | 18,5    | K       |         |
| Темп-ра нагнітання:                                                                  | 76,6 °C    |                            |         |         |         |
| Система і лінія: Система безпосереднього охолодження (DX). Рідинна лінія             |            |                            |         |         |         |
| Критерії вибору: Швидкість: 1,00. 20 L. 0 min. Ефективність PTO: 0,3                 |            |                            |         |         |         |
|  |            |                            |         |         |         |
| Тип                                                                                  | SGP 10s    | SGP 12s                    | SGP 16s | SGP 18s | SGP 19s |
| NS                                                                                   | 10         | 12                         | 15,88   | 18      | 19,05   |
| Kv [m³/h]                                                                            | 1,76       | 2,7                        | 4,58    | 6,96    | 6,96    |
| DP Перепад тиску [bar]                                                               | 0,071      | 0,030                      | 0,011   | 0,005   | 0,005   |
| DT_насич. [K]                                                                        | 0,4        | 0,2                        | 0,1     | 0,0     | 0,0     |
| Швидкість на вході [m/s]                                                             | 2,39       | 1,53                       | 0,80    | 0,60    | 0,53    |

Рис. 10.20. Зовнішній вигляд та технічні характеристики запірного клапана фірми Danfoss модель SGP 16s

## 11. ВИБІР ТЕПЛОНОСІЯ

Пропіленгліколь та етиленгліколь широко використовуються як тепло-/холодоносії в системах опалення та кондиціонування. Від води та інших теплоносіїв вони відрізняються вищою температурою закипання і нижчою температурою початку кристалізації, що дозволяє запобігти утворенню пари і льоду в опалювальному контурі при перегріванні або замерзанні.

Істотний недолік етиленгліколевих розчинів – їх токсичність. Неприпустимо їх проникнення в ґрунтові води і в ґрунт, особливо в місцях, де використовується ґрунтове водопостачання і вирощуються сільськогосподарські культури на садовому майданчику. При необережному застосуванні антифриз може потрапити всередину організму, що може призвести до летального результату.

Водні розчини пропіленгліколю не мають токсичності і підходять для використання в опалювальних системах з високими вимогами до екологічності: громадські та житлові будівлі, фармацевтичні, парфумерні, косметичні, харчові виробництва тощо [17].

У табл. 11.1. наведено температури замерзання антифризів залежно від їх масової концентрації у воді.

**Таблиця 11.1.** Водні розчини пропіленгліколю та етиленгліколю (% мас.)

| Розчин              | $t$ зам., °C | Розчин            | $t$ зам., °C |
|---------------------|--------------|-------------------|--------------|
| Пропіленгліколь 30% | -13°C        | Етиленгліколь 30% | -15°C        |
| Пропіленгліколь 35% | -20°C        | Етиленгліколь 35% | -20°C        |
| Пропіленгліколь 40% | -25°C        | Етиленгліколь 40% | -25°C        |

Вибір необхідної і достатньої концентрації пропіленгліколю будемо проводити на основі температури кипіння робочого холодоагенту теплового насоса. Параметри R1234ze в стані насиченої рідини в випарнику представлені в табл. 11.2.

**Таблиця 11.2.** Термодинамічні властивості рідини R1234ze у стані насичення

| ❄ Refrigerant Calculator |       |       |                    |                   |       |           |      |           |           |           |                         |  |
|--------------------------|-------|-------|--------------------|-------------------|-------|-----------|------|-----------|-----------|-----------|-------------------------|--|
| Input                    | T     | p     | v                  | d                 | h     | s         | x    | Cp        | Cv        | В'язкість | Коеф-т теплопровідності |  |
|                          | °C    | bar   | m <sup>3</sup> /kg | kg/m <sup>3</sup> | kJ/kg | kJ/(kg·K) |      | kJ/(kg·K) | kJ/(kg·K) | Pa·s      | W/(m·K)                 |  |
| Bub p                    | -19,3 | 1,000 | 0,0007726          | 1294              | 174,9 | 0,9052    | 0,00 | 1,282     | 0,8699    | 0,000339  | 0,09029                 |  |
| Bub p                    | -17,1 | 1,100 | 0,0007762          | 1288              | 177,8 | 0,9162    | 0,00 | 1,285     | 0,8719    | 0,0003292 | 0,08945                 |  |

З табл. 11.2 видно, що температура кипіння при 1 бар становить -19 °C, проте реле тиску не дозволить знизити тиск на всмоктуванні в компресорі нижче ніж на 1,05...1,1 бар (захист по низькому тиску на всмоктуванні). Відповідно мінімальна досяжна температура кипіння фреону знаходиться в діапазоні -17...-19 °C.

Для подальших розрахунків ґрунтового контуру приймаємо в якості теплоносія водний розчин пропіленгліколю 35% мас.

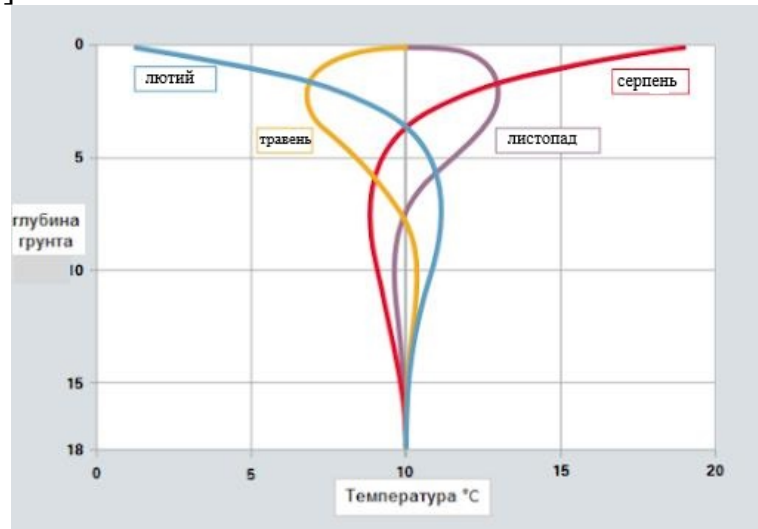
|      |      |          |        |      |                       |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|--|--|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 |  |  | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |  |  | 64   |

## 12. РОЗРАХУНОК ГРУНТОВОГО КОЛЕКТОРУ

Теплові насоси використовують поновлювані джерела енергії: низькопотенційне тепло повітря, ґрунту, підземних, відкритих незамерзаючих водойм, стічних і скидних вод і повітря, а також скидне тепло технологічних підприємств.

Для того щоб зібрати цю теплоту витрачається електроенергія, але відношення кількості одержуваної теплової енергії до кількості затрачуваної електричної становить близько 3...7 разів.

Ґрунтові теплові насоси набули широкого поширення через мінімальну зміну температури ґрунту на протязі року. Так вже на глибині 2 метрів температура ґрунту коливається від 7 до 13°C (див. рис. 12.1.) згідно даних наведених у ДСТУ Б В.2.5-44:2010 [17].



