

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 400м<sup>2</sup> у м. Одеса

Здобувача

Антіфєєв Д.О.

4 курсу

ЕН-141 групи

Керівник

к.т.н, доц. Трандафілов В.В.

Консультанти:

д.т.н, проф. Хмельнюк М.Г.

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від

30.05.2025 р.

протокол №

10

Завідувач кафедри ХУКП

Михайло ХМЕЛЬНЮК

Одеса - 2025 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.

«03» березня 2025 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Антіфєєв Данило Олексійович

1. Тема роботи Проект системи опалення, гарячого водопостачання та охолодження на базі ґрунтового теплового насосу для котеджу 400м<sup>2</sup> у м. Одеса

Затверджена наказом ОНТУ від 26.09.2024 р. наказ № 576-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 30.05.2025 р.

3. Вихідні дані роботи

Середня температура опалювального періоду становить 0,9°С.

Холодоагент – R454В. Температура конденсації: +40°С. Котедж 400м<sup>2</sup> у м. Одеса.

Температури навколишнього середовища 20°С. Навантаження на систему в режимі опалення становить 34 кВт. Кількість мешканців будинку складає 4 людини.

Тривалість опалювального періоду 163 діб.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

Реферат, Вступ, 1. Огляд теплових насосів, 2. Будівельно-ізоляційна конструкція

будинку, 3. Визначення теплових втрат, 4. Розрахунок теплоприпливів приміщень,

5. Розрахунок та підбір систем опалення, охолодження та гарячого водопостачання,

6. Тепловий розрахунок холодильної системи, 7. Розрахунок пластинчастого

конденсатора, 8. Підбір компресора та теплообмінних апаратів, 9. Розрахунок

ґрунтового колектора, 10.ОХОРОНА ПРАЦІ, Список використаних джерел

інформації

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 прийняв
Охорона праці	д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.	19.05.2025	23.05.2025

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 03.03.2025 р.

Керівник \_\_\_\_\_ Трандафілов В.В.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Антіфєєв Д.О.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Реферат	27.05-29.05.2025	виконано
2	Вступ	03.03-05.03.2025	виконано
3	1. Огляд теплових насосів,	05.03-15.03.2025	виконано
4	2. Будівельно-ізоляційна конструкція будинку	16.03-31.03.2025	виконано
5	3. Визначення теплових втрат	01.04-10.04.2025	виконано
6	4. Розрахунок теплоприпливів приміщень	11.04-20.04.2025	виконано
7	5. Розрахунок та підбір систем опалення, охолодження та гарячого водопостачання	20.04-30.04.2025	виконано
8	6. Тепловий розрахунок холодильної системи	01.05-05.05.2025	виконано
9	7. Розрахунок пластинчастого конденсатор	06.05-10.05.2025	виконано
10	8. Підбір компресора та теплообмінних апаратів	10.05-13.05.2025	виконано
11	9. Розрахунок ґрунтового колектора	14.05-16.05.2025	виконано
12	10. Охорона праці	19.05-23.05.2025	виконано
13	Список використаних джерел	23.05-25.05.2025	виконано
14	Презентація в PowerPoint	25.05-29.05.2025	виконано

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Антіфєєв Д.О.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Трандафілов В.В.

*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 \_\_\_\_\_ Антіфєєв Данило Олексійович \_\_\_\_\_

## Реферат

В роботі представлена розробка науковообґрунтованого технологічного рішення по проектуванню системи опалення, гарячого водопостачання та охолодження на базі ґрунтового теплового насосу для котеджу площею 400 м<sup>2</sup> для умов міста Одеса: зменшення техногенного впливу на навколишнє середовище; використання екологічно безпечних робочих речовин при проектуванні теплових насосів.

Двоповерхова житловий будинок, розташований у м. Одеса, загальною площею 400м<sup>2</sup>. Будівля складається з 2-х поверхів (перший та другий поверхи). В якості об'єкта дослідження було використано ґрунтовий тепловий насос. Холодоагент – R454B. Комбінована система охолодження, опалення та гарячого водопостачання передбачає як вбудовані прилади опалення (тепла підлога) так і фанкойли в житлових приміщеннях розраховані на опалення та охолодження, та бак непрямого нагріву з електропідігрівачем для забезпечення гарячого водопостачання. Передбачена також установка додаткового контуру системи опалення теплої підлоги.

**Ключові слова:** тепловий насос – R454B – ODP

## Annotation

The research paper presents the development of a scientifically grounded technological solution for the design of a heating, hot water supply and cooling system based on a ground heat pump for a 400 m<sup>2</sup> cottage for the conditions of Odesa city: reduction of man-made impact on the environment; use of environmentally safe working substances in the design of heat pumps.

A two-storey residential building located in Odesa with a total area of 400 m<sup>2</sup>. The building consists of 2 floors (first and second floors). A ground source heat pump was used as the object of study. The refrigerant used is R454B. The combined cooling, heating and hot water system includes both built-in heating devices (underfloor heating) and fan coil units in residential premises designed for heating and cooling, and an indirect heating tank with an electric heater to provide hot water. There is also an option to install an additional circuit for underfloor heating.

**Keywords:** heat pump – R454B – ODP

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

Реферат .....	4
ВСТУП .....	6
1. Огляд теплових насосів .....	7
Принцип роботи теплових насосів. ....	12
Основні переваги геотермальних теплових насосів. ....	16
Термодинамічний цикл теплового насоса .....	23
Робочі рідини для теплових насосів .....	26
2. Будівельно-ізоляційна конструкція будинку.....	32
2.1 . Конструктивне рішення.....	32
2.2. Обґрунтування вибору температурних режимів. ....	33
2.3. Визначення коефіцієнтів теплопередачі огорожувальних конструкцій. ....	39
3. Визначення теплових втрат.....	46
3.1. Розрахунок теплових втрат скрізь огорожі.....	46
3.2. Визначення теплових втрат через інфільтрацію .....	50
3.3. Загальні теплові втрати.....	52
4. Розрахунок теплоприпливів приміщень .....	55
4.1. Зовнішні теплоприпливи .....	55
4.3. Загальні теплоприпливи: .....	58
5. Розрахунок та підбір систем опалення, охолодження та гарячого водопостачання.....	59
5.1. Розрахунок теплої підлоги. ....	59
5.1.1. Обґрунтування вибору температури теплої підлоги.....	64
5.1.2. Тепловий розрахунок водяної теплої підлоги. ....	67
5.2. Розрахунок та підбір фанкойлів.....	72
5.3. Розрахунок та підбір бойлера непрямого нагріву .....	79
6. Тепловий розрахунок холодильної системи.....	85
7. Розрахунок пластинчастого конденсатора.....	90
8. Підбір компресора та теплообмінних апаратів. ....	103
9. Розрахунок ґрунтового колектора .....	117
9.1. Обґрунтування вибору холодоносія.....	117
9.2. Розрахунок геотермального зонда.....	119
10.ОХОРОНА ПРАЦІ.....	122
Список використаних джерел інформації.....	126

					<i>КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Антіфесєв Д.О.</i>			<i>Проект системи опалення, гарячого водопостачання та охолодження на базі ґрунтового теплового насосу для котеджу 400 м<sup>2</sup> у м. Одеса</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Трандафілов В.В.</i>					5	126
<i>Реценз.</i>						<i>ОНТУ група ЕН-141</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								

## ВСТУП

На сьогодні дуже гостро постає питання економії енергоресурсів та є особливо важливим на данному етапі розвитку нашої країни. Вартість палива та теплової енергії зростає і така тенденція прогнозується на майбутнє. А також з кожним днем, збільшується об'єм споживання енергії.

В зв'язку з цим очевидна важливість пошуку способів зниження енерговитрат. Одним з напрямів економії енергоресурсів є реалізація енергозберігаючих заходів при роботі систем ТГВ (теплопостачання, опалення, вентиляція та кондиціонування повітря), необхідно, щоб максимально можливе зниження витрат енергії на роботу систем теплопостачання, вентиляції будівель стало однією з основних задач, розв'язувальних при проектуванні і експлуатації цих систем.

З сучасним розвитком інфраструктури міст та селищ збільшуються обсяги використання паливно-енергетичних ресурсів. Слід зазначити, що функціонування систем інженерного обладнання значно погіршує стан навколишнього середовища. Наприклад, викиди від ТЕЦ та котельних складає більш однієї третини усіх викидів в атмосферу. Що викликає ріст захворюваності населення, а також до зносу та псування інфраструктури, погіршенню екологічного стану населених пунктів, тощо.

Крім того, значне підвищення вартості видобутку та транспортування паливно-енергетичних ресурсів, є найважливішою причиною проведення більш інтенсивної енергозберігаючої політики, що зараз можна спостерігати.

Теплові насоси на сьогоднішній день є прогресивним технологічним устаткуванням, що здатне використовувати енергію скидного вентиляційного повітря, теплоту із стічних вод та іншого промислового вторинного тепла, а також відновлюваних природних джерел та ін. Працездатність цих систем базується на наявності низькопотенційного тепла, яке потім перетворюють в високопотенційне, що здатне обігріти будівлю і нагріти воду.

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1. Огляд теплових насосів

Енергоефективність та енергозбереження визнані в Україні одними з найпріоритетніших цілей енергетичної політики держави. Незважаючи на очевидну необхідність реалізації відповідних завдань, за останнє десятиліття поліпшення були фрагментарними, а використання енергетичних ресурсів досі залишається надмірним.

Обсяги енергії, що використовують для виробництва товарів і послуг, майже в чотири рази перевищує відповідні стандартні значення для країн Європейського Союзу. Впровадження організаційних і технологічних рішень щодо енергоефективності на рівні державних органів влади, окремих домогосподарств і промислових підприємств за міжнародними стандартами залишається досить низьким. Хоча певні кроки в цьому напрямку все ж зроблені. Зокрема, існує нормативно-правова база (хоч і недостатня) для підвищення рівня енергоефективності.

Порівняно високу енергоємність мають такі види економічної діяльності, як видобувна промисловість, а також виробництво і розподіл електроенергії, газу і води (дуже великий відсоток споживання енергії та низька частка у ВВП). У той же час, наприклад, на створення 7,8% доданої вартості сільського господарства в 2010 р. було витрачено 1,7% первинних енергоресурсів і 2,0% електроенергії, а на створення в 3-4 рази більшої доданої вартості в промисловому секторі енергетичних ресурсів витрачено в 29-45 разів більше. Таким чином, вирішення питання енергоефективності економіки та оптимізації енергозабезпечення споживачів вимагає пошуку структурно-інвестиційного маневру в напрямку стимулювання як інноваційних технологій енергозбереження, так і технологій виробництва енергії, здатних в перспективі радикально змінити структуру енергетичного балансу країни.

Теплові насоси набувають все більшої популярності і як окремі опалювальні агрегати, і в складі комбінованих систем опалення. Це енергоефективні пристрої, що використовують відновлювану енергію

					<i>КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10</i>	Арк.
						7
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

становить близько сотні років, для інших комплектуючих, наприклад, компресора і основного вузла теплового насоса, цей термін складає 30 років; простота експлуатації - будь-якого особливого обслуговування обладнання даного типу не вимагає протягом усього терміну роботи;

- універсальність - за допомогою такого насоса можна з легкістю охолоджувати або нагрівати необхідні площі;
- можливість забезпечити комфорт в будинку при повній відсутності шуму; можливість за допомогою одного зонда особливої конструкції забезпечити дублювання зондів в свердловині, а також малий гідравлічний опір;
- захист зонда від деформацій після заливки свердловини спеціальним терморозчином;
- екологічна чистота - в процесі експлуатації геотермального насоса в атмосферу не викидаються вуглекислий газ і шкідливі продукти горіння;
- вибухо-та пожежобезпечність - ніякого спеціального обладнання для експлуатації приладу не потрібно;
- економія енерговитрат;
- можливість роботи в автономному режимі і незалежність від газопроводу - ніякого рідкого палива або газу для роботи подібного обладнання не потрібно, достатньо підключити його до електромережі.

Яке джерело води буде найбільш підходящим для експлуатації насосів даного типу.

Далеко не всі відкриті джерела води і штучні свердловини можуть підійти для забезпечення безперебійної роботи теплового насоса. Багато що залежить від того, наскільки якісна вода використовується в якості робочого

					<i>КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10</i>	<i>Арк.</i>
						17
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

середовища. Втім, проблема легко вирішувана за допомогою застосування спеціальних фільтрів.

