

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**Факультет інженерних систем і екології  
Кафедра теплогазопостачання і вентиляції**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

**ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ  
ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ОБ'ЄКТІВ РІЗНОГО  
ПРИЗНАЧЕННЯ НА ПРИКЛАДІ ДИТЯЧОГО САДОЧКА У М.КИЄВІ**

**ЗАЦЕРКОВНА ЛЕСЯ ПЕТРІВНА**

Київ 2023 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**Факультет інженерних систем і екології  
Кафедра теплогазопостачання і вентиляції**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ К.М. Предун

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

**ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ  
ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ОБ'ЄКТІВ РІЗНОГО  
ПРИЗНАЧЕННЯ НА ПРИКЛАДІ ДИТЯЧОГО САДОЧКА У М.КИЄВІ**

Виконала студентка групи зТВ-22м

Спеціальність: будівництво та цивільна інженерія

Освітня програма: теплогазопостачання і вентиляція

Зацеровна Леся Петрівна

Керівник Предун К.М.,  
д.е.н., професор

Ідентичність підтверджую

Київ 2023 р.

## ЗМІСТ

	<b>РОЗДІЛ 1. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА БІОСФЕРНОЇ СУМІСНОСТІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД В УКРАЇНІ</b>	
1.1	Формулювання цілей атестаційної роботи.....	
1.2	Постановка проблеми.....	
1.3.	Аналіз досліджень та публікацій.....	
	<b>РОЗДІЛ 2. ВИКОРИСТАННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ ДЛЯ ПОТРЕБ ОПАЛЕННЯ</b>	
2.1	Принцип роботи та види ґрунтових теплових насосів.....	
2.2	Використання ґрунтових теплових насосів для потреб будівлі.....	
	2.2.1 Опалювальний цикл ґрунтових теплових насосів.....	
	2.2.2 Цикл охолодження.....	
	2.2.3 Вертикальний ґрунтовий теплообмінник – зонд.....	
2.3	Порядок проектування ґрунтових теплонасосних установок.....	
	ЛІТЕРАТУРА.....	
	<b>РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ПОЛЯ ДЛЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ</b>	
3.1	Розрахунок кількості геотермальних зондів і вибір способу їх розміщення в ґрунті.....	
3.2	Вихідні дані для проведення CFD- моделювання.....	
3.3	Розрахунок зимового циклу.....	
3.4	Розрахунок літнього циклу.....	
3.5	Результати розрахунків.....	
	ЛІТЕРАТУРА.....	
	<b>РОЗДІЛ 4. ВИПРОБУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ СИСТЕМ</b>	
4.1	Загальні положення.....	
4.2	Процедури.....	
	4.2.1 Аналіз системи перед випробуванням.....	

	4.2.2. Гідравлічні випробування тиском.....	
	4.2.2.1. Підготовка.....	
	4.2.2.2. Проведення випробування.....	
	4.2.2.3. Кінець випробування.....	
	4.2.3. Пневматичні випробування тиском після гідравлічних випробувань.....	
	4.2.3.1. Підготовка.....	
	4.2.3.2. Регламент.....	
4.3	Документація.....	
	ЛІТЕРАТУРА.....	
	<b>РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	
5.1	Загальна інформація.....	
5.2	Заходи безпеки при виконанні земляних робіт на глибині понад 2 м.....	
5.3	Техніка безпеки під час виконання робіт по монтажу зовнішніх трубопроводів.....	
	ЛІТЕРАТУРА.....	
	<b>РОЗДІЛ 6. ЕКОЛОГІЯ</b>	
6.1	Розрахунок викидів при спалюванні природного газу в котельні.....	
6.2	Розрахунок викидів при роботі компресорів теплових насосів.....	
6.3	Порівняння викидів парникових газів від котельні на природному газі та від теплонасосної установки.....	
	ЛІТЕРАТУРА.....	