**Рис. 12.1.** Графік розподілу температури залежно від глибини ґрунту

При використанні вертикальних свердловин глибиною від 20 до 100 м в них занурюються U-подібні пластикові труби. Такі теплообмінники ще називають зондами. Зонд – дві або чотири труби, спаяні в нижній точці спеціальним наконечником, по одній (двох) трубах рідина опускається в зонд, по другій (другій парі труб) піднімається в тепловий насос (рис. 12.2).



**Рис. 12.2.** Зовнішній вигляд ґрунтових U-подібних теплообмінників - зондів

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 65   |

Найбільш широко застосовуються труби діаметром 32 або 40 мм. Як правило, в одну свердловину вставляється дві петлі, з заливанням бентонітового розчину. В середньому питома знімання такого зонда можна прийняти рівним 50 Вт/м.п.

У нашому випадку задані кам'яні породи з високою теплопровідністю які мають тепловідвід - 70 Вт/м.

Температура ґрунту на глибині понад 18 м постійна і становить приблизно +10°C (рис. 12.1). Відстань між свердловинами повинна бути більше 5 м. При наявності підземних течій, свердловини повинні розташовуватися на лінії, перпендикулярній потоку. Підбір діаметрів труб проводиться виходячи з втрат тиску для необхідної витрати теплоносія. Розрахунок витрати рідини будемо проводитися для  $t = 7^\circ\text{C}$ . В якості теплоносія первинного контуру будемо використовувати розчин пропіленгліколю з точкою замерзання приблизно  $-13^\circ\text{C}$  (концентрація 30 %, див. табл. 12.1.).

Розрахунок параметрів первинного (ґрунтового) контуру:

Витрата теплоносія в режимі опалення, коли гліколевий теплообмінник теплового насосу працює як випарник (відбирає тепло від «ґрунту»):

$$V_s = Q_o \cdot 3600 / (\rho \cdot c_p \cdot \Delta t) = 6,55 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (12.1)$$

де

$Q_o = 21,5 \text{ кВт}$  – теплова потужність, що отримується від низькопотенційного джерела (ґрунт);

$\rho = 1038 \text{ кг/м}^3$  – густина пропіленгліколю 30%;

$c_p = 3,792 \text{ кДж/кгК}$  – теплоємність пропіленгліколю 30%;

$\Delta t = 0 - (-3) = 3 \text{ К}$  – різниця температур між лініями подачі та возврату.

Витрата теплоносія в режимі кондиціювання, коли гліколевий теплообмінник теплового насосу працює як конденсатор (віддає тепло в «ґрунт»):

$$V_s = Q_k \cdot 3600 / (\rho \cdot c_p \cdot \Delta t) = 8,51 \text{ м}^3/\text{год}, \quad (12.2)$$

де

$Q_k = 28 \text{ кВт}$  – теплова потужність, що передається до низькопотенційного джерела (ґрунту);

$\rho = 1034 \text{ кг/м}^3$  – густина пропіленгліколю 30%;

$c_p = 3,819 \text{ кДж/кгК}$  – теплоємність пропіленгліколю 30%;

$\Delta t = 10 - 7 = 3 \text{ К}$  – різниця температур між лініями подачі та возврату.

Обираємо найбільший показник витрати теплоносія:  $V_s = 8,51 \text{ м}^3/\text{год}$ .

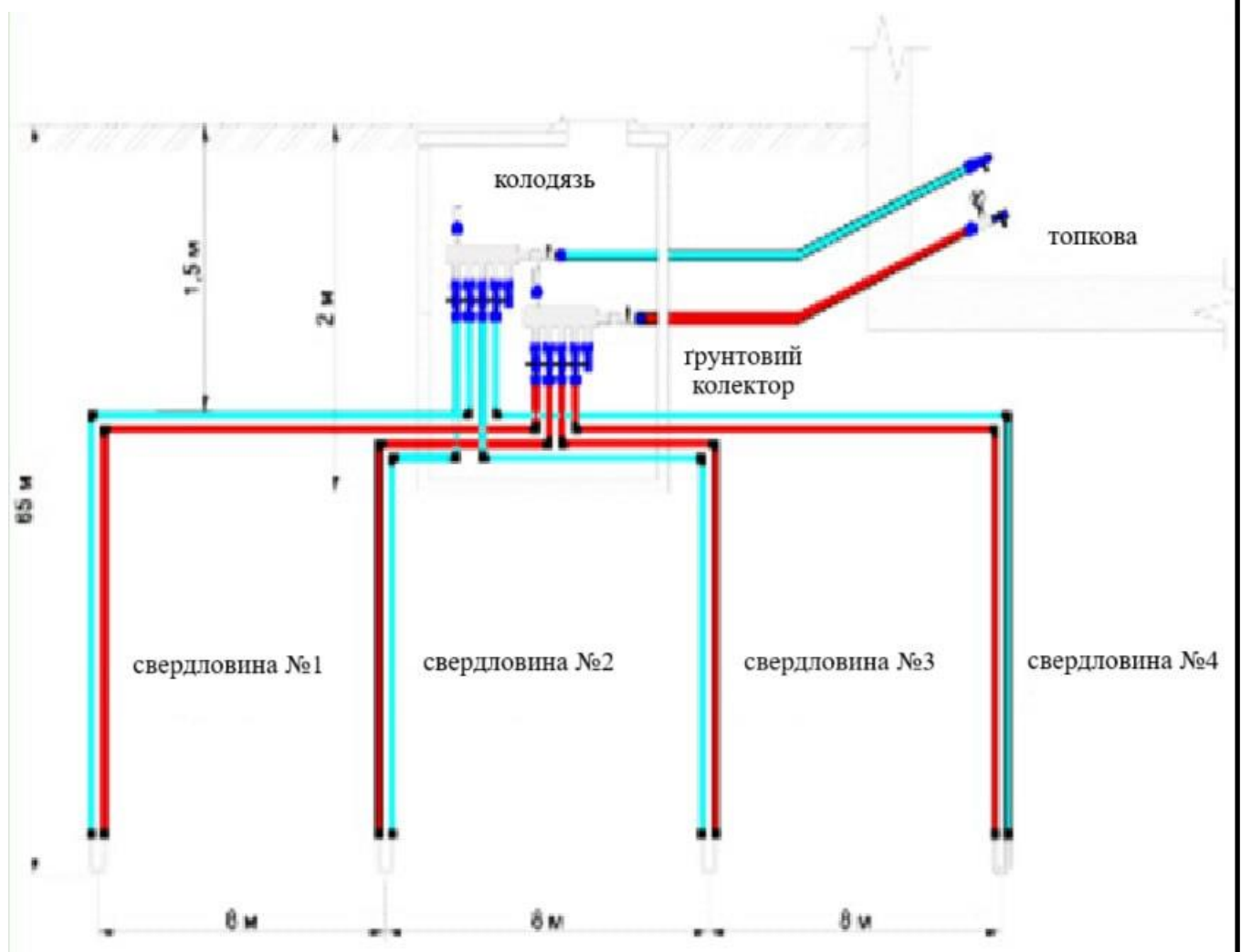
Сумарна довжина труб колектора  $L$  розраховується за формулами:

$$L_o = Q_o / q = 21500 / 70 = 307 \text{ м}, \quad (12.3)$$

$$L_k = Q_k / q = 28000 / 70 = 400 \text{ м}. \quad (12.4)$$

Якщо глибину однієї вертикальної свердловини прийняти 80 м то потрібно набурити від 4 до 5 свердловин із запасом, тому приймаємо для розрахунків 4 свердловини з кроком розташування на відстані друг від друга 6...8 м (див. рис. 12.3).