Водоймище може використовуватися за умови, що розташовується він не далі ста метрів від будівлі, що обігривається. Якщо ж джерела природного походження відсутні можна пробурити свердловину для аналогічних цілей. Всього їх повинно бути дві - в одну з них занурюється насос і відбирається вода для подальшої обробки в системі тоді як друга свердловина є приймачем для зливу охолодженої відпрацьованої води.

#### Основні види геотермальних теплових насосів

Всього виділяють чотири типи спеціалізованих колекторів, які постачають теплову енергію. До них відносяться:

- Горизонтальні теплові насоси, які розміщуються на глибині близько півтора метрів - саме на тому рівні, який залягає глибше промерзання ґрунту. Даний варіант кращий для житлових об'єктів.
- Вертикальні теплові насоси, які містяться в спеціальних свердловинах глибиною близько півтори сотні метрів. Дане рішення набуває актуальності в тому випадку, коли території для горизонтального розміщення контуру просто немає.
- Ґрунтові водні насоси мають на увазі циркуляцію води по системі геотермального теплового насоса, яка виступає в якості робочої теплообмінної рідини. Після того як вона проходить по всьому контуру, завершальним етапом є її благополучне повернення в ґрунт.
- Водні теплові насоси - найпривабливіший варіант в плані вартості. Розташовувати їх можна в будь-якій водоймі, глибина промерзання якого вище глибини закладки обладнання. Також в процесі установки необхідно дотримати існуючі вимоги за обсягом води у водоймі та його розмірами.

					<i>КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

хладони групи HFC (R32, R125, R134a, R143a) і вуглеводні (наприклад, пропан).

R410a і R407c найбільш поширені хладони використовуються в довгострокових перспективних об'єктах, покликані, в кінцевому підсумку, замінити всі хлоровмісні робочі рідини. Основні відмінності між цими робочими рідинами полягають в їхньому хімічному складі. R410a представляють собою суміш R32 і R125 і має мінімальну температуру ковзання. R407c складається з суміші хладонів R32, R125 і R134a і має велику температуру ковзання. При заміні хладонів в уже існуючих установках необхідно враховувати безліч особливостей. Режими роботи, такі як тиск і температура ковзання у R410a і R407c розрізняються з R22 і R502, тому виникає необхідність заміни деяких компонентів теплонасосних систем або проводити серйозну реконструкцію при заміні хладонів в існуючих установках.

### **Природні робочі рідини**

Природні робочі рідини - це речовини, що містяться в біосфері в природному стані. Як правило, вони не мають негативного впливу на навколишнє середовище. Тому їх застосування може бути доброю альтернативою хлоровмісним фреонам. Прикладами природних робочих рідин є: Аміак (NH<sub>3</sub>), вуглеводень (приклад пропан), двоокис вуглецю (CO<sub>2</sub>), повітря і вода. Деякі з природних робочих рідин є горючими або токсичними. Тому їх застосування досить обмежене.

Аміак (NH<sub>3</sub>) є широко поширеним у багатьох країнах як робоча рідина в середніх і великих теплових насосах. Аміак має високу горючість, тому існують жорсткі правила і норми при використанні його як холодоагенту в теплонасосних системах. Високі термодинамічні показники і легкодоступність аміаку можуть стати доброю альтернативою фреонам для застосування аміаку в нових системах. Зазвичай його використовують в системах високого тиску, що дозволяють досягти температури конденсації до

					<i>КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10</i>	Арк.
						30
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

78 °С. Мідь є несумісною з аміаком, тому всі елементи, що контактують з робочим середовищем повинні бути виконані зі сталі.

Вуглеводні (УВ) добре відомі горючі робочі рідини з хорошими термодинамічними властивостями. В даний час пропан, пропілен і суміші пропану, бутану, ізобутану і етану розглядаються інженерами як перспективні робочі рідини для використання в теплонасосних системах. «УВ» широко використовується в нафтовій промисловості, епізодично застосовується в холодильному транспорті, побутових холодильниках/морозильниках і побутових теплових насосах. У зв'язку з високою горючістю вуглеводнів необхідні посилені заходи безпеки і особливі конструкції теплонасосного і холодильного устаткування.

Вода є відмінною робочою рідиною для високотемпературних промислових теплових насосів завдяки її високим термодинамічним властивостям. Так само вода не є горючою і токсичною. Зазвичай воду використовують у відкритих і напіввідкритих системах і не часто в замкнених системах. Робоча температура знаходиться в діапазоні від 80 ° С до 150 ° С. Недоліком води є низька теплоємність в порівнянні з традиційними хладачами, це вимагає застосування потужних компресорів особливо в діапазоні низьких температур.

CO<sub>2</sub> є потенційно хорошим холодоагентом, який привертає все більшу увагу в усьому світі. CO<sub>2</sub> є нетоксичним, негорючим і сумісним з безліччю мастильних матеріалів і не піддається негативному впливу при контакті з металами застосованими в галузі. Однак термодинамічні властивості CO<sub>2</sub> як робочої рідини невисокі і вимагають особливих підходів до конструювання теплових насосів.

					<i>КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10</i>	Арк.
						31
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 2. Будівельно-ізоляційна конструкція будинку.

### 2.1. Конструктивне рішення

Дані для розрахунку:

Двоповерховий будинок, розташований в Одеській області, корисною площею 396,59 м<sup>2</sup>. Будинок складається з 2-х поверхів (перший та другий поверхи). Площі і найменування приміщень наведено в таб. 2.1.

**Таблиця 2.1** характеристика кімнат будинку.

№	Найменування приміщення	Площа, м <sup>2</sup>
	<b>Перший поверх</b>	
1.	Передпокій	9,4
2.	Хол	38,5
3.	Вітальня	56,93
4.	Кухня-їдальня	17,0
5.	Гостьова	13,65
6.	Санвузол	9,22
7.	Комора(пральня)	9,29
8.	Гараж	24,19
9.	Котельня	12,45
10.	Тераса	21,62
11.	Коридор	6,42
12.	Ганок	4,52
13.	Ганок з котельною	1,82
	<b>Всього</b>	225
	<b>Другий поверх</b>	
1.	Хол	19
2.	Кабінет	18,55
3.	Спальня	27,3
4.	Спальня	20,0
5.	Спальня	24,9
6.	Ванна	16,5
7.	Гардероб	16,5
8.	Ванна	9,67
9.	Душова	6,97
10.	Балкон	6,1
11.	Балкон	6,1
	<b>Всього</b>	171,59

даними згідно з ДБН В.2.6-31:2016. Градусо-добу опалювального періоду визначають за формулою:

$$\text{ГДОП} = (t_{\text{вн}} - t_{\text{ср}}) \cdot Z. \quad (2.1)$$

Необхідний опір теплопередачі огорожувальних конструкцій залежить від ГДОП та розраховується наступним чином:

$$R_{\text{req}} = \frac{n(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{\Delta t_n \alpha_{\text{int}}} \quad (2.2)$$

де,  $n$  - коефіцієнт положення конструкції

$t_{\text{int}}$  - розрахункова температура внутрішнього повітря

$t_{\text{ext}}$  - розрахункова температура зовнішнього повітря;

$\Delta t_n$  - допустимий перепад температур між внутрішнім повітрям і поверхнею огорожувальних конструкцій;

$\alpha_{\text{int}}$  - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій.

Термічний опір  $R$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , шару багат шарової огорожувальної конструкції, а також однорідної (одношарової) огорожувальної конструкції слід визначати за формулою:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (2.3)$$

де,  $\delta$  - товщина шару, м;

$\lambda$  - розрахунковий коефіцієнт теплопровідності матеріалу шару,  $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$ ,

**Таблиця 2.5** Вихідні дані для розрахунку.

	Найменування показника	Од. вим.	Значення
1	Район будівництва	Одеса	
2	Розрахункова (для опалення) температура зовнішнього повітря	°C	-18
3	Середня температура опалювального періоду	°C	1,7
4	Тривалість опалювального періоду	діб	158

Для проектуваного будинку передбачено три режими опалення:

1-й режим – для житлових приміщень, температура +20 °С, відносна вологість 40%;

2-й режим – температура +19 °С, відносна вологість 40%, передбачений для допоміжних приміщень;

3-й режим – температура +24 °С, відносна вологість 40% - для санітарних приміщень.

*Таблиця 2.6* Вимоги та приведені коефіцієнти термічного опору в трьох режимах.

Режим	Розрахункова темп. повітря в приміщеннях, °С	Відносна вологість повітря в приміщеннях, °С	Градусо-добу опалювати. періоду, °С * сутки	Темп. точки роси, °С
1	20	40	2891,4	5,995
№	Найменування конструкції			Rтр м2/КВт
1	Стіни зовнішні			2,412
2	Покриття			3,646
3	Перекриття горищні			3,201
4	Перекриття над проїздами			3,646
5	Перекриття над підвалами, сполученими із зовнішнім повітрям			3,201
6	Перекриття над неопалюваними підвалами зі світловими прорізами			3,201
7	Перекриття над неопалюваними підвалами без світлових прорізів			3,201
8	Перекриття над неопалюваними технічними кімнатами			3,201
9	Вікна та балконні двері			0,367
10	Ліхтарі зенітні			0,322
11	Вітрини і вітражі			0,367
13	Двері поверхів вище першого			0,55
Режим	Розрахункова темп. повітря в приміщеннях, °С	Відносна вологість повітря в приміщеннях, °С	Градусо-добу опалювати. періоду, °С * сутки	Темп. точки роси, °С
2	19	40	2733,4	5,103

### 3. Визначення теплових втрат.

#### 3.1. Розрахунок теплових втрат скрізь огорожі.

У цивільних і житлових будівлях тепловтрати приміщень складаються з тепловтрат через різні огороджувальні конструкції, такі як вікна, стіни, перекриття, підлоги а також тепловитрат на нагрівання повітря, який інфільтрується крізь нещільності в захисних спорудах (конструкціях) даного приміщення. У промислових будівлях існують і інші види тепловтрат. Розрахунок тепловтрат приміщення проводиться для всіх огороджувальних конструкцій всіх опалювальних приміщень. Мусять враховуватися тепловтрати через внутрішні конструкції, при різниці температури в них з температурою сусідніх приміщень до 3 °С . Сумарні тепловтрати складаються з основних і додаткових. Основні теплові втрати визначають шляхом підсумовування витоків теплоти через огороджувальні конструкції приміщення. Додаткові ж залежать від орієнтації огороджувальних конструкцій по сторонах світу, а також від розташування цеху на відкритій місцевості, швидкості вітру в даному географічному районі.

Теплові втрати через огороджувальні конструкції розраховуються за формулою:

$$Q_{ог} = k \cdot F \cdot (t_{вн} - t_{н}^B) \cdot n \cdot (1 + \sum B), \text{ Вт} \quad (3.1)$$

де,  $t_{н}^B$  – температура зовнішнього повітря, °С;

$k$  - коефіцієнт теплопередачі окремої огорожі Вт/м<sup>2</sup>·К;

$t_{вн}$  – температура в приміщенні, °С;

$F$  – площа відповідної зони, м<sup>2</sup>;

$n$  – коефіцієнт, який враховує положення огорожі або захисної споруди (його зовнішній поверхні) щодо зовнішнього повітря;

$B$  - додаткові втрати теплоти в частках від основних втрат, Вт;

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2. Визначення теплових втрат через інфільтрацію

Інфільтрація - це переміщення повітря через огорожувальні конструкції з навколишнього середовища в приміщення за рахунок вітрового і теплового напорів, що формуються різницею температур і перепадом тиску повітря зовні і всередині приміщень. Вона відбувається через невеликі щілини в дверних і віконних рамах. Повітря надходить в приміщення також з неопалюваних частин будівлі - горищ, підвалів і так далі. Він проникає через отвори в стінах, підлогах і стелях, таких як тріщини в місцях сполучення двох стін або стіни і стелі. Розрахунок теплових втрат через інфільтрацію ведемо за наступними формулами:

Витрата теплової енергії  $Q_i$  на підігрівання зовнішнього повітря, що проникає в дане приміщення крізь нещільності огорожень в результаті вітрового і (або) теплового тисків. Для розрахунку беруть найбільшу величину тепловтрат з певних по наступним рівнянням:

$$Q_i = 0,28L\rho_n c (t_{вн} - t_n^B), \text{ Вт} \quad (3.4)$$

де,  $L$ ,  $\text{м}^3/\text{час}$  – витрата провітрюваного назовні з приміщень повітря, для житлових будівель приймають  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  площі житлових приміщень, в тому числі і кухні;

$c$  – питома теплоємність повітря ( $\text{кДж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$ );

$\rho_n$  – щільність повітря зовні приміщення,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Питома вага повітря  $\gamma$ ,  $\text{Н}/\text{м}^3$ , його щільність  $\rho$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , визначаються відповідно до формул:

$$\gamma = 3463 / (273 + t), \text{ Н}/\text{м}^3 \quad (3.5)$$

$$\rho = \gamma / g, \text{ кг}/\text{м}^3 \quad (3.6)$$

де  $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$ ,  $t$ ,  $^\circ\text{C}$  – температура повітря.