## Розділ 1. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА БІОСФЕРНОЇ СУМІСНОСТІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД В УКРАЇНІ

### 1.1. Формулювання цілей атестаційної роботи

На шляху змін в економіці України актуальності набуває активізація зусиль з реалізації проектів в енергетичній галузі, що ґрунтуються на принципах біосферосумісності. Метою даної роботи є дослідження шляхів трансформації інфраструктури житлово-комунального господарства в частині теплопостачання будівель і споруд для підвищення їх енергетичної ефективності шляхом впровадження альтернативних джерел енергії.

### 1.2. Постановка проблеми

Після підписання Угоди про асоціацію з Європейським Союзом [ 1], приєднанням нашої держави до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства [ 2] пріоритетом державної політики стають підвищення енергоефективності та використання енергії з альтернативних джерел для потреб економіки країни та захисту довкілля. У 2035 р. частка відновлюваної енергетики повинна становити не менше 25 % у первинному енергопостачанні держави [ 3].

На сьогоднішній день основними інструментами державної політики стимулювання розвитку вітчизняного сектору відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) є: встановлення «зеленого» тарифу на електричну енергію, вироблену з альтернативних джерел та встановлення стимулюючого тарифу на теплову енергію з відновлюваних джерел [ 4]. Тобто, пріоритетом державної політики має стати спрямування систем енергопостачання до засад біосферної сумісності. Сенс процесу еколого-енергетичної оптимізації – не заміна одного джерела енергії іншим, а економічна та індустріальна трансформація, декарбонізація та децентралізація.

Одним із практично невичерпних джерел енергії служить теплота, акумульована земною корою, що знаходиться в твердій, рідкій та пароподібній фазах, яка називається геотермальною енергією. У той же час геотермальна енергія, носієм якої є тверді породи земних надр, називається петротермальною енергією. Її використання в різних технічних пристроях є найбільш доступним, економічно та екологічно доцільним.

### 1.3. Аналіз досліджень та публікацій

Відомі різні способи отримання теплоти твердих порід земної кори, що знаходяться на великій глибині, де під дією геотермального градієнта їх температура досягає значної величини. У той самий час термальна енергія приповерхневих шарів земної товщі наразі практично не використовується. Йдеться про теплоті масиву ґрунту, розташованого на достатній відстані від земної поверхні, а саме нижче шару, в якому температура порід схильна до сезонних коливань, викликаних річною зміною сонячної радіації. Цей шар ще називають в геофізиці геліотермозоною.

Виконані дослідження свідчать, що зі збільшенням відстані від поверхні ґрунту коливання температури масиву порід, викликані сезонними, а тим більше добовими змінами сонячної радіації, швидко згасають. Водночас роль геотермального інгредієнта на певній відстані поки що незначна. Існує глибина, нижче якої зазначена температура ґрунту стає менше наперед заданої величини. Нижче зазначеної глибини температуру можна прийняти позитивно сталою величиною. На території України, за винятком гірської місцевості, температура масиву порід нижче геліотермозони змінюється від  $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$  у північних регіонах до  $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$  у південних.

Відомості про температурне поле надр Землі у конкретній місцевості можуть бути отримані безпосередньо шляхом вимірювання температури порід інструментальними методами при бурінні свердловин на відповідну глибину. Це достатньо дорогий спосіб і економічно виправданий лише при

плануванні та розробці родовищ корисних копалин. У той же час досить надійні відомості про температурне поле земних надр можуть бути отримані аналітичними методами, які ґрунтуються на сучасних уявленнях про найважливіші джерела формування температурного поля на різних глибинах та механізмах перенесення теплоти у відповідних породах. Розгляду зазначених уявлень та вирішенню на їх основі завдань про структуру температурного поля земної кори присвячені роботи багатьох дослідників [ 5, 6, 7]. Одна з них, [ 8] наприклад, містить результати досліджень про температурний режим верхніх шарів ґрунту, що виконувались в інтересах сільського господарства, і обмежуються глибиною до 3,2 м. Інші роботи присвячені вивченню температурного поля глибоких надр Землі, починаючи з глибин 200-300 м і більше [ 5, 6, 7].