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 66   |



**Рис. 12.3.** Розташування ґрунтових свердловин (зондів)

Колектор ґрунтового контуру з витратомірами розташовується у колодці на глибині 1,5...2 м та можуть бути горизонтальним або вертикальним в залежності від зручності монтажу, доступу обслуговування та прокладання зондів (рис. 8.4).



**Рис. 12.4.** Зовнішній вигляд ґрунтового колектора

Для розрахунку ґрунтового колектора необхідно визначитись з діаметрами зондів. Для ґрунтових теплообмінників застосовують поліпропіленові труби PP-R, характеристики яких наведені в табл. 12.1.

Витрата теплоносія через один ґрунтовий теплообмінник (зонд) складе:

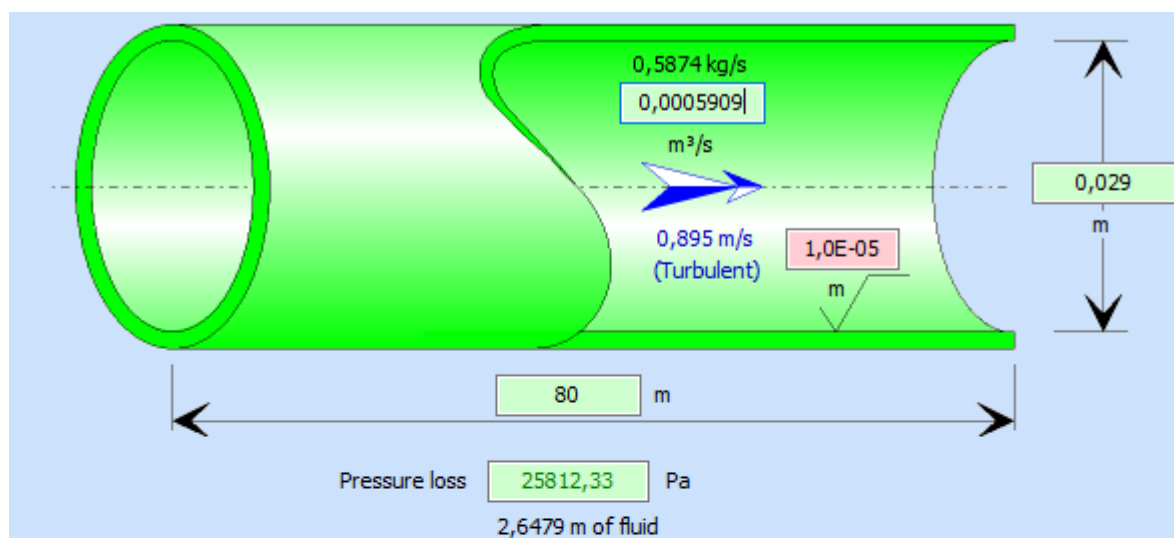
$$V_{s1} = V_s / 4 = 8,51 / 4 = 2,127 \text{ м}^3/\text{год} = 0,000591 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (12.5)$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 67   |

Гідравлічний розрахунок будемо виконувати для труби PP-R SDR 7,4 (PN16) з номінальним зовнішнім діаметром 40 мм (внутр. діаметр 29 мм) за допомогою програми HydrauCalc version 2024a [26]. Результати розрахунку показані на рис. 12.5.

**Таблиця 12.1.** Характеристики поліпропіленових труб PP-R для ґрунтового контуру

| Номінальний зовнішній діаметр | Номінальна товщина стінки труб з PP-R |              |                |
|-------------------------------|---------------------------------------|--------------|----------------|
|                               | SDR 5 (PN25)                          | SDR 6 (PN20) | SDR 7,4 (PN16) |
| 20                            | 4,1                                   | 3,4          | 2,8            |
| 25                            | 5,1                                   | 4,2          | 3,5            |
| 32                            | 6,5                                   | 5,4          | 4,4            |
| 40                            | 8,1                                   | 6,7          | 5,5            |
| 50                            | 10,1                                  | 8,3          | 6,9            |
| 63                            | 12,7                                  | 10,5         | 8,6            |
| 75                            | 15,1                                  | 12,5         | 10,3           |
| 90                            | 18,1                                  | 15           | 12,3           |
| 110                           | 22,1                                  | 18,3         | 15,1           |
| 125                           | 25,1                                  | 20,8         | 17,1           |
| 140                           | 28,1                                  | 23,3         | 19,2           |
| 160                           | 32,1                                  | 26,6         | 21,9           |