					<i>КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрата теплоти на підігрівання повітря, який потрапляє в приміщення через різні нещільності захисних споруд (огорож) в результаті вітрового і теплового тисків, визначається згідно формули:

$$Q_i = 0,28 G_i c (t_{вн} - t_n^B) k, \text{ Вт} \quad (3.7)$$

де,  $k$  – коефіцієнт, що враховує перехресний тепловий потік, для окремо для брошурування балконних дверей і вікон приймається 0,8, для одинарних і парно-палітурних вікон - 1,0;

$G_i$  – витрата повітря, що проникає (інфільтруючого) через захисні споруди (огороджувальні конструкції), кг/ч.

Для балконних дверей і вікон значення  $G_i$  визначається як:

$$G_i = 0,216 \Sigma F \Delta P_i^{0,67} / R_{и}, \text{ кг/ч} \quad (3.8)$$

де,  $\Delta P_i$  – різниця тисків повітря на внутрішній  $P_{вн}$  і зовнішній  $P_n$  поверхнях дверей або вікон, Па;

$\Sigma F$ ,  $m^2$  – розрахункові площі всіх огорожень будівлі;

$R_{и}$ ,  $m^2 \cdot \text{ч/кг}$  – опір повітропроникності даної огорожі, який приймається за довідковими даними.

Величина  $\Delta P_i$  визначається за формулою:

$$\Delta P_i = (H - h_i) (\gamma_n - \gamma_{вн}) + 0,5 \rho_n V^2 (c_{e,n} - c_{e,p}) k_1 - p_{int}, \text{ Па} \quad (3.9)$$

де,  $H$ ,  $m$  – висота будівлі від нульового рівня до даху будівлі;

$h_i$ ,  $m$  – висота від нульового рівня до верху балконних дверей або вікон, для яких проводиться розрахунок витрати повітря;

$\gamma_n$ ,  $\gamma_{вн}$  – ваги питомі зовнішнього і внутрішнього повітря;

$c_{e,p}$  і  $c_{e,n}$  – аеродинамічні коефіцієнти для підвітряного і навітряного поверхонь будівлі відповідно. Для прямокутних будівель  $c_{e,p} = -0,6$ ,  $c_{e,n} = 0,8$ ;

$V$ ,  $m/c$  – швидкість вітру, яку для розрахунку беруть з довідкових даних;

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опалення передпокою не передбачено, так як в дане приміщення має найменші теплові втрати через зовнішні огорожі, якими можна знехтувати в даному прикладі.

Опалення кухні на першому поверсі здійснюється за рахунок теплих підлог.

Опалення житлових кімнат на другому поверсі здійснюється за рахунок теплих підлог.

					<i>КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		54

#### 4. Розрахунок теплоприпливів приміщень

Теплоприпливи - надходження в приміщення тепла від різних джерел. Розрахунок теплоприпливів, це невід'ємна частина розробки систем охолодження та вентиляції у будівлі. Цей підрахунок дуже важливий і від нього залежить: чи буде мікроклімат в кімнаті комфортним для людини.

Охолодження повітря розраховується для наступних приміщень:

- вітальня, в даному приміщенні планується встановити декілька стельових фанкойлів, для забезпечення комфортних умов в спекотний період;
- житлові кімнати в яких планується встановити стельові фанкойли для охолодження приміщень і забезпечення комфортних умов;

Теплоприпливи в приміщення складаються з теплоприпливів через зовнішні огороження, теплоприпливів від сонячної радіації через світлові (віконні) прорізи, теплоприпливи від людей що знаходяться у приміщенні та теплоприпливи від електрообладнання.

##### 4.1. Зовнішні теплоприпливи

Теплопоприпливи через зовнішні огороження розраховуються наступним чином:

$$Q_{зс} = q_{зс} \cdot F_{зс}, \text{ Вт} \quad (4.1)$$

де,  $q_{зс}$  - питома теплова потужність теплопередачі захисної споруди, Вт/м<sup>2</sup>

$F_{зс}$  - площа захисної споруди, м<sup>2</sup>.

**Таблиця 4.1** Значення питомої теплової потужності теплопередачі огорожуючих конструкцій

Питома теплова потужність теплопередачі	
Захисна споруда	q, Вт/м <sup>2</sup>
Зовнішня стіна легкої конструкції (північ)	30
Зовнішня стіна легкої конструкції	60
Зовнішня стіна важкої конструкції (північ)	20
Зовнішня стіна важкої конструкції	30
Внутрішня стіна	30
Дах без утеплення	60

## **5. Розрахунок та підбір систем опалення, охолодження та гарячого водопостачання.**

### **5.1. Розрахунок теплої підлоги.**

Тепла підлога розраховується для першого та другого поверхів. В тих приміщеннях де потужності теплої підлоги недостатньо для підігріву передбачається встановлення фанкойлів для додаткового обігріву. В приміщеннях санвузлів додатково встановлюються рушникосуші.

Тепла підлога або точніше - «панельний обігрів», так як по-поверхнею (панеллю) обігріву стає вся площа підлоги. Використовують його як для місцевого утеплення підлоги (наприклад, у ванній кімнаті), так і для загального обігріву квартири або будинку. Фахівці підтвердили, що найбільш комфортно людина відчуває себе, коли температура повітря досягає + (22 - 25)°С, а на рівні голови (18 - 20) ° С. Такий розподіл температур найкраще забезпечує саме підлогове опалення. Тепло рівномірно розподіляється по всій площі, забезпечуючи температуру підлоги до 24 ° С, а на висоті 1,7 - 1,9 м -20 - 22 ° С. Вірно запроектована система опалення дозволяє економити до 20% енергоресурсів.

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

алюмінії. В іншому випадку, лужне середовище бетонної стяжки руйнує фольгований шар протягом 3-5 тижнів.

Розкладка труб здійснюється з певним кроком і в потрібній конфігурації. При цьому рекомендується трубопровід подачі слід укладати ближче до зовнішніх стін. Крок укладання повинен бути проектним в згоді 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. Це обмеження пов'язане з чутливістю ступні людини. При більшому кроці труб нога починає відчувати різницю температури.

Також важливо витримувати максимальні довжини контуру для теплої підлоги. Для визначення довжини контуру використовується формула:

$$L = S / N \cdot 1,1, \text{ м} \quad (5.1)$$

де, S - площа приміщення або контуру, для якого розраховується довжина труби (м<sup>2</sup>);

N - шаг укладки, м;

Для металопластикової труби діаметром 16 мм ми робимо контур не більш 100 м. Зазвичай дотримуємося 80 м.

Те ж саме стосується і труб з поліетилену. Для 18 труби із зшитого поліетилену максимальна довжина контуру 120 м. На практиці дотримуємося 80 - 100 м. Для 20 металопластикової труби максимальна довжина контуру складає 120 - 125 м.

### 5.1.1. Обґрунтування вибору температури теплої підлоги

Важливим параметром такого роду системи є температура системи і покриття. Звичайно ж, кожному різновиду властиві певні показники, однак стандартні межі визначаються за ДБН В.2.5-67:2013. У цьому документі чітко регламентована максимальна і мінімальна температура підлогового покриття.

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З огляду на фізіологічні особливості людини, температура підлоги не повинна перевищувати наступні межі:

**Таблиця 5.1** Максимальна розрахункова температура нагрівальної поверхні з додатка С нормативного документа ДБН В.2.5-67:2013

Нагрівальна поверхня	Максимальна розрахункова температура нагрівальної поверхні <sup>1)</sup>
Підлога (сухий або нормальний вологісний режим) <sup>2)</sup>	29 °С у приміщеннях з постійним перебуванням людей; 31 °С у приміщеннях з тимчасовим перебуванням людей; 35 °С у крайовій зоні (зоні найбільшого охолодження), визначеній за відстанню С та Е згідно з таблицею Д.7; 27 °С при дерев'яному покритті; 26 °С при підвищеній температурі повітря впродовж більшої частини опалювального періоду (пекарня тощо); 26,5 °С (середньодобова температура) для акумуляційного опалення 25 °С у приміщеннях дитячих навчально-виховних закладів
Підлога (вологий та мокрий вологісний режим) <sup>2)</sup>	31 °С для обхідних доріжок та лавок плавального басейну, ванної кімнати тощо
Стіна	95 °С для зовнішньої стіни від рівня підлоги до 1 м (окрім приміщень дитячих навчально-виховних закладів); 35 °С для зовнішньої стіни з електричною кабельною системою опалення від рівня підлоги до 1 м; 28, 30, 33, 36 та 38 °С відповідно до висоти приміщення 2,8, 3,0, 3,5, 4,0 та 6,0 м
Стеля	28, 30, 33, 36 та 38 °С відповідно до висоти приміщення 2,8, 3,0, 3,5, 4,0 та 6,0 м 32 °С у приміщеннях дитячих навчально-виховних закладів
Підвіконня	45 °С у приміщеннях дитячих навчально-виховних закладів
<sup>1)</sup> Максимальне значення може бути меншим від зазначеного залежно від вимог виробника до застосовуваного матеріалу лицьового покриття підлоги.	
<sup>2)</sup> Вологісний режим приміщення визначають згідно з ДБН В.2.6-31.	

Підігрів підлоги до такої температури дозволяє забезпечувати в приміщенні температурний режим на позначці 20 градусів, для житлових приміщень, і 24, для кімнат з підвищеним рівнем вологості (ванна). Фахівці рекомендують, в приміщеннях з високою прохідністю, утримувати температуру поверхні підлоги на значенні 26 ° С. Якщо в кімнаті низька прохідність, тоді температуру бажано підняти до 31 ° С. Основним обмеженням по температурі, яка вказана в нормативних документах, є дотримання температури по осях підігріву. Вона не повинна перевищувати 35 ° С, в іншому випадку відбувається перегрів самої системи і підлогового покриття. У випадку з перегрівом страждає не тільки система, а й людина, так як ходити по занадто теплою поверхні неприємно. Крім цього, коливання температури у високих діапазонах може привести до порушення цілісності

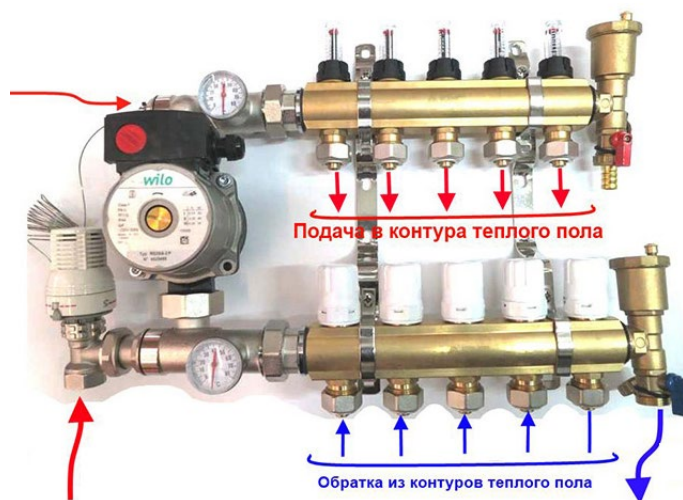
підлогового покриття. Для кожного типу обробки рекомендовані певні межі, перевищення яких небажано.