Таким чином, аналіз літературних джерел дозволяє зробити висновок про недостатнє наукове опрацювання питань щодо формування температурного поля в приповерхневих шарах земної кори, зокрема, на глибинах, де сезонні коливання температур на поверхні ґрунту згасають, а впливом геотермального градієнта можна знехтувати. Тут встановлюється квазістаціонарний температурний режим з практично постійною по глибині і позитивною температурою. Для забезпечення ефективного та цілорічного використання ґрунтових теплонасосних установок саме тут (на глибинах до 100 м) доцільно розташовувати їхню активну теплообмінну поверхню.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. – URL: [http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_011](http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011) (дата звернення: 12.09.2023).
2. Про ратифікацію Протоколу про приєднання України до договору про заснування Енергетичного Співтовариства: закон України: станом 1.01.2019 р. – № 2787-VI ([2787-17](#)) від 15.12.2010. – К.: ВВР, 2011, №24, ст.170.
3. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». – Схвал. розпорядженням КМУ від 18.08.2017 р. №605-р. – URL: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art\\_id=245234085](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245234085) (дата звернення: 12.09.2023).
4. Про внесення змін до Закону України «Про теплопостачання» щодо стимулювання виробництва теплової енергії з альтернативних джерел енергії»: закон України, № 1959-VIII від 21.03.2017 р. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1959-19#Text> (дата звернення: 12.09.2023).
5. Дядькин Ю.Д. Основы горной теплофизики. – М.: Недра, 1968. – 147 с.
6. Кремнев О.А., Журавленко В.Я. Тепло- и массообмен в горном массиве подземных сооружений. – К.: Наукова думка, 1986. – 236 с.
7. Щербань А.Н., Бабинец А.Е., Цырульников А.С., Дядькин Ю.Д. Тепло Земли и его извлечение. – К.: Наукова думка, 1974. – 230 с.
8. Чудновский А.Ф. Теплофизика почвы. – М.: Наука, 1976. – 76 с.

## РОЗДІЛ 2. ВИКОРИСТАННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ ДЛЯ ПОТРЕБ ОПАЛЕННЯ

### 2.1. Принцип роботи та види ґрунтових теплових насосів

Теплота ґрунту на глибині до 20 м є накопиченою сонячною теплою, яка переходить в ґрунт завдяки прямому обігріву сонячними променями, передачі теплоти від повітря або атмосферних опадів. Теплота більш глибоких шарів, нижче 20 м (т.з. «нейтральної зони»), формується енергією, яка надходить з надр землі і практично не залежить від сезонних змін клімату.

Для відбору теплоти ґрунту використовуються теплові насоси конфігурації «ґрунт – вода» або «ґрунт – повітря». такі системи складаються з теплового насосу на ґрунтових теплообмінників. Сам тепловий насос розміщується в котельному приміщенні, до якого підводиться контур ґрунтового теплообмінника [1].

Тепловий насос є основним елементом системи геотермального опалення, яка в свою чергу складається з двох контурів – внутрішнього і зовнішнього. І саме тепловий насос є тим елементом, який об'єднує їх між собою. Внутрішній контур – це традиційна система опалення будівлі, а зовнішній – теплообмінник, який монтується під землею. В ньому циркулює рідина, яка не замерзає – розсіл або антифриз. Ця рідина приймає на себе температуру ґрунту і вже прогріта надходить в геотермальний (тепловий) насос, який і передає цю теплоту внутрішньому контуру. Таким чином і відбувається нагрівання води в радіаторах.

Принцип роботи геотермальної системи опалення наведено на рис.2.1.