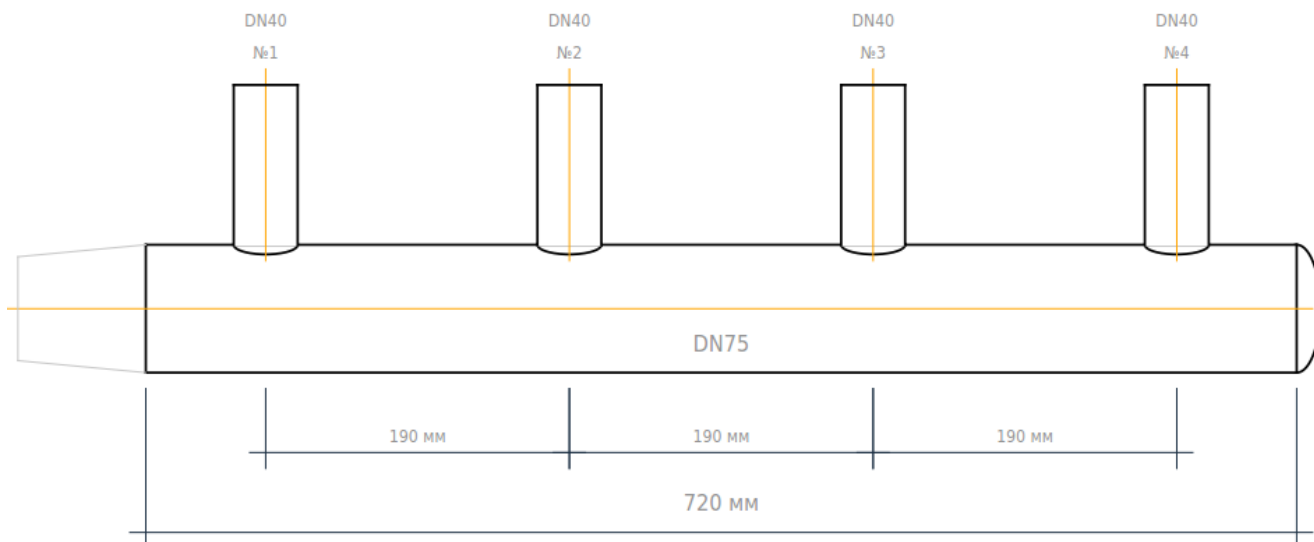
complementary results

| Designation                                                 | Symbol    | Value        | Unit |
|-------------------------------------------------------------|-----------|--------------|------|
| Hydraulic diameter                                          | Dh        | 0,029        | m    |
| Pipe cross-section area                                     | F0        | 0,0006605198 | m²   |
| Internal pipe volume                                        | V         | 0,05284159   | m³   |
| Mass of fluid in the pipe                                   | M         | 52,52657     | kg   |
| 'Length / Diameter' ratio                                   | l/D0      | 2758,621     |      |
| Relative roughness                                          | $\Delta$  | 0,0003448276 |      |
| Reynolds number                                             | Re        | 35861,14     |      |
| Darcy friction factor                                       | $\lambda$ | 0,02352371   |      |
| Pressure loss per length unit                               |           | 322,6541     | Pa/m |
| Pressure loss coefficient (based on the mean pipe velocity) | $\zeta$   | 64,89298     |      |
| Hydraulic power loss                                        | Wh        | 15,25251     | W    |

**Рис. 12.5.** Результати розрахунків гідравлічного опору труби PP-R SDR 7,4

Обрана поліпропіленова труба для теплообмінника ґрунтового контуру діаметром 40 мм (SDR 7,4) відповідає усім вимогам: турбулентний режим течії, що збільшує тепловідвід, швидкість потоку менше 1 м/с, гідравлічний опір у межах норми 26 кПа .

Діаметр колектора визначається як сума живого перетину всіх труб, що входять до нього. Номінальний діаметр, найближчий до мінімального значення, склав DN75 (табл. 12.1). Схематичний вигляд колектору зображено на рис. 12.6.



**Рис. 12.6.** Результат розрахунку колектора – труба PP-R SDR 7,4 DN75

Використовуючи онлайн-програму підбору насосів WILO [15], підберемо циркуляційний насос для ґрунтового контуру.

Вихідні дані:

Теплоносій: пропіленгліколь 30%

Температура: -3 °C

Витрата: 8,51 м³/год або 142 л/хв

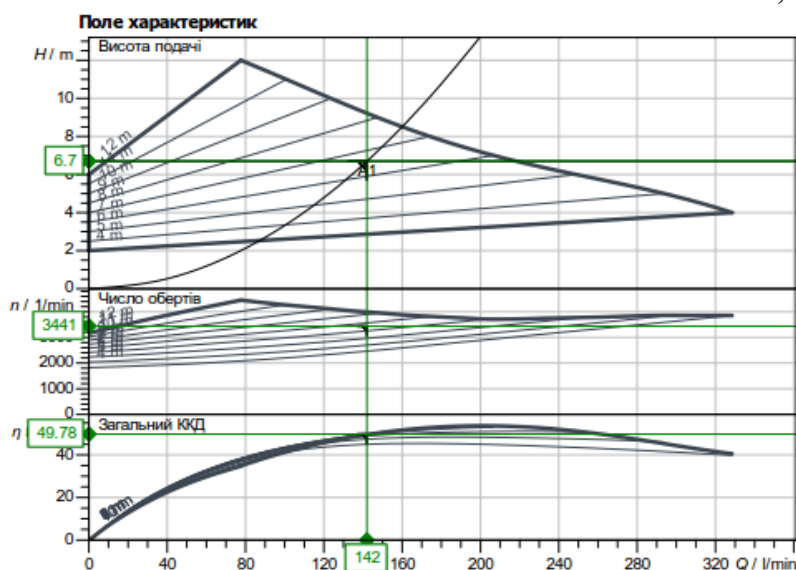
Сумарний опір: 6,7 м

(з урахуванням теплообмінника випарника і ґрунтового контуру)

Зовнішній вигляд та технічні характеристики підбраного циркуляційного насосу ґрунтового контуру Yonos MAXO 40/0,5-12 показані на рис. 12.7. та 12.8.



Рис. 12.7. Зовнішній вигляд циркуляційного насосу ґрунтового контуру Yonos MAXO 40/0,5-12



**Задані експлуатаційні дані**

|                        |                      |
|------------------------|----------------------|
| Подача                 | 142.00 l/min         |
| Висота подачі          | 6.70 m               |
| Media                  | Пропіленгліколь 30 % |
| Температура середовища | -3.00 °C             |
| Густина                | 1036.86 kg/m³        |
| Кінематична в'язкість  | 10.49 mm²/s          |

**Гідравлічні дані (робоча точка)**

|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| Подача                  | 142.00 l/min |
| Висота подачі           | 6.70 m       |
| Споживана потужність P1 | 0.32 kW      |

**Дані виробів**

|                                                                                 |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Стандартний високоефективний насос з мокрим ротором Yonos MAXO 40/0,5-12 PN6/10 |                    |
| Режим роботи                                                                    | dp-v               |
| Макс. робочий тиск                                                              | 10 bar             |
| Температура середовища                                                          | -20 °C ... +110 °C |
| Макс. Т довкілля                                                                | 40 °C              |
| Minimum suction head at 50 / 95 / 110°C                                         | 5 / 12 / 18        |

**Дані двигуна/насоса**

|                                        |                         |
|----------------------------------------|-------------------------|
| Конструкція двигуна                    | ЕС-двигун               |
| Індекс енергетичної ефективності (IE1) |                         |
| Під'єднання до мережі                  | 1~230 V / 50 Hz         |
| Допустиме відхилення напруги           | +/-10 %                 |
| Макс.швидкість                         | 4600 1/min              |
| Споживана потужність P1                | 0.55 kW                 |
| Current consumption                    | 2.4 A                   |
| Клас захисту                           | IPX4D                   |
| Клас ізоляції                          | F                       |
| Захист двигуна                         | Внутрішній захист від і |
| Електромагнітна сумісність             |                         |
| Випромінювання перешкод                | EN 61800-3;2004+A1      |
| Стійкість до перешкод                  | EN 61800-3;2004+A1      |
| Різьбове кабельне з'єднання            | 2 x M20x1.5             |