Основним елементом системи водного теплої підлоги виступає труба. Її укладають на чорнове підставу, і покривають шаром стяжки, товщиною 6 см. В якості основного джерела обігріву виступає вода з системи опалення або гарячого водопостачання. Як правило, водний тепла підлога характеризується температурою на рівні 30 ° С. Якщо врахувати подальшу укладання певного типу підлогового покриття, підігрів зменшується на кілька градусів, тим самим утворюючи оптимальний тепловий режим.

Час нагріву і охолодження різного типу теплої підлоги досить сильно відрізняється. Залежно від типу приміщення може бути сильно вигідніше мати конкретний вид статі. Це дозволить заощадити електрику або навпаки, швидше отримати тепло. Водяна тепла підлога нагрівається дуже довго, час залежить від площі приміщення, але в середньому становить близько 12-20 годин. Але це час повного нагріву, тепло відчувається вже через 3-4 години. Довгий нагрів обумовлений гіршій теплопровідністю, на відміну від електричної підлоги. Також частину часу догляд на прогрів стяжки. Але у водяного статі є і свої плюси, він набагато довше тримає тепло після відключення джерела живлення, повне охолодження може тривати більше доби.

За вимогами ДБН В.2.5-67:2013 убудовані нагрівальні елементи необхідно встановлювати з автоматичними регуляторами температури. Водні системи оснащуються термостатичними вентилями або насосно-змішувальними групами з автоматичним управлінням. З їх використанням виключається можливість перегріву підлогового покриття. Крім цього, вони здатні реагувати на зміну температурного режиму в приміщенні, і здійснювати закриття або відкриття клапанів, щоб зберегти оптимальний рівень температури.

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



**Рис. 5.4** Приклад автоматичного регулювання температури теплої підлоги з використанням сервоприводів встановлених на зворотній контур розподільного колектора.

Зазвичай терморегулятор працює з термодатчиком, який відправляє йому сигнали. Перший функціонує в автоматичному режимі, включаючи або вимикаючи систему подачі теплоносія. Саме термічний регулятор теплої підлоги є сполучною ланкою між датчиком, що визначає температуру підлоги, і сервоприводом - вмикачем подачі теплоносія. Додамо, що терморегулятори можуть бути для зовнішньої установки і для внутрішньої.

### 5.1.2. Тепловий розрахунок водяної теплої підлоги.

При відомому питомому тепловому потоці розрахунок ведеться за формулою:

$$t_{\text{жн}} = t_e + q_e R_n^e + q_e b R_{\text{жп}}^{\text{жп}} (1 + a) \quad (5.2)$$

де:  $t_{\text{тн}}$  - середня температура теплоносія, °С;

$t_{\text{в}}$  - температура повітря в приміщенні, °С;

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

$R_{\text{п}}$  - приведений опір теплопередачі шарів підлоги над трубами, м<sup>2</sup>

К/Вт;

$b$  - крок труб теплої підлоги, см;

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$R_{тр}^{пр}$  - приведений опір теплопередачі стінки труби, м<sup>2</sup> К/Вт;

$a$  - відношення питомих теплових потоків за напрямками "вниз" / "вгору", Вт/м<sup>2</sup> К.

При відомій середній температурі теплоносія питомий тепловий потік у напрямку "вгору" визначається шляхом рішення рівняння:

$$t_{жж} = t_e + q_e R^e + 0,1368 q_e^{(1/1,1)} + q_e b R_{жж}^{жж} \left[ 1 + \frac{t_e + q_e R^e + 0,1368 q_e^{(1/1,1)} - t_x}{q_e R_x^x} \right] \quad (5.3)$$

**Таблиця 5.2 – Характеристики труб теплої підлоги**

<b>ДАНИЕ О ТРУБАХ</b>			
Матеріал	Металлопластиковые 16x2.0		
Діаметр зовнішній	Øн	16	мм
Діаметр внутрішній	Øв	12	мм
Шероховатість	Δ	0,01	мм
Коефіцієнт теплопровідності стінок труби	λст	0,43	Вт/м К

**Таблиця 5.3 – Характеристики шарів ізоляції над та під трубами теплої підлоги**

Приміщення	tв	tн	Шари над трубами		Шари під трубами		Потік	Шаг	tп		Тепловий потік			tн	
			Матеріал	D	Матеріал	D			b	max	min	qв	qΣ		q пог.
				см		с м									
Гардероб	19	20	Розчин цементно-пісчаний 1800	4,4	Пінополістирол «Піноплекс 43»	10	354,7	20	26,3	24,4	78,8	82,1	16,4	34	
			Плитка керамічна	1	Залізобетон 2500	16									
Кухня	19	-18	Розчин цементно-пісчаний 1800	4,4	Пінополістирол «Піноплекс 43»	10	1004	15	28,1	26,4	100,4	109,2	16,4	37	
			Плитка керамічна	1	Пісок 1600	35									
Санвузол	24	-18	Розчин цементно-пісчаний 1800	4,4	Пінополістирол «Піноплекс 43»	10	375,6	15	30,6	29,4	70,9	79,9	12,0	37	
			Плитка керамічна	1	Пісок 1600	35									

Вітальня	20	-18	Розчин цементно-пісчаний 1800	4,4	Пінополістирол «Піноплекс 43»	10	3196	20	28,1	26,0	88,8	97,6	19,5	37
			Плитка керамічна	1	Пісок 1600	35								
Санвузол	24	19	Розчин цементно-пісчаний 1800	4,4	Пінополістирол «Піноплекс 43»	10	851,9	15	30,7	29,5	71,6	76,3	11,5	37
			Плитка керамічна	1	Залізобетон 2500	16								
Спальня	20	20	Розчин цементно-пісчаний 1800	4,4	Пінополістирол «Піноплекс 43»	10	1297	20	26,8	25,1	73,3	76,6	15,3	34
			Плитка керамічна	1	Залізобетон 2500	16								
Спальня	20	20	Розчин цементно-пісчаний 1800	4,4	Пінополістирол «Піноплекс 43»	10	1386	20	27,3	25,4	78,8	82,3	16,5	35
			Плитка керамічна	1	Залізобетон 2500	16								
Спальня	20	20	Розчин цементно-пісчаний 1800	4,4	Пінополістирол «Піноплекс 43»	10	1544	20	27,3	25,4	78,8	82,3	16,5	35
			Плитка керамічна	1	Залізобетон 2500	16								

Визначаємо загальні гідравлічні втрати:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{лін}} + \Delta p_{\text{кмс}} \quad (5.4)$$

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;

$$\Delta p_{\text{лін}} = \lambda \frac{\rho v^2}{2d} \quad (5.5)$$

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

$$\Delta p_{\text{гид}} = \xi \frac{\rho v^2}{2} \quad (5.6)$$

де,  $\lambda$  - коефіцієнт тертя;

$\rho$  - щільність середовища, що транспортується, кг/м<sup>3</sup>;

$v$  - швидкість потоку, м/с;

$$\sqrt{\lambda} = \frac{0.5 \left[ \frac{b}{2} + \frac{1.312(2-b) \lg(3.7d_p / K_s)}{\lg Re_\phi - 1} \right]}{\lg(3.7d_p / K_s)} \quad (5.7)$$

де,  $Re_\phi$  - фактичне число Рейнольдса;

$b$  - число подібності режимів течії рідини;

$Re_{\text{кв}}$  - число Рейнольдса, відповідне початку зони квадратичної залежності;

$K_s$  - коефіцієнт еквівалентної шорсткості, мм;

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

$$Re_{\text{гид}} = \frac{500d_p}{K_s} \quad (5.8)$$

$$Re_\phi = \frac{d_p v}{\nu_t} \quad (5.9)$$

де,  $\nu_t$  - коефіцієнт кінематичної в'язкості

$$b = 1 + \frac{\lg Re_\phi}{\lg Re_{\text{гид}}} \quad (5.10)$$

Дані розрахунку зведемо в таблицю:

**Таблиця 5.4 – Тепловий розрахунок теплої підлоги**

Приміщення	Номер петлі	Довжина брутто, м	Теплове навантаж., Вт	Витрати. в петлі, кг/с	Швидкість в петлі, м/с	Втрати тиску, Па
Кухня	1	74,4	1086,431	0,026	0,231	7614,109
Санвузол	2	38,7	367,948	0,009	0,078	651,938
Вітальня	3	97,2	1638,807	0,039	0,349	19884,187
Вітальня	4	99,9	1687,581	0,04	0,36	21482,088

## 5.2. Розрахунок та підбір фанкойлів

Фанкойли - це кліматичне обладнання, призначене для охолодження або нагрівання повітря. Зазвичай вони входять в систему загального кондиціонування приміщення і працюють спільно з чиллерами або тепловими насосами. Такі пристрої можна помітити на стелі і стінах приміщень. Перевага таких систем в тому, що ви можете налаштувати автоматичну подачу повітря заданої температури без необхідності забирати його безпосередньо з вулиці. Підходить для підтримки клімату в середніх і великих приміщеннях, в яких немає можливості встановити звичайний кондиціонер. Дана установка включає в себе:

- теплообмінник, куди надходить повітря з приміщення і де воно приймає потрібну температуру;
- вентилятор, за допомогою якого повітря подається в теплообмінник;
- фільтр для очищення повітря;
- управління обладнання відбувається за допомогою віддаленого, вбудованого або дистанційного пульта.

Вентилятор проганяє повітряні потоки через теплообмінник. У зміювик теплообмінника в залежності від поставленого завдання надходить гаряча або холодна вода. Повітря нагрівається або охолоджується і поширюється по приміщенню.

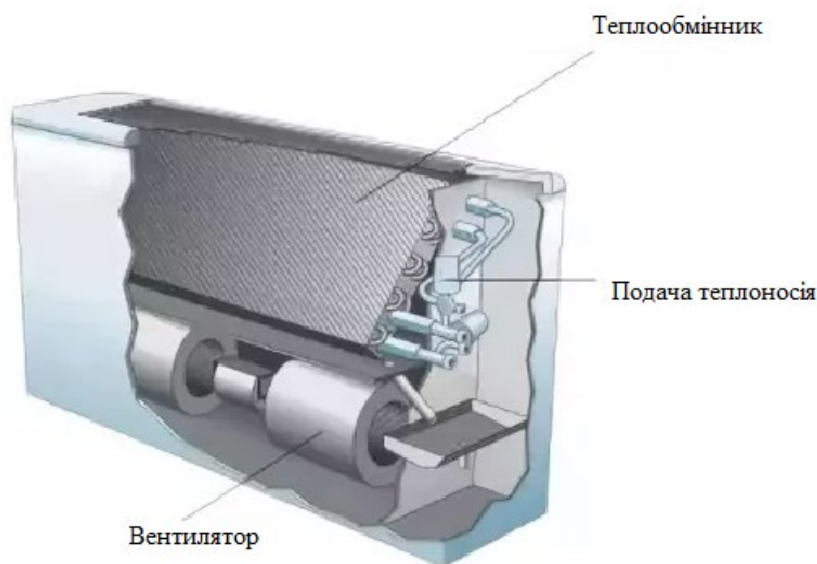
Принцип роботи системи фанкойлів наступний: тепловий насос нагріває або охолоджує воду в теплообміннику, потім ця вода подається насосом по трубах до фанкойлів. У них вода підігрівається або охолоджується і в такому стані повертається назад в систему теплового насоса.

Системи фанкойлів встановлюють в кімнатах готелів, в холах, в концертних та інших залах, в офісних будівлях і торгових комплексах, тобто всюди, де необхідно кондиціонування повітря в численних приміщеннях або одному великому, а також, де відстань від зовнішнього блоку і внутрішніх - не дозволяє використовувати фреонову систему.

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Внутрішні блоки - фанкойли бувають різних типів - підлогового, настінного, під стельового, каналного та інших типів. Їх так само випускають і в бескорпусном варіанті, тоді вони помітно дешевше, а встановлюють їх в прихованому вигляді (за підвісною стелею, в декоративному коробі на підлозі або в іншому місці). Повітроохолоджувачі встановлюють в будь-якому зручному місці приміщення, а через простий і універсальної конструкції йому може бути відданий майже будь-який дизайн.

За кількістю труб підключення фанкойли можна розділити на двотрубні або чотирьохтрубні. Відповідно, в першому варіанті буде один теплообмінник, у другому - два. У першому випадку фанкойл поперемінно може передавати або гарячий, або холодний теплоносій. У другому випадку вже є два теплообмінника, які працюють незалежно. Суть полягає в наступному: в один подається вода (гаряча) з системи центрального опалення, в іншій - теплоносій від теплового насоса. Фанкойли з чотирьохтрубною системою краще встановлювати під вікнами, так як взимку вони працюють як радіатори центрального опалення.