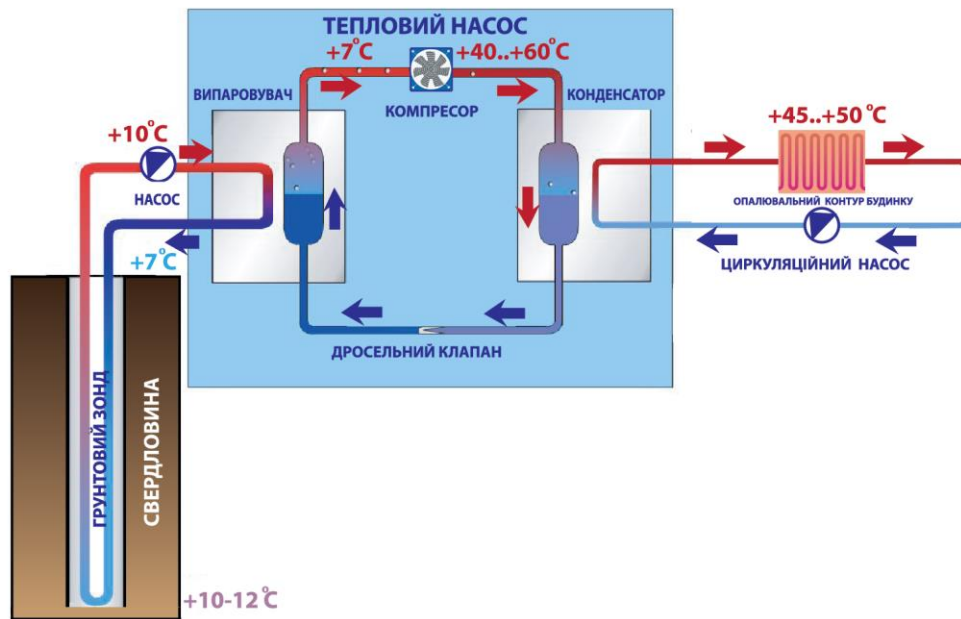


Рис.2.1. Принцип роботи геотермальної системи опалення

Тепловий насос складається з 4-х основних елементів:

- випарник;
- конденсатор;
- розширювальний вентиль (дросель), що знижує тиск;
- компресор для підвищення тиску.

Всі ці структурні елементи зв'язані між собою замкненим контуром трубопроводів. У системі трубопроводів циркулює холодоагент. У випарнику відбувається процес кипіння холодоагенту за рахунок надходження теплоти від теплоносія. Пара, що утворюється від процесу, стискається компресором, що також супроводжується підвищенням температури, і надходить у конденсатор, де відбувається вже відбір теплоти в систему опалення. З конденсатора рідкий, з меншою температурою холодоагент надходить в дросельний клапан, що здійснює автоматичну підтримку процесу кипіння холодоагенту у випарнику. За рахунок одночасної роботи агрегатів теплового насосу і повторення термодинамічного циклу реалізується постійне нагрівання води до температури, яка задається [2].

За принципом дії ґрунтові теплові насоси розділяють на:

- системи прямого розширення – в ґрунт закладається контур мідного трубопроводу, по якому циркулює холодоагент;
- системи з розсільною рідиною – в ґрунт закладається контур трубопроводу, по якому циркулює теплоносіє, що не замерзає. Відібрана теплота в процесі циркуляції передається тепловому насосу.

Теплові насоси з ґрунтовими теплообмінниками прямого розширення мають більш високу ефективність в порівнянні з тепловими насосами ґрунтового типу з використанням розсолу. Ця відмінність пояснюється тим, що в системах з розсілним контуром відбувається подвійний теплообмін «ґрунт – розсіл» та «розсіл – холодоагент» на відміну від теплообміну систем прямого розширення «ґрунт – холодоагент». В системах з використанням теплоносія як переносника теплоти також накладаються додаткові витрати на забезпечення роботи циркуляційного насосу [1].

Геотермальні теплові насоси для відбору теплоти використовують ґрунтові свердловини глибиною 50 - 100 м (ґрунтовий зонд) або заглиблені паралельно поверхні землі на 0,8 – 1,5 м ґрунтові колектори.

На рис. 2.2 наведено варіант реалізації теплового насосу з ґрунтовим зондом.