**Розміри під'єднання**

|                        |                |
|------------------------|----------------|
| Зі всмоктуючої сторони | DN 40, PN 6/10 |
| Зі сторони напору      | DN 40, PN 6/10 |
| Монтажна довжина       | 250 mm         |

**Матеріали**

|                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| Корпус насоса       | 5.1301/EN-GJL-250 |
| Робоче колесо       | PPS-GF40          |
| Вал                 | 1.4028            |
| Матеріал підшипника | рафіт             |

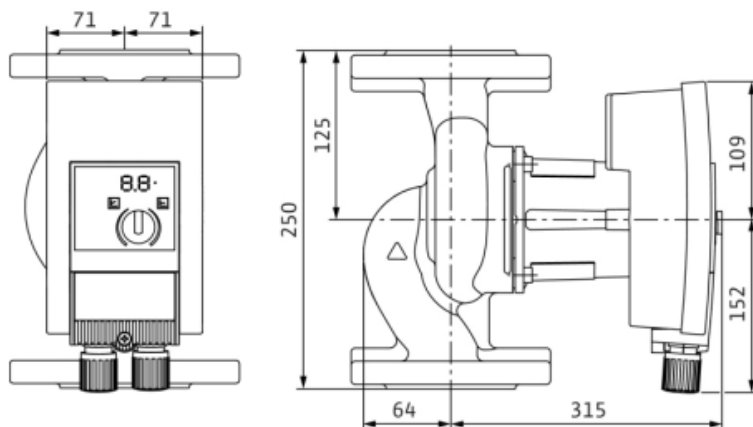


Рис. 12.8. Технічні характеристики циркуляційного насосу ґрунтового контуру моделі Yonos MAXO 40/0,5-12

### 13.ОХОРОНА ПРАЦІ

Стандарт EN 378-1:2008+A2:2012 визначає вимоги безпеки і охорони навколишнього середовища на етапах проектування, виробництва, будівництва, монтажу, експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і утилізації холодильних систем і установок по відношенню до навколишнього середовища в приміщеннях і навколишньому середовищу в цілому. Поняття «холодильна система», що використовується в цьому стандарті, включає в себе теплові насоси.

Можливі ризики, які існують в холодильній техніці, перераховані нижче. Крім того, при аналізі ризиків доцільно брати до уваги стандарти EN ISO 12100-1 та EN ISO 12100-2, в яких перераховані ризики машин і устаткування, не охоплені цим стандартом.

Метою цього стандарту є зниження ймовірності виникнення потенційних аварій з боку холодильних установок і холодоагентів зі збитком для життя і здоров'я людей, майна та навколишнього середовища. Ці аварії головним чином можуть бути обумовлені фізико-хімічними властивостями холодоагентів, а також дією тисків і температур, що виникають в процесі реалізації холодильних циклів.

Недостатність запобіжних заходів може призвести:

- до руйнування окремих елементів системи, в тому числі вибухового характеру з подальшою можливістю розльоту осколків;

- викиду холодоагенту з ризиком заподіяння шкоди або шкодинавколишньому середовищу, отруєння атмосфери токсичними речовинами через поломки, виток, викликаної поганою конструкцією, неправильною експлуатацією, технічним обслуговуванням, ремонтом, заправкою або неправильної утилізацією;

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 71   |

-займання (загоряння) холодоагенту з небезпекою виникнення пожежі і в тому числі з ризиком утворення токсичних продуктів горіння горючих холодоагентів.

Непрямий вплив на екологічні показники надає вартість системи. Додаткові інвестиції можуть бути спрямовані на зниження величини витоків холодоагенту, підвищення енергоефективності, зміна конструкції для отримання можливості використання інших холодоагентів. Тільки аналіз типового життєвого циклу системи дозволяє виявити ключові позиції, при яких додаткові інвестиції можуть привести до досягнення більш вигідних результатів.

Небезпеки, обумовлені величинами тиску і температури в холодильних системах, в основному виникають внаслідок одночасної присутності в холодильному контурі рідкої і газоподібної фаз холодоагенту. Крім того, ступінь впливу холодоагенту на різні компоненти системи залежить не тільки процесів і параметрів всередині установки, але також і від зовнішніх факторів.

Перелік небезпек представлений таким списком:

а)прямий вплив екстремальних температур, наприклад: розтріскуванняматеріалів при низькій температурі; замерзання рідини в замкнутому просторі (вода, розсіл і т. д.); термічні напруги; об'ємні деформації при зміні температури; несприятливий вплив низьких температур на людей; дотик до гарячих поверхонь;

б)вплив надмірного тиску в результаті, наприклад: підвищення тиску конденсації внаслідок недостатнього охолодження, парціального тиску неконденсованих газів, накопичення масла або холодоагенту в рідкій фазі; підвищення тиску насиченої пари через надмірне зовнішнього нагріву, наприклад, в установці для охолодження рідини,

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 72   |

при відтайці повітроохолоджувача або при високій температурі довкілля під час стоянки системи; теплового розширення рідкого холодоагенту в замкнутому просторі під час відсутності газової подушки при підвищенні зовнішньої температури; пожежі;

с) безпосередній вплив рідини, наприклад: надмірна заправка або затоплення обладнання; потрапляння рідкої фази в компресор внаслідок підсмоктування або конденсації парів холодоагенту в компресорі; гідравлічний удар в трубах; погане змащення через розрідження масла; кавітація;

д) витоку холодоагенту, наприклад: пожежа; вибух; токсичність, включаючи продукти горіння; обмороження шкіри; задуха; паніка; руйнування озонового шару; парниковий ефект;

е) обертові частини механізмів, наприклад: поранення; втрата слуху через надмірного шуму; пошкодження, викликані вібраціями.

Слід також звернути увагу на небезпеку, загальні для всіх компресорних систем, такі як висока температура нагнітання, гідравлічний удар, неправильне поводження і зниження механічної міцності, викликане корозією, ерозією, термічним напруженням, вібрацією або гідравлічними ударами.

Особливу увагу слід звернути на корозію в холодильних системах, оскільки такі системи працюють в специфічних умовах поперемінних циклів «заморожування - відтавання», і обладнання, закритого теплоізоляцією.

За рівнем токсичності холодоагенти відносять до однієї з двох груп - А чи В - в залежності від рівня допустимої концентрації при тривалому впливі:

Група А (низька токсичність): холодоагенти, при середній концентрації яких у повітрі робочої зони, яка дорівнює або більша 400 мл / м3 (400 частин на мільйон за обсягом), відсутній шкідливий вплив майже на всіх працюючих, які можуть піддаватися впливу холодоагенту день у день протягом 8-годинну робочого дня при 40-годинному робочому тижні;

Група В (висока токсичність): холодоагенти, при середній концентрації яких у повітрі робочої зони нижче 400 мл / м3 (400 частин на мільйон за обсягом) відсутній шкідливий вплив майже на всіх працюючих, які можуть піддаватися впливу холодоагенту день у день протягом 8 - годинного робочого дня при 40-годинному робочому тижні.