**Рис. 5.6** Схема двотрубного підлогово-стельового фанкойла

Монтаж системи фанкойлів вимагає дотримання особливих умов. Спочатку встановлюють власне фанкойл. Місце монтажу залежить від типу

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

пристрою: стеля, підлога, стіна. У будь-якому випадку потрібно забезпечити вільне переміщення повітряних мас від фанкойла по всьому приміщенню, щоб робота пристрою була ефективною. Після встановлення фанкойла необхідно зібрати вузол обв'язки, встановити труби і укласти шар теплоізоляції. Слід поставити ряд таких елементів, як запірні крани, температурні датчики, манометри. Відмінним варіантом для монтажу системи цього типу можуть виявитися труби з каучуковим покриттям. Вони компактні і мають гарні теплоізоляційними властивостями. При необхідності монтуються канали повітропроводів. Ці конструкції слід забезпечити шумоізоляцією. Щоб вода розподілялася по системі рівномірно і була забезпечена її правильна гідравліка, використовують балансувальні клапана.

Для невеликих площ можна використовувати тільки один фанкойл, від якого теплий (або холодний) повітря розподіляється по квартирі через систему повітропроводів. Фанкойл зазвичай ставлять в передпокої або в санвузлі, труби можна заховати під підвісною стелею. Звичайно, стелю в місці монтажу основного пристрою доведеться опустити, що не завжди зручно в квартирах з невеликою висотою кімнат. Однак в інших приміщеннях проблему можна усунути, якщо зробити дво- або навіть трьохрівневу стелю, щоб заховати менш громіздкі повітроводи. Місце розташування фанкойла обумовлено не тільки розмірами пристрою. В процесі роботи агрегат виробляє значну кількість шуму, який навряд чи буде доречний в житлових приміщеннях. Для обслуговування всієї квартири доведеться взяти досить потужний фанкойл, а ніж продуктивніше пристрій, тим більше від нього шуму. Регулювати роботу фанкойла можна буде з пульта дистанційного керування, але обраний режим поширяться на всі кімнати. Це не дуже зручно, якщо вікна кімнат виходять на різні сторони і прогріваються сонцем по-різному. Альтернативним варіантом вважається установка невеликого фанкойла в кожній кімнаті або тільки в деяких кімнатах. В цьому випадку регулювати мікроклімат в окремих приміщеннях буде значно простіше.

					<i>КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		74

### Примітка:

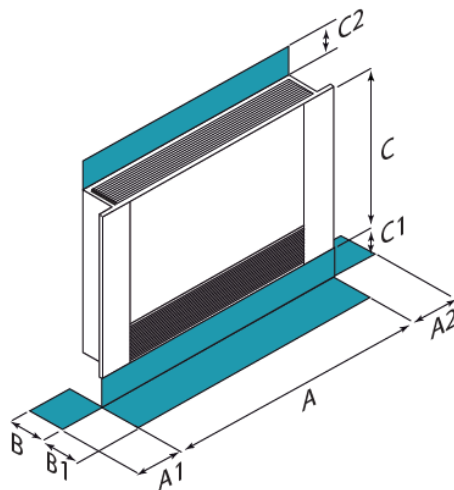
- $T_a$  = температура повітря що надходить до фанкойла ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $kW_t$  = забезпечена теплова потужність апарату (кВт);
- різниця температур води =  $5^{\circ}\text{C}$ ;

Температура теплоносія у системі опалення встановлена з розрахунку теплої підлоги становить  $35^{\circ}\text{C}$ . Температурні режими у приміщеннях встановлені наступні:

- вітальня, 1-й режим, температура  $+20^{\circ}\text{C}$ ;
- тамбур, 2-й режим – температура  $+19^{\circ}\text{C}$ ;
- хол зі сходами, 2-й режим – температура  $+19^{\circ}\text{C}$ ;
- котельня 2-й режим – температура  $+19^{\circ}\text{C}$ ;

Обираємо наступні типорозміри фанкойлів для наступних приміщень:

- вітальня, типорозмір 003.0;
- тамбур, два приладу з типорозміром 005.0;
- хол зі сходами, типорозмір 005.0;
- котельня, типорозмір 005.0;



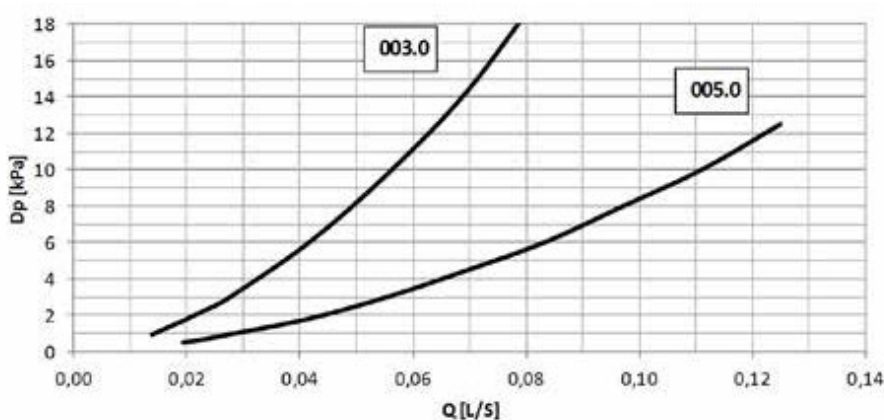
**Рис. 5.7** Схема двотрубного підлогово-стельового лінійки EFLORM2

**Таблиця 5.7** Розміри та необхідні зони обслуговування

Типорозмір		003.0	005.0
А-довжина	мм	737	937
В-ширина	мм	130	130

С-висота	мм	579	579
A1	мм	20	20
A2	мм	20	20
B1	мм	400	400
C1	мм	80	80
C2	мм	140	140

Перевіримо достатність обраного насоса у тепловому розрахунку теплої підлоги, для цього скористаємось графіком втрат тиску з каталогу:



**Рис. 5.8** Діаграма втрат тиску фанкойлів лінійки EFLORM2

За перевіреними даними обраний циркуляційний насос задовольняє умови втрат тиску.

Охолодження повітря передбачається у наступних приміщеннях:

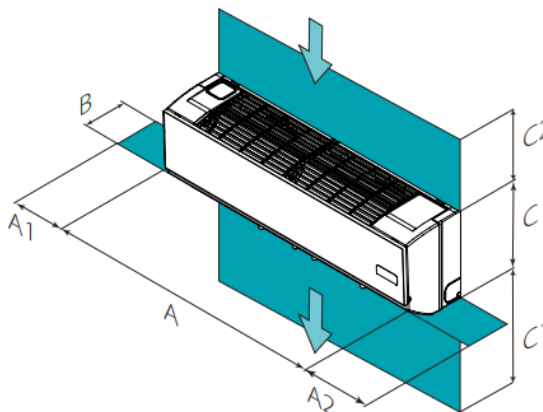
- вітальня, температура повітря встановлена у теплий період за ДБН В.2.5-67:2013 дорівнює 23 °С;
- спальні кімнати, температура повітря встановлена у теплий період за ДБН В.2.5-67:2013 дорівнює 23 °С;

За розрахунковими даними з розрахунку теплоприпливів встановлено, що необхідна потужність охолоджувального обладнання з урахуванням необлікованих втрат потужності складає:

- вітальня, необхідна загальна потужність двох спліт блоків складає 5970,6 Вт;
- для першої кімнати необхідна потужність складає 2828,2 Вт;

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За даними з каталогу було обрано один типорозмір для всіх житлових кімнат 011.0.



**Рис. 5.9** Схема двотрубного пристінного фанкойлу лінійки ELFOSpace WALL3

**Таблиця 5.9** Розміри та необхідні зони обслуговування

Типорозмір		011.0
А-довжина	мм	916
В-ширина	мм	218
С-висота	мм	290
А1	мм	300
А2	мм	300
С1	мм	2000-3000
С2	мм	300

За даними каталогу втрати тиску обраних фанкойлів, встановлено що необхідна установка циркуляційного насосу на лінію охолодження. Обраний циркуляційний насос WILO RS 25/7 з номінальним напором 7 м.

### 5.3. Розрахунок та підбір бойлера непрямого нагріву

Питання забезпечення гарячою водою домогосподарств завжди бу актуальним, але з подорожчанням енергоносіїв, підхід до побудови системи підігріву води повинен бути максимально виваженим. Існує кілька рішень для

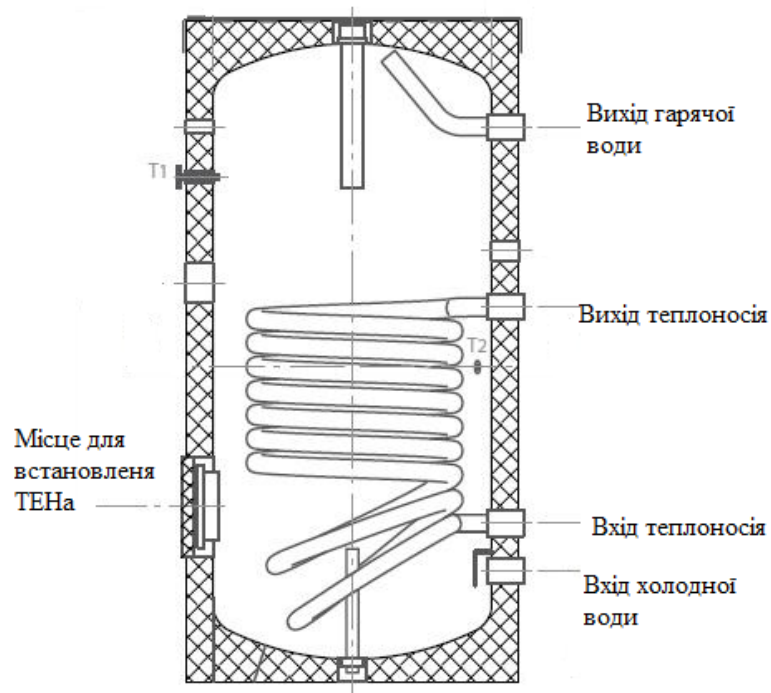
приватного домоволодіння заснованих на енергії альтернативних джерел тепла (сонячної енергії, теплових насосів.). Перший варіант, це теплоаккумулятор з вбудованим баком ГВП (гарячого водопостачання) або теплообмінником, що дозволяє нагрівати воду проточним способом. Таке рішення дозволяє отримувати невеликий об'єм води, достатній для того, щоб помити руки або прийняти душ. Але через малий об'єм доступної гарячої води в обмежений період часу, цей варіант не в повній мірі задовольнить потреби сім'ї, що складається з трьох і більше осіб. Другий варіант, це бойлер непрямого нагріву, підключений до зовнішніх джерел тепла

Бойлер непрямого нагріву - це термоізолюваний накопичувальний бак, з вбудованим одним або двома теплообмінниками з нержавіючої сталі, укомплектований магнієвим анодом, датчиками вимірювання температури і тиску. Внутрішня поверхня стінок бака покривається спеціальною харчовою емаллю. Теплоізоляція ємності виконана із застосуванням пінополіуретану товщиною 100 мм. У такій конфігурації, тепловтрати бойлера будуть мінімальні. Вода всередині бака залишиться гарячою тривалий час, навіть після відключення основного джерела тепла. Висока ефективність утеплення знижує подальші витрати на підігрів.

Принципово важливим елементом бака є теплообмінник. Він виконує функцію нагрівального елемента в баку непрямого нагріву. Як правило, трубчастий теплообмінник розташовується в нижній частині ємності. Це пов'язано з тим, що гаряча вода піднімається вгору ємності, а холодна опускається в нижні шари. Бойлер непрямого нагріву може комплектуватися теплообмінниками з вуглецевої або нержавіючої сталі. Теплообмінник, виконаний з нержавіючої сталі, значно довговічніший в експлуатації і володіє кращими харчовими характеристиками. Його антикорозійні властивості, стійкість до хімічних реакцій і дії агресивного середовища не викликають сумнівів. Харчові якості теплообмінників з нержавіючої сталі значно краще, ніж з чорного металу, через відсутність в структурі металу пір і тріщин, в яких можуть накопичуватися бактерії і бруд. Бойлер може комплектуватися

					<i>КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10</i>	Арк.
						80
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

декількома трубчастими теплообмінниками. В такому випадку, можливе підключення декількох джерел тепла: твердопаливний або газовий котел, сонячний колектор, тепловий насос і одного теплогенератора. Правильно підібрана комбінація джерел тепла дасть можливість максимально ефективно і швидко нагрівати воду.