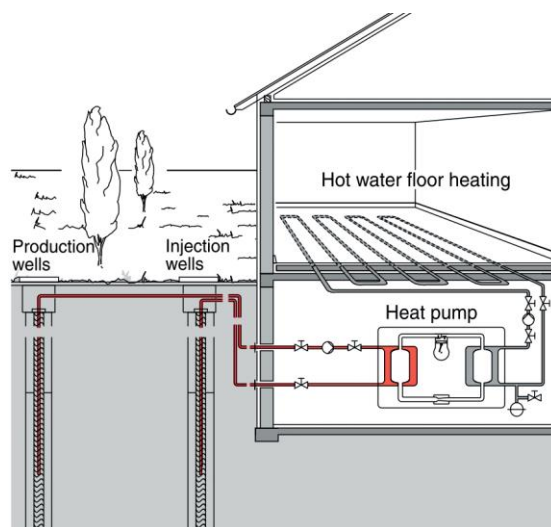


Рис.2.2. Варіант реалізації теплового насосу з ґрунтовим зондом

Ґрунтові зонди вводяться вертикально у ґрунт на глибину до 150 метрів. Довжина труб та відстані між ними залежать від характеристик ґрунту та від потужності відбору тепла, тобто від кількості енергії, необхідної для опалення будинку. Як теплоносій часто використовуються спеціальні розсоли.

Переваги:

- надійність;
- незначна площа, що займає свердловина зонда;
- висока річна ефективність теплового насоса.

Недоліки:

- відносно високі інвестиційні витрати [3].

На рис.2.3. наведено варіант реалізації теплового насосу з ґрунтовим колектором.

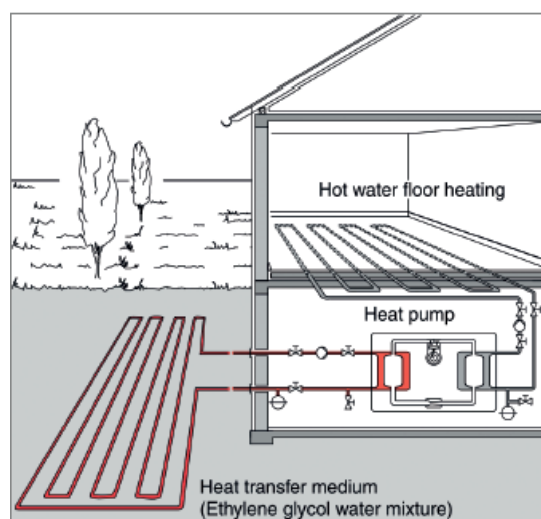


Рис.2.3. Варіант реалізації теплового насосу з ґрунтовим колектором

Ґрунтові колектори використовують тепло безпосередньо з-під поверхневих шарів. Вони укладаються горизонтально у ґрунт нижче рівня промерзання, який для умов України розташований приблизно на глибині 1,2 м. Колектори зазвичай мають нижчу вартість монтажу у порівнянні з ґрунтовими зондами, але потребують значного вільного місця.

Переваги:

- низькі інвестиційні витрати;

- висока річна ефективність теплового насосу.

Недоліки:

- велике значення має точний розрахунок;
- інтенсивний понаднормовий відбір тепла може викликати перемерзання ґрунту навколо колекторного поля;
- є проблема виникнення «повітряних мішків» під час неправильного прокладання труб;
- неможливість розміщення будівель і висадження дерев на місці розташування колекторного поля [3].

Горизонтальний контур потребує великої площі присадибної ділянки для монтажу, тоді як вертикальний зонд можна встановити на ділянці в кілька метрів. Головна умова для цього: вільний під'їзд техніки для буріння [4].

Відведення тепла ґрунту здійснюється через пластмасові труби, що укладаються паралельно поверхні землі зазвичай декількома контурами на великій площі. Довжина одного контуру не повинна перевищувати 100 м, інакше буде потрібний насос великої потужності. Окремі контури підключаються до гребінки, яка для видалення повітря з трубопроводу розташовується в його найвищій точці.

Переваги геотермальних теплових насосів:

- залишається постійним джерелом теплоти не