За займистості холодоагенти відносять до одного з трьох класів - 1, 2 або 3 - в залежності від результатів випробувань займистості. Сумішеві холодоагенти займистістю класифікують на основі аналізу результатів процесу розкладання суміші на фракції і визначення найгіршої рецептури по займистості.

Клас 1 (негорючі холодоагенти) До першого класу відносять індивідуальні речовини, використовувані в якості холодоагентів, які не здатні до поширення полум'я в ході випробувань на відкритому повітрі при температурі речовини 60 ° С і тиску 101,3 кПа.

Сумішеві холодоагенти відносять до першого класу, якщо фракції, які утворюються в результаті процесу розкладання суміші СРН, не здатні до поширення полум'я в ході випробувань на відкритому повітрі при температурі речовини 60 ° С і тиску 101,3 кПа.

Клас 2 (трудногорючі холодоагенти) До другого класу відносять індивідуальні речовини, використовувані в якості холодоагентів, при виконанні наступних трьох умов:

-здатність до поширення полум'я в ході випробувань на відкритому повітрі при температурі речовини 60 ° С і тиску 101,3 кПа;

-значення НКМЗ не менше 3,5% за обсягом; -теплота згоряння менш 19000 кДж / кг.

Сумішеві холодоагенти відносять до другого класу при виконанні наступних трьох умов:

-фракції, які утворюються в результаті процесу розкладання суміші СРН-НКМЗ, здатні до поширення полум'я в ході випробувань на відкритому повітрі при температурі речовини 60 ° С і тиску 101,3 кПа;

-фракції, які утворюються в результаті процесу розкладання суміші СРН-НКМЗ, мають значення НКМЗ більше 3,5% за обсягом; - суміш з номінальною рецептурою має теплоту згоряння менш 19000 кДж / кг.

Клас 3 (горючі холодоагенти) До третього класу відносять індивідуальні речовини, використовувані в якості холодоагентів, при виконанні наступних двох умов:

-здатність до поширення полум'я в ході випробувань на відкритому повітрі при температурі речовини 60 ° С і тиску 101,3 кПа; - значення НКМЗ не менше 3,5% за обсягом або теплота згоряння не менше 19000 кДж / кг.

Основні вимоги до конструкції сосуда наступні: надійність, безпека в експлуатації, можливість проведення оглядів, очистки, промивання та ремонту.

Випробовування на міцність та щільність проводимо повітрям. Тиск поетапно збільшуючи із зупинками через 0,3МПа. На стороні нагнітання - тиск 2,5МПа, а на стороні всасування – 2МПа. Тиск утримуємо протягом 5хв. після чого знижуємо до максимального робочого. на стороні нагнітання – 2МПа, на стороні всасування – 1,6МПа утримуємо протягом 15годин. У перші три години здійснюється вирівнювання температури та тиску. Наступні 12годин не припускається зміна тиску по манометру класу 1,5 , після цього систему вакуумуємо до залишкового тиску 5,3КПа і утримуємо протягом 18 годин. В перші 6 годин припускається підвищення тиску, але не вище ніж на 50% від початкового вакуумування.

Розрахунок та підбір запобіжного клапану.

Апарати та сосуди із безпосереднім охолодженням мають пружинні запобіжні клапани у відповідності з вимогами «правил устрою та безпечної експлуатації судів, що працюють під тиском». Установка запорної арматури між апаратом та запобіжним клапаном заборонена. Необхідна установка переключаючогося вентиля із двома запобіжними клапанами.

Випуск холодильного агента в атмосферу через запобіжний клапан виконуємо за допомогою трубопроводу, виведеного на один метр вище конька даху самої високої будівлі у радіусі 50 метрів від лабораторії.

Пропускную спроможність клапана вибираємо із врахуванням максимально можливого утворення в суді та надходженню до нього пару з живильного джерела, при відсутності розходу із сосуда.

$$M = \mu \cdot F \cdot \beta \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (P_1 - P_2)},$$

де  $\mu=0,6$  – коефіцієнт розходу;

$F$  – площа перерізу клапану, м<sup>2</sup>;

$\beta$  – коефіцієнт, залежний від показника адіабати;

$\rho$  – щільність середовища для параметрів  $n$  та  $t_1$ ;

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 76   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

$P_1$  – максимальний абсолютний тиск перед запобіжним клапаном, Па;

$P_2 = 0,1 \cdot 10^6$  – тиск поза запобіжним клапаном, Па.

Площа перерізу клапана (для компресора верхнього каскаду):

$$F = \frac{M}{\mu \cdot \beta \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (P_1 - P_2) \cdot 10^6}}, \text{ м}^2$$

$$F = \frac{0,394}{0,6 \cdot 0,92 \cdot \sqrt{2 \cdot 6,08 \cdot (0,299 - 0,1) \cdot 10^6}} = 0,4588 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Діаметр необхідного проходу.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,4588 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,024 \text{ м, приймаємо } d_y = 30 \text{ мм.}$$

Площа перерізу клапана (для компресора нижнього каскаду):

$$F = \frac{M}{\mu \cdot \beta \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (P_1 - P_2) \cdot 10^6}}, \text{ м}^2$$

$$F = \frac{0,394}{0,6 \cdot 0,92 \cdot \sqrt{2 \cdot 14,28 \cdot (0,6 - 0,1) \cdot 10^6}} = 0,188 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Діаметр необхідного проходу.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,188 \cdot 10^{-3}}{3,14}} = 0,0155 \text{ м, приймаємо } d_y = 20 \text{ мм.}$$

Не рідше одного разу на 12 місяців запобіжні клапани перевіряємо на стенді на спрацювання, а потім опломбовуємо.

Контрольно-вимірювальні прилади.

В приміщенні лабораторії використовуємо манометри класу точності 1,5 і встановлюємо їх таким чином щоб виключити вібрацію та щоб їх показники було чітко видно, циферблат розташовуємо вертикально або з нахилом в перед до 30°.

Манометри і мановакуметри, встановлені на висоті 3-5 метрів від рівня обслуговування мають діаметр не менш 0,2 метрів. Усі встановлені манометри опломбовані та мають тавро перевірки. Перевірка манометрів здійснюється щорічно. Терміни держперевірки – 1 рік.

Організація безпечної експлуатації холодильної установки лабораторії.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 77   |

До обслуговують холодильну установку особи, не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд та які мають свідоцтво про закінчення спеціального учбового закладу або курсів:

- по експлуатації холодильної установки;
- для слюсарів КВП (контрольно-вимірювальні прилади) та автоматики;
- по автоматизації холодильної установки.

До самостійного обслуговування холодильної установки машиністи допускаються тільки після проходження стажування терміном не менше 1 місяця, в результаті якого вони опановують обслуговування конкретної установки та підтримці нормальних режимів її роботи та відповідної перевірки знань.