**Рис. 5.10** *Схема баку непрямого нагріву*

Для підбору бойлера непрямого нагріву необхідно встановити об'єм бака. За даними ДБН В.2.5-64:2012, визначимо розрахункову витрати води на добу на одну людину:

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81



Дійсний коефіцієнт перетворення:

$$COP = \frac{Q_k}{N_e} \quad (6.12)$$

$$COP = \frac{34}{8.95} = 3.8$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		89

## 7. Розрахунок пластинчастого конденсатора

У якості вихідних даних приймаємо такі параметри:

- холодильний агент R454B ;
- теплоносієм вода;
- $Q_K = 34$  кВт – теплове навантаження на апарат.
- $t_K = 40$  °С температура конденсації холодильного агенту;
- $t_{B\_in} = 12$  °С температура води на вході в апарат;
- $t_{B\_out} = 35$  °С температура води на виході з апарату;

Вибираємо тип пластини NH20-TL фірми «Sondex» і відповідні її геометричні характеристики:

**Таблиця 7.1** Параметри пластини

Значення	$f_{пл}, м^2$	$f, м^2$	L, м	$d_e, м$	$\delta_m, м$	$\lambda_m, Вт/(мК)$
	0,21	0,0004575	0,894	0,00487	0,0005	17

де  $f_{пл}$  – робоча поверхня,  $м^2$ ;  $f$  - площа поперечного перерізу одного каналу,  $м^2$ ; L - приведена довжина каналу, м;  $d_e$  - еквівалентний діаметр каналу, м;  $\delta_m$  - товщину пластини, м;  $\lambda_m$  - коефіцієнт теплопровідності матеріалу пластини, Вт / (м·К).

З циклу процесу конденсації агенту приймаємо:

- ентальпію пара на вході в апарат –  $h_{п} = 549,3$  кДж / (кг·К);
- ентальпію рідини на виході з апарату –  $h_{р} = 304,5$  кДж / (кг·К).

За графіком знаходимо щільність теплового потоку апарата:

$$q = 7000 \text{ Вт/м}^2$$

Розрахункова площа поверхні теплообміну:

$$F = \frac{Q_K \cdot 10^3}{q}, \text{ м}^2 \quad (7.16)$$
$$F = \frac{34 \cdot 1000}{7000} = 4.86$$

Тоді необхідна кількість пластин дотичних з агентом для забезпечення розрахункової площі поверхні теплообміну дорівнює:

$$n = \frac{F}{f_{\text{пл}}}, \text{ шт} \quad (7.17)$$
$$n = \frac{4.86}{0.21} = 23.14 \text{ шт}$$

де,  $f_{\text{пл}} = 0,21 \text{ м}^2$ , - робоча поверхня однієї пластини.

Отримане значення розрахункового числа пластин, округлимо до цілого парного значення у бік збільшення:  $n = 24$ .

Коректуємо значення площі поверхні апарата:

$$F_{\text{ап}} = f_{\text{пл}} \cdot n, \text{ м}^2 \quad (7.18)$$
$$F_{\text{ап}} = 0.21 \cdot 24 = 5.04, \text{ м}^2$$

Число рівнобіжних каналів:

$$\text{по агенту } z_1 = \frac{10}{2} = 7, \text{ шт}$$

$$\text{по воді } z_2 = z_1 + 1 = 8, \text{ шт}$$

Розрахункове значення швидкості води в апараті:

$$\omega'_w = \frac{G_w}{z_2 \cdot \rho_w \cdot f}, \text{ м/с} \quad (7.19)$$

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega'_w = \frac{0.193}{8 \cdot 997.3 \cdot 0,0004575} = 0.053, \text{ м/с}$$

Перевіримо відповідність прийнятого і розрахункового значень швидкості води в апараті:

$$\left| \frac{\omega'_w - \omega_w}{\omega'_w} \right| \cdot 100 \leq 5\% \quad (7.20)$$

$$\left| \frac{0.053 - 0.047}{0.053} \right| \cdot 100 = 11.3 \%$$

Умова не виконується, тому необхідно задати нове значення швидкості і повторити ітерацію починаючи з формули (1.4).

#### *Друге приближення*

Задаємо середньою швидкістю потоку води в другому приближенні  $\omega_w = 0,053$  м/с і приймаючи параметри пластини з рівняння суцільності потоку знаходимо число рівнобіжних каналів у пакеті пластин апарата в одному ході по воді:

$$z = \frac{0.193}{0.047 \cdot 997.3 \cdot 0,0004575} = 8, \text{ шт} \quad (7.21)$$

Коректуємо величину прийнятої швидкості:

$$\omega_w = \frac{0.193}{8 \cdot 997.3 \cdot 0,0004575} = 0.053, \text{ м/с} \quad (7.22)$$

Число Рейнольдса для води при заданих геометричних параметрах пластини та коректованій швидкості:

$$Re = \frac{0.053 \cdot 0.00487}{0.936 \cdot 10^{-6}} = 368 \quad (7.23)$$

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова виконується, тому можна зробити висновок що розрахунки вірні.

За отриманим значенням площі поверхні апарату підбираємо теплообмінник фірми Danfos.

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		102

## 8. Підбір компресора та теплообмінних апаратів.

Підбір компресора здійснено по потрібній холодопродуктивності  $Q_0=27.6$  кВт з параметрами роботи, представленими при тепловому розрахунку. Вибираємо спіральний компресор фірми Danfoss марки DSH090-4.

### Coolselector2



#### Інформація про проект

Ім'я проекту:

Коментарі:

Створений:

Coolselector2 версія:

3.3.1. База даних: 44.44.2.18.5.25

Надруковано:

Понеділок, 7 Червень 2021 г.

Налаштування, які використовуються:

Усі сфери застосувань

#### Компресори 1

#### Умови роботи

Холодоагент:	R454 B	Температура кипіння на лінії насиченої сухої пари:	-5,0 °C	Температура конденсації на	40,0 °C
Тиск кипіння:	6,244 bar	Тиск конденсації:	22,30 bar	Переохолодження:	3,0 K
Температура кипіння на лінії насиченої сухої пари:	-5,5 °C	Додаткове переохолодження	0 K	Загальне переохолодження	3,0 K
Ефективний перегрів:	8,0 K	Температура газу на всмоктуванні:	8,0 °C	Температура рідини:	35,4 °C
Додатковий перегрів:	5,0 K	<b>Розрахункові умови:</b>	<i>Вибіркове</i>		
		<b>Потрібна теплопродуктивність:</b>	<i>34,00 kW</i>		

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

## Вибір: DSH161-4, R454B

Модель	DSH120-4	DSH140-4	DSH161-4	DSH184-4	DSH240-4
Технологія	Спіральни	Спіральний	Спіральний	Спіральни	Спіральний
Конфігурація	Одинарни	Одинарний	Одинарний	Одинарни	Одинарний
Холодоагент	R454B	R454B	R454B	R454B	R454B
Регулювання продуктивності	3 постійною швидкістю обертання	3 постійною швидкістю обертання	3 постійною швидкістю обертання	3 постійною швидкістю обертання	3 постійною швидкістю обертання
Швидкість [грт]	2900	2900	2900	2900	2900
Охолодження [kW]	20,57	23,60	27,01	30,29	40,97
COP охолодження [W/W]	3,14	3,16	3,25	3,27	3,26
Нагрівання [kW]	27,13	31,07	35,33	39,55	53,54
COP нагрівання [W/W]	4,14	4,16	4,25	4,27	4,26
Потужність [kW]	6,555	7,471	8,313	9,263	12,57
Струм [A]	13,59	15,07	16,34	19,11	23,70
Частота [Hz]	50	50	50	50	50
Джерело живлення	380 - 400 V (415 V) 3 ph*	380 - 400 V (415 V) 3 ph*	380 - 400 V (415 V) 3 ph*	380 - 400 V (415 V) 3 ph*	380 - 400 V (415 V) 3 ph*
Масова витрата [kg/h]	361,8	415,0	475,1	532,7	720,6

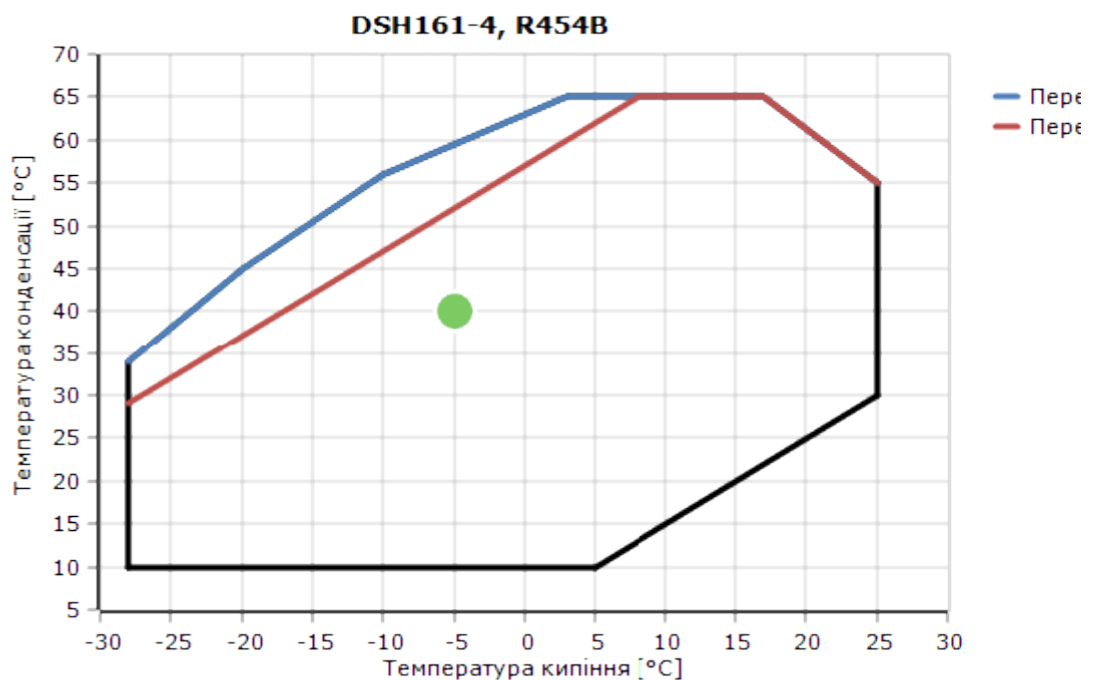
## Обраний кодовий номер і запчастини

Кодовий номер:

120H1215. DSH161A4ALB, Industrial pack шт. , 8

## Діапазон

он



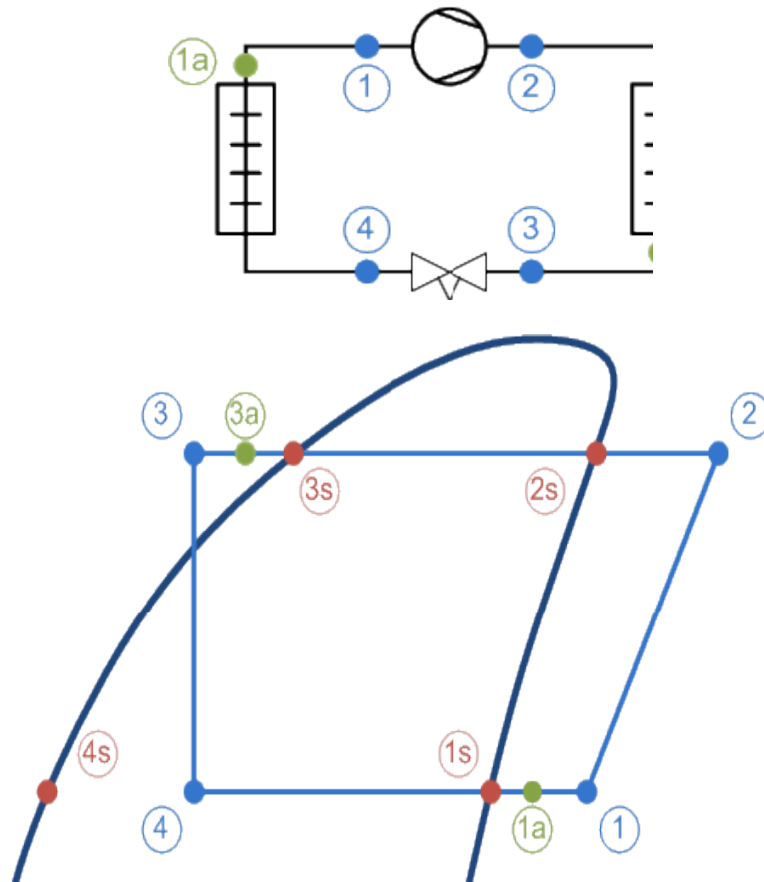
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10

Арк.

104

## Схеми



## Масова витрата

Масова витрата у випарнику: 450, kg/4 h      Масова витрата в компресорі: 450 kg/4 h

## Вкажіть

Точка	Опис	Температура [°C]	Тиск [bar]	Густина [kg/m <sup>3</sup> ]	Ентальпія [kJ/kg]	Ентропія [kJ/(kg·K)]
1	Всмоктування компресором	8,0	6,244	18,86	471,2	2,014
2	Нагнітання компресором (розрахункове)	90,5	22,30	54,72	533,1	2,06
2s	Конденсація на лінії насиченого сухого пару	40,0	22,30	78,9	463,2	1,852
3s	Конденсація на лінії насиченої рідини	38,4	22,30	915,6	266,9	1,22
3a	Вихід конденсатора	35,4	22,30	930,7	261,3	1,202
3	Включаючи додаткове переохолодження	35,4	22,30	930,7	261,3	1,202
4	Після розширювального клапана	-6,0	6,244	72,55	261,3	1,23
4s	Випаровування на лінії насиченої рідини	-6,3	6,244	1101	189,7	0,9624
1s	Випаровування на лінії насиченого сухого пару	-5,0	6,244	20,38	457,5	1,964
1a	Вихід випарника	3,0	6,244	19,4	466	1,995

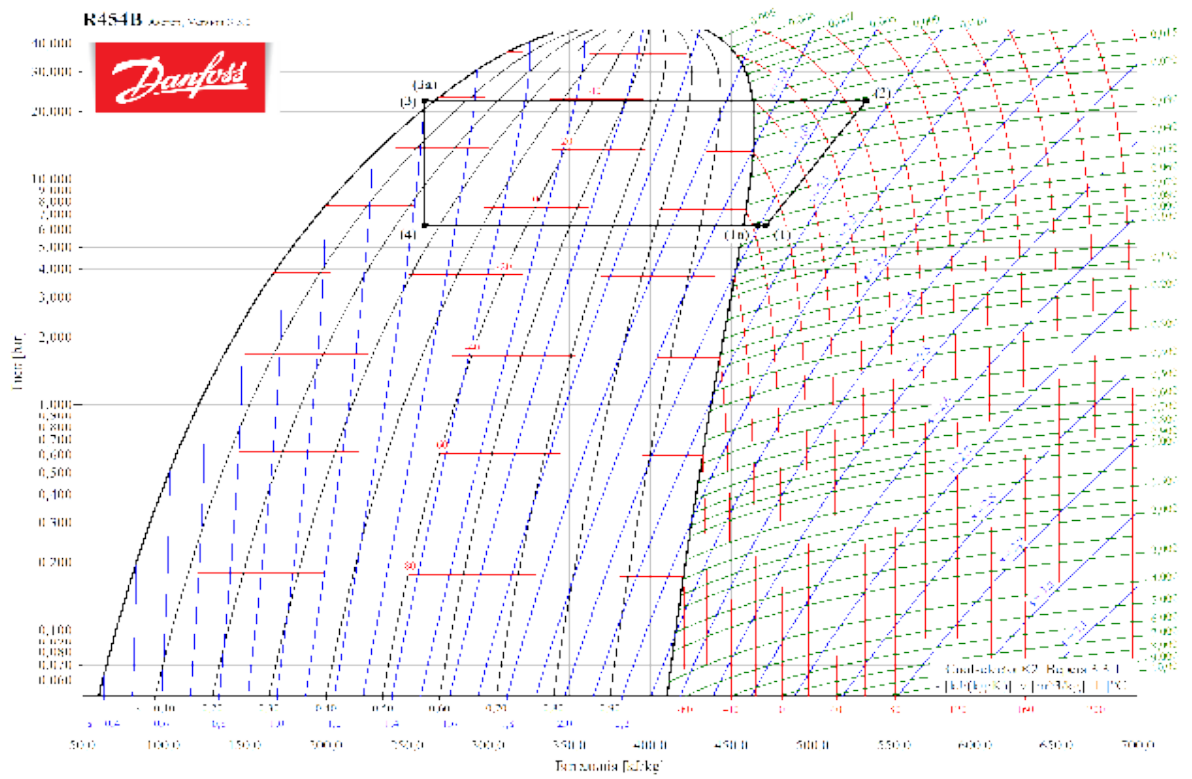
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10

Арк.

105

# Log(p)-h діаграма



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

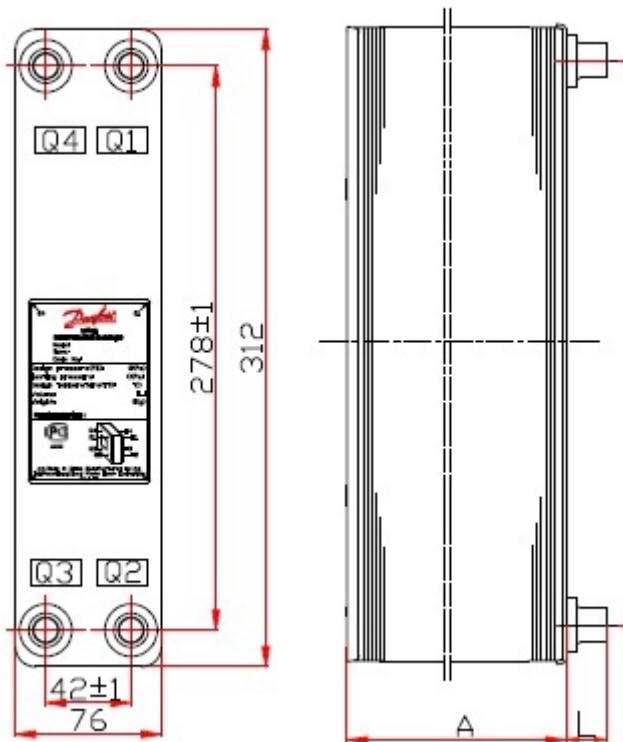
КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10

Арк.

106

Число Рейнольдса		18385		313
Початкова температура:	°C	86.16		42.50
Середня температура стінки:	°C	49.31		48.83
Динамічна в'язкість:	mPa-s	0.0161		0.6264
Динамічна в'язкість:	mPa-s	0.0152		0.5601
Густина:	kg/m <sup>3</sup>	57.5		992.0
Теплова потужність:	kJ/kg-K	1.211		4.176
Теплопровідність:	W/m-K	0.019		0.630

H22-C-14



Кількість пластин:	14	
A: (mm)	24.7	
L: (mm)	20.0	
Маса (kg):	1.21	
Об'єм каналу (L):	Q1 Q2 сторона: 0.147 / Q3 Q4 сторона: 0.126	
Розрахунковий тиск (макс.) (bar):	30	
Розр-ва темп-ра (Мін./Макс.) (°C):	-196 / +200	
Паяні приєднання(Максимальний):	7/8	
Зовнішня різь(Максимальний):	3/4	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10

Арк.

116

## 9. Розрахунок ґрунтового колектора

### 9.1. Обґрунтування вибору холодоносія

Детальніше розглянемо теплофізичні властивості і характеристики водного розчину етиленгліколю. Водний розчин етиленгліколю володіє:

- 1) Більш високою щільністю в порівнянні з водою як теплоносієм, на 8% -9% і щільність розчину підвищується зі збільшенням концентрації етиленгліколю.
- 2) Теплоємність і теплопровідність зменшуються (в порівнянні з водою) в межах до 20% зі зростанням концентрації етиленгліколю і зниженням робочої температури в мінусовій зоні.
- 3) Кінематична і динамічна в'язкість вище ніж у води 2-3 рази на зоні позитивних температур і зростають в 8-10 разів при підвищенні концентрації до практичних граничних 65% і відповідно зниженні температури кристалізації до мінус -65 ° С.

Підвищена в'язкість водного розчину етиленгліколю в зоні негативних робочих температур призводить до значного зростання гідравлічних втрат на тертя в трубопроводах і на подолання гідравлічних опорів у всіх вузлах системи охолодження і промислового кондиціонування. Також і значне зниження, до 18%, теплоємності і теплопровідності розчину етиленгліколю вимагає підвищення швидкості циркуляції тепло-холодоносія в системі або інших технічних рішень для забезпечення передачі (прийому) необхідної теплової потужності (енергії).

Всі ці фактори, як наслідок, приведуть до особливих винятковим ситуацій (умов) при експлуатації інженерних систем в різних кліматичних умовах. І їх слід врахувати при проектуванні і експлуатації систем опалення та промислового кондиціонування.

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		117

**Таблица 9.1** Теплофизические свойства 20% водного раствора этиленгликоля, температура кристаллизации минус - 10 °С

Температура раствора, t°С	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплоемкость, Ср, кДж/(кг*К)	Теплопроводность, Вт/(м*К)	Динамическая вязкость, *10 <sup>-3</sup> [Н*с/м <sup>2</sup> ]	Кинематическая вязкость, *10 <sup>-6</sup> [м <sup>2</sup> /с]
-10°С	1038	3,85	0,498	5,19	5,0
0°С	1036	3,87	0,500	3,11	3,0
20°С	1030	3,90	0,512	1,65	1,6
40°С	1022	3,93	0,521	1,02	1,0
60°С	1014	3,96	0,531	0,71	0,7
80°С	1006	3,99	0,540	0,523	0,52
100°С	997	4,02	0,550	0,409	0,41

**Таблица 9.2** Теплофизические свойства 36% водного раствора этиленгликоля, температура кристаллизации минус - 20 °С

Температура раствора, t°С	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплоемкость, Ср, кДж/(кг*К)	Теплопроводность, Вт/(м*К)	Динамическая вязкость, *10 <sup>-3</sup> [Н*с/м <sup>2</sup> ]	Кинематическая вязкость, *10 <sup>-6</sup> [м <sup>2</sup> /с]
-20°С	1069	3,51	0,462	11,76	11,0
0°С	1063	3,56	0,466	4,89	4,6
20°С	1055	3,62	0,470	2,32	2,2
40°С	1044	3,68	0,473	1,57	1,5
60°С	1033	3,73	0,475	1,01	0,98
80°С	1022	3,78	0,478	0,695	0,68
100°С	1010	3,84	0,480	0,515	0,51

**Таблица 9.3** Теплофизические свойства 54% водного раствора этиленгликоля, температура кристаллизации минус - 40 °С

Температура раствора, t°С	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплоемкость, Ср, кДж/(кг*К)	Теплопроводность, Вт/(м*К)	Динамическая вязкость, *10 <sup>-3</sup> [Н*с/м <sup>2</sup> ]	Кинематическая вязкость, *10 <sup>-6</sup> [м <sup>2</sup> /с]
-40°С	1108	3,04	0,416	110,8	100
-20°С	1100	3,11	0,409	27,50	25
-10°С	1096	3,15	0,407	17,56	18,5
0°С	1092	3,19	0,405	10,37	9,5
20°С	1082	3,26	0,402	4,87	4,5
40°С	1069	3,34	0,398	2,57	2,4
60°С	1057	3,41	0,394	1,59	1,5
80°С	1045	3,49	0,390	1,05	1,0
100°С	1032	3,56	0,385	0,722	0,7

## 9.2. Розрахунок геотермального зонда

Теплові насоси використовують безкоштовні, 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 на протязі року. Так вже на глибині 2 метрів температура ґрунту коливається від 7 до 13 °С.