Стажування проводиться досвідчені наставники. Допуски до стажування та самостійної роботи здійснюються розпорядженням по лабораторії. Персонал, працюючий в лабораторії проходить інструктаж з охорони праці.

Заправка холодильних установок холодильним агентом.

Перед заповненням холодильної установки холодильним агентом перевіряємо, щоб в балоні містився відповідний холодильний агент. Перевірка проводимо по величині тиску пари холодильного агенту при температурі балона , рівній температурі навколишнього повітря. Перед перевіркою балон знаходиться в даному приміщенні не менше 6 годин. Залежність тиску холодильного агенту від температури навколишнього повітря перевіряється по таблиці насиченої пари.

Забороняється заповнювати холодильну установку холодильним агентом, що не має документації, підтверджуючої його якість.

Відкриваємо колпачкову гайку на вентилі балона в захисних окулярах. При цьому вихідний отвір вентиля балона має бути направлений убік від працівника. .

Не допускається залишати балони з холодильним агентом, приєднаними до холодильної установки, якщо не виконується заповнення або видалення з неї холодильного агенту.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 78   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

Електричну пожежну сигналізацію складаємо установлені на ділянках і цехах лабораторії оповіщувачі, з допомогою котрих сигнал передається на пункт зв'язку, пожежної частини.

Теплові оповіщувачі працюють при підвищенні температури оточуючого середовища. Приймальна станція, отримавши сигнал з оповіщувача перетворює його у звукові та світлові сигнали.

#### Пожежний інвентар.

На території лабораторії встановлюються спеціальні пожежні щити з набором засобів первинного пожежотушіння:

- вогнегасник пінний – 2 шт.;
- вогнегасник вуглекислотний – 1 шт.;
- ящик з піском ( $V=0,1 \text{ м}^3$ ) та лопата;
- багор;
- відро;
- лом;
- щільне полотно (волок, асбест).

Для гасіння пожеж у початкової стадії застосовуємо пінні хімічні вогнегасники. Промисловість випускає вогнегасник ВХП-10 (вогнегасник хімічний пінний, модель 10).

Забороняється застосовувати цей тип вогнегасника для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, так як утворена піна електропровідна. Час роботи вогнегасника 60-65секунд.

Вуглекислотні вогнегасники застосовуємо для гасіння пожеж у електроустановках, що знаходяться під напругою.

Промисловість випускає вогнегасники ВВ-2, ВВ-5, ВВ-8 (вогнегасник вуглекислотний місткістю 2, 5 та 8 літрів).

Порошкові вогнегасники застосовуємо для гасіння горючої рідини та електроустановок, що знаходяться під напругою. Промисловість випускає порошкові вогнегасники трьох типів ВП-1 «Спутник», ВП-1Б Момент та ВПЕ-10. Дія вогнегасника 20-50секунд.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 79   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

### Заземлення.

Захисне заземлення – намірене з'єднання з землею металевих частин обладнання, яке не знаходиться під напругою у звичайних умовах, але які можуть опинитися під напругою в результаті порушення ізоляції електроустановки. Опір ізоляції не менше 0,5 МОм.

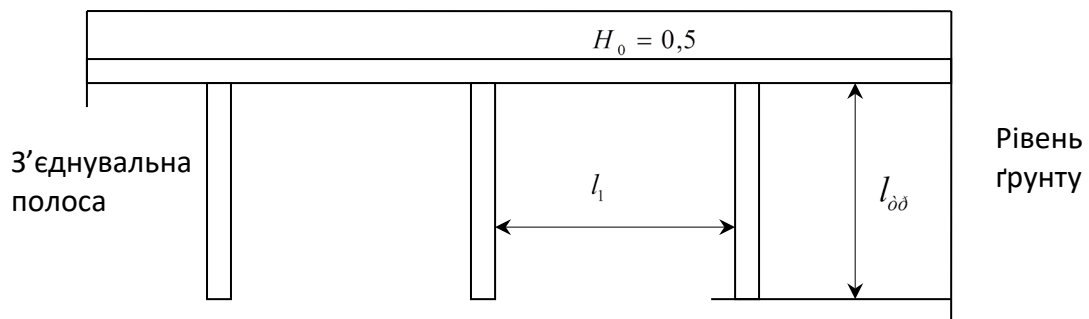
Ідея захисного заземлення складається в тому, що при появі на металевих частинах об'єкта, який захищається, створити основний шлях для утічки струму в землю не через тіло людини, а через заземлюючий провід.

В якості заземлюючих проводів використовують спеціальні провідники.

Для визначення технічного стану заземлюючих пристроїв здійснюємо огляди, при яких перевіряємо наявність електричного кола між заземленим обладнанням та заземлювачем і вимірюємо опір заземлюючих пристроїв, не рідше одного разу на рік. Гранично припустимий опір заземленого пристрою в установках з напругою до 1000В не перевищує 4Ом.

Розрахунок заземлюючого обладнання.

Схема системи заземлення.



1. Визначимо дійсний опір ґрунту:

$$\rho_{\alpha\delta} = \rho_{\delta\delta} \cdot \varphi, \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

де  $\rho_{\delta\delta} = 0,4 \cdot 10^2$  – фізичний опір ґрунту;

$\varphi$  – кінетичний коефіцієнт,  $\varphi = 1 \div 2$ , обираємо  $\varphi = 1,1$ .

$$\rho_{\alpha\delta} = 0,4 \cdot 10^2 \cdot 1,1 = 0,44 \cdot 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 80   |

2. Визначимо опір одного вертикального заземлювача:

$$R_{\partial\partial} = \frac{\rho_{\partial\partial}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\partial\partial}} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l_{\partial\partial}}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H + l_{\partial\partial}}{4H - l_{\partial\partial}} \right)$$

$$H = H_0 + \frac{l_{\partial\partial}}{2}, \text{ м} \quad H = 0,5 + \frac{2,5}{2} = 1,75 \text{ м.}$$

$$R_{\partial\partial} = \frac{0,44 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,06} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,75 + 2,5}{4 \cdot 1,75 - 2,5} \right) = 18,15 \text{ Ом.}$$

3. Визначаємо кількість стержнів:

$$n_1 = \frac{R_{\partial\partial}}{R_{\text{ндоі}}}, \text{ шт. } R_{\text{ндоі}} = 4 \text{ Ом.}$$

$$n_1 = \frac{18,5}{4} = 4,6$$

приймаємо  $n_1 = 6$ ,

при довжині труби  $l_{\partial\partial} = 2 \text{ м}$  і відстані між ними  $l_1 = 6 \text{ м}$ ,  $\frac{l_1}{l_2} = 3$ .

Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів:  $\eta = 0,85$ .