Існує багато різновидів грантових колекторів. З 1986 року в Швейцарії, проводилися дослідження системи з вертикальними ґрунтовими теплообмінниками. У ґрунтовому масиві був влаштований вертикальний ґрунтовий теплообмінник коаксіального типу завглибшки 105 м. Цей теплообмінник використовувався як джерело низькопотенційної теплової енергії для теплонасосної системи, встановленої в одноквартирному житловому будинку. Вертикальний ґрунтовий теплообмінник забезпечував пікову потужність приблизно 70 Вт на кожний метр довжини, що створювало значну теплове навантаження на навколишній ґрунтовий масив. Річне виробництво теплової енергії становить близько 13 МВт • год. На відстані 0,5 і 1 м від основної свердловини були пробурені дві додаткових, в яких на глибині в 1, 2, 5, 10, 20, 35, 50, 65, 85 і 105 м встановлені датчики температури, після чого свердловини були заповнені глинисто-цементною сумішшю. Температура вимірювалася кожні тридцять хвилин. Крім температури ґрунту фіксувалися і інші параметри: швидкість руху теплоносія, споживання енергії приводом компресора, температура повітря та ін.

Спостереження проводилися на протязі десяти років. На підставі експериментальних даних були побудовані математичні моделі процесів, що

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
						119
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В якості теплоносія первинного контуру рекомендується використовувати розчин етиленгліколю з точкою замерзання приблизно  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$  (концентрація  $>20-25\%$ ). У розрахунках слід врахувати, що теплоємність розчину при температурі  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  становить  $3,7\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ , а густина -  $1,05\text{ г}/\text{см}^3$ . Слід зауважити також, що при використанні розчину, втрата тиску в трубах в 1,5 рази більше, ніж при циркуляції води. Для розрахунку параметрів первинного контуру теплонасосної установки буде потрібно визначити витрату теплоносія:

$$V_s = Q_o \cdot 3600 / (\rho \cdot c_p \cdot t), \text{ м}^3/\text{год} \quad (9.1)$$

$$V_s = 4.9 \cdot 3600 / (1036 \cdot 3.87 \cdot 3) = 1.47, \text{ м}^3/\text{год}$$

де,  $t$  – різниця температур між лініями подачі та возврату теплоносія, яку часто приймають рівною  $3\text{ К}$ .

$Q_o$  – теплова потужність, що отримується від низькопотенційного джерела (грунт), розраховується як різниця повної потужності теплового насоса  $Q_{wp}$  і електричної потужності, що витрачається на нагрів холодоагенту  $P$ :

$$P_e = P_n \cdot (1 - 1/\text{COP}), \text{ кВт} \quad (9.2)$$

$$P_e = 18.6 \cdot (1 - 1/3.8) = 13.7 \text{ кВт}$$

Сумарна довжина труб колектора  $L$  розраховується за формулами:

$$L = P_e / q, \text{ м} \quad (9.3)$$

$$L = 13.7/0,05 = 274, \text{ м}$$

Підбираємо 3 вертикальні скважини-зонди довжиною  $100\text{ м}$ . з кроком укладання  $6\text{ м}$ .

					<i>КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10</i>	Арк.
						121
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 10.ОХОРОНА ПРАЦІ

*Техніка безпеки при експлуатації систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.*

Системи опалення. У приміщеннях з вибухонебезпечними виробництвами застосовують системи повітряного опалення, суміщені з припливною вентиляцією без рециркуляції повітря. Не дозволяється застосовувати пічне опалення та опалення з інфрачервоними або високотемпературними випромінювачами. У даних приміщеннях і приміщеннях з пожежонебезпечними виробництвами допускаються системи водяного та парового опалення.

Не допускається парове і водяне опалення, якщо в цехах застосовують речовини, зіткнення яких з нагрітими поверхнями систем опалення, з водою або водяною парою може привести до їх самозаймання або розкладанню з вибухом. У таких цехах слід передбачати тільки повітряне опалення.

Місцеві нагрівальні прилади і калорифери, що живляться теплоносіями з температурою вище  $105^{\circ}\text{C}$ , повинні розміщуватися на відстані не менше 100 м від горючих конструкцій.

У будівлях, спорудах і приміщеннях з вибухонебезпечними виробництвами місцеві нагрівальні прилади опалення з температурою теплоносія більше  $130^{\circ}\text{C}$  захищаються екранами з негорючих матеріалів. Відстань між екранами і нагрівальними приладами має бути не менше 100 мм. Незнімні екрани повинні мати відкриваються дверки або отвори для очищення приладів.

При експлуатації калориферів необхідно стежити, щоб контрольно-вимірвальні прилади були постійно справними; опір проходу повітря не перевищувало паспортної величини; ребра калориферів не забруднює горючими і іншими відкладеннями. Очищення калориферів від забруднень повинна проводитися пневматичним або гідропневматичним способом. Не

					<i>КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		122

допускається зберігати або тимчасово розміщувати горіти, на горючих поверхнях калориферів і трубопроводах з теплоносієм.

Поверхні нагрівальних приладів і трубопроводів опалення слід систематично очищати від пилу та інших відкладень. Забороняється складати спецодяг, промасленого ганчір'я та інші горючі матеріали на нагрівальні прилади і трубопроводи опалення.

*Системи вентиляції і кондиціонування.*

Техпрацівник, який здійснює контроль за вентиляційними установками, повинен проводити планові профілактичні огляди вентиляторів, повітроводів, захисних та інших пристроїв і вживати заходів до усунення несправностей або порушень режиму, що створюють можливість виникнення або поширення пожежі.

У приміщеннях з вибухонебезпечними виробництвами не допускається робота технологічного обладнання при несправності пиловідсмоктуючих, пилоуловлюючих систем, гідрофільтрів, сухих фільтрів і інших пристроїв систем вентиляції.

Концентрація вогнебезпечних або токсичної пари, газів або пилу в приміщеннях, а також в пристроях, що вимагають безперервного або періодичного перебування людей, не повинна перевищувати гранично допустимих значень за санітарними нормами. У неробочий час, а також у приміщеннях, в яких не перебувають люди, коли концентрація шкідливих речовин по санітарним нормам не регламентується, зміст вогнебезпечних шкідливих в усі періоди експлуатації повинно бути менше 20% нижньої концентраційної межі займання газів, парів або пилу.

Тунелі і прямки глибиною понад 0,5 м у вибухонебезпечних виробництвах, в яких можуть накопичуватися горючі гази або пари щільністю більше 0,8 по повітрю, слід вентилувати припливної системою вентиляції з механічним спонуканням. Тунелі і прямки, що вимагають регулярного обслуговування, повинні, крім того, мати витяжну вентиляцію.

					<i>КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		123

Вентиляційне обладнання, клапани, фільтри та інше допоміжне обладнання систем вентиляції та кондиціонування повітря, в які в процесі експлуатації можливе попадання вибухонебезпечних сумішей газів, парів або пилу з повітрям, повинно мати вибухо- або іскронеутворюючого виконання.

Підшипники мають бути регулярно змащені (не рідше одного разу на місяць при заливці підшипника рідким мінеральним маслом і не рідше одного разу на 3-4 місяці в разі застосування консистентних мастил), а їх корпусу не нагрівалися вище 40 ° С; в іншому випадку підшипники очищають і заповнюють свіжою мастилом;

про робочі колеса і внутрішні поверхні кожухів очищалися від конденсату, пилових та інших відкладень. Для очищення можна застосовувати тільки іскронеутворюючого інструменти;

Про заземлення вентиляторів були в справному стані і періодично (не рідше одного разу в 6 місяців) проводилася їх ревізія.

#### *Категорії виробництв по вибухопожежній небезпеці*

Класифікація виробництва по ступеню вибуховою, вибухопожежної і пожежної небезпеки згідно ОНТП 24-86.

Згідно нормам технологічного проектування по вибухопожежній і пожежній небезпеці приміщення і будівлі підрозділяють на категорії А, Б, В, Г і Д.

Визначають категорії шляхом послідовної перевірки відповідності приміщення вимогам, що пред'являються до кожної групи:

Машинні і апаратні відділення холодильної установки відносяться до категорії Д.

Техніка безпеки на холодильниках передбачає наступні вимоги: приміщення холодильників повинні бути забезпечені засобами пожежогасінні, всі ізольовані трубопроводи в місцях проходження через стіни і перекриття повинні мати вставки з ізоляційного матеріалу, що не згорає, в машинному відділенні повинні бути спеціальні місця для зберігання в закритому вигляді обтиральних матеріалів (забороняється зберігання бензину, гасу і інших легкозаймистих

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
						124
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

речовин), будівельні, монтажні і ремонтні роботи із застосуванням відкритого полум'я і електрозварювання в холодильних камерах і машинних відділеннях повинні здійснюватися за наявності письмового допуску і при дотриманні протипожежних заходів.

#### *Методи визначення місць витоків холодильного агента*

Нещільність в хладонових холодильних установках виконують за допомогою розчину мильної емульсії, полімерних індикаторів, галоїдних ламп і течешукачів. Перспективним засобом є додавання до хладонів фарбувальних індикаторів, створюючих в місцях нещільності стійкі колірні плями.

При контролі за допомогою розчину мильної емульсії нещільності виявляють по бульбашках, що виникають в місцях витoku. Чутливість розчину мильної емульсії невисока, контроль герметичності систем хладагента трудомісткий, з розчином складно працювати при відємній температурі навколишнього повітря. Полімерні індикатори - водні розчини природних і синтетичних полімерів з додатками поверхнево-активних речовин, регуляторів водневого показника середовища, антифризів і фарбників. Індикатори мають високу чутливість і використовуються в інтервалах температур навколишнього повітря  $+5 \div +30^{\circ}\text{C}$  («склад-1»). У місцях витоків полімерний склад, нанесений на контрольовану поверхню фарборозпилювачем, утворює скупчення міхурів або «кокони» піни, які стійко зберігаються не менш ніж 24 години.

Принцип дії галоїдної лампи заснований на властивості з'єднань, що містять галоїди (фтор і хлор), змінювати колір полум'я пальника у присутності нагрітої до  $600 - 700^{\circ}\text{C}$  міді. Галоїдні течешукачі (типу ВАГТІ-3, ГТІ-6, БГТІ5) володіють вищою чутливістю, ніж галоїдні лампи. Принцип дії течешукачів заснований на властивості розжареної платини збільшувати іонну емісію з своєї поверхні у присутності газів, що містять галоїди.

При визначенні місць витoku фреону галоїдними лампами і течешукачами приміщення машинного відділення заздалегідь вентилують, під час перевірки в приміщенні не повинно бути сильних приток повітря.

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
						125
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список використаних джерел інформації

1. Мацевитый Ю.М., Чиркин Н.Б., Клепанда А.С., Об использовании тепловых насосов в мире и что тормозит их широкомасштабное внедрение в Украине // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2014. – № 2 (120). – с. 2 – 17.
2. Reports at the 8th IEA Heat Pump Conference, Las Vegas, 2005
3. Reports at the 9th IEA Heat Pump Conference, Zurich, 2008
4. Reports at the 10th IEA Heat Pump Conference, Tokyo, 2011
5. Степаненко В. А., Афанасьев А. С. «Тепловые насосы в системах теплоснабжения и кондиционирования городов и зданий Украины в 21 веке»// Международная конференции "Тепловые насосы в странах СНГ", 2013 г., г. Алушта (Крым, Украина).
6. Viessmann Примеры установок 2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.viessmann.ua/uk/sluzhby/broshury-dla-skachuvannia.html>
7. Viessmann Руководство по проектированию. Тепловые насосы. 2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.viessmann.ua/uk/sluzhby/broshury-dla-skachuvannia.html>
8. Лагутин А. Ю. Апараты холодильних установок. В двох томах. Том 1. – Одеса: видавництво ОДАХ, 2003. – 141 с.
9. Холодильні установки. Проектування: Учбовий посібник / Чумак І.Г., Лагутін А.Ю., Лар'яновський С.Ю., та ін.; Під ред. докт. тех. Н. проф. І.Г. Чумака. – 4-е вид. переробл. і доп. – Одеса: Друк, 2008. – том 3, – 156 с.
10. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, Вентиляція та Кондиціонування. Київ: Мінрегіонбуд України, 2013. - 141 с.
11. ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній трубопровід та каналізація. Київ: Мінрегіонбуд України, 2013. - 104 с.

					КРБ.ХУКП.1.576-03.1.10	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		126