4. Визначаємо опір системи вертикальних заземлювачів:

$$R_{\partial\partial}^{\text{нєн}} = \frac{R_{\partial\partial}}{n \cdot \eta} = \frac{18,15}{6 \cdot 0,85} = 3,55 \text{ Ом.}$$

5. Визначаємо довжину з'єднувальної полоси:

$$L_n = (n - 1) \cdot l_1 + 50 \div 100, \text{ м}$$

$$L_n = (6 - 1) \cdot 6 + 82,5 = 112,5, \text{ м}$$

6. Визначаємо опір з'єднувальної полоси:

$$R_n = \frac{\rho_{\partial\partial}}{2\pi \cdot L_n \cdot \eta} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_n^2}{b \cdot H_0}, \text{ Ом}$$

$b = 0,05 \text{ м}$  – ширина полоси;

7. загальний опір системи заземлення:

$$R_{\text{заа}} = \frac{R_{\partial\partial}^{\text{нєн}} \cdot R_n}{R_{\partial\partial}^{\text{нєн}} + R_n}, \text{ Ом;}$$

$$R_{\text{заа}} = \frac{3,55 \cdot 13,4}{3,55 + 13,4} = 2,8 \text{ Ом.}$$

$$R_{\text{заа}} < 4 \text{ Ом.}$$

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 81   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |

## ВИСНОВОК

Розробка комбінованої системи охолодження, опалення та гарячого водопостачання на основі геотермального теплового насоса для приватного житлового будинку у м. Одеса, Україна, принесла значні висновки та перспективні результати. Цей проект продемонстрував життєздатність та ефективність таких систем у контексті кліматичних та енергетичних умов України.

Ключові висновки та результати цього дослідження включають:

**1. Ефективність та продуктивність системи:** Розроблена система, яка використовує R1234ze як холодоагент та використовує високу теплопровідність кам'яного ґрунту у Одеса, показала відмінні характеристики продуктивності. Система геотермального теплового насоса продемонструвала вищу ефективність порівняно з традиційними методами опалення та охолодження, з розрахунковим коефіцієнтом продуктивності (COP) понад 4.0 для режиму опалення та 3.5 для режиму охолодження. Ця висока ефективність призводить до значних енергозбережень та зниження експлуатаційних витрат для житлового будинку площею 280 м<sup>2</sup>, де проживає сім'я з чотирьох осіб.

**2. Екологічний вплив:** Впровадження цієї системи геотермального теплового насоса суттєво сприяє зменшенню вуглецевого сліду опалення та охолодження житлових приміщень. Порівняно з традиційними системами на основі викопних палив, наші розрахунки показують зменшення викидів CO<sub>2</sub> приблизно на 60-70%. Це відповідає зобов'язанням України щодо сталого розвитку та зусиль зі зменшення змін клімату.

3. Застосовано різні методики розрахунків теплових навантажень будівлі, системи опалення теплими підлогами, радіаторами та фанкойлами відповідно до ДБН.

4. Розрахована схема і цикл роботи теплового насоса, ґрунтового колектора і підібрано додаткове обладнання з використанням сучасних програм підбору від фірм-виробників.

5. Основними перевагами спроектованої системи є застосування сучасного ефективного екологічно чистого холодоагенту R1234ze, а також теплоносія ґрунтового контуру - пропіленгліколю (не токсичний).

6. Підібрано сучасний компресорний агрегат поршневий напівгерметичний компресор **BITZER 4JE-15Y**.

7. Для підвищення ефективності доцільно проектувати такі системи спільно з рекуперацією тепла від припливно-витяжної вентиляції. Це обумовлено тим, що витрата тепла на компенсацію нагріву/охолодження повітря інфільтрації значна в порівнянні з явними тепловтратами і теплонадходженнями.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 82   |

## ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Всесвітній геотермальний конгрес WGC-005 // Теплоенергетика, 2006. № 3. С. 78-80.
2. Васильєв Г.П., Шилкін Н.В. Використання низькопотенційної теплової енергії землі в теплонасосних системах // АВОК, 2003. № 2.
3. Жидович І.С., Трутаєв В.І. Системний підхід до оцінки ефективності теплових насосів // Новини теплопостачання, 2001. №11.
4. Горшков В. Г. Теплові насоси. Аналітичний огляд // Методичка промислового устаткування, 2004. № 2.
5. Огуречников Л.А. Аналіз ефективності низькотемпературних енергозберігаючих технологій // Енергетика, 2006. № 6. С. 42-51.
6. Джеджула В. В., Єпіфанова І. Ю. Енергозбереження як напрям підвищення безпеки критичних систем житлових будинків // Вісник Хмельницького національного університету, 2022. №2. Т. 1. С. 72-76.
7. ДБН В.2.2-10:2022. Заклади охорони здоров'я. Основні положення. [Чинний від 2023-03-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2022. 67 с.
8. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2022-05-15]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 73 с.
9. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Вид. офіц. Київ: : Мінрегіонбуд України, 2011. 127 с.
10. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2013. 147 с.
11. VALTEC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://valtec.ua/>
12. ДБН В.2.2-15-2005. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. [Чинний від 2006-05-22]. Вид. офіц. Київ: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2005. 97 с.
13. ДСТУ EN ISO 11855-2:2022 Проектування середовища будівлі. Вбудовані системи радіаційного опалення та охолодження. Частина 2. Визначення розрахункової потужності опалення та охолодження (EN ISO 11855-2:2021, IDT; ISO 11855-2:2021, IDT) [Чинний від 2023-12-31]. Вид. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2023. 72 с.
14. WILO [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://select.wilo.com/SearchResult.aspx>
15. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Зі Зміною №1. [Чинний від 2019-03-01]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 113 с.
16. ДСТУ Б В.2.5-44:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами (EN 154550:2007, MOD). [Чинний від 2010-02-02]. Київ: : Мінрегіонбуд України, 2010. 56 с.
17. ДСТУ EN 255-3:2005. Повітряні кондиціонери. (EN 255-3:1997, IDT). [Чинний від 2006-07-01]. Київ: : Держспоживстандарт України, 2006. 15 с.
18. ISO/TS 13732-2:2001. Ergonomics of the thermal environment — Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces. Edition 1, 2001. 12 p.

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 83   |

19. Mycond [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mycond.ua/nastinni-fankoyly-seriyi-mhw>
20. Kermi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kermi.com.ua/ru/>
21. Chemours [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.chemours.com/en/>
22. BITZER Software — Підбір холодильного обладнання. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bitzer.de/websoftware/calculate/HHK/?tab=results>
23. SWEP [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://opeks.ua/ru/payanye-teploobmenniki-swep/>
24. Danfoss Coolselector®2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/downloads/dcs/coolselector-2/>
25. HydrauCalc [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.hydrauCalc.com/>

|      |      |          |        |      |                       |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|      |      |          |        |      | КРБ.ХУКП.1.499-03.2.3 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                       | 84   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       |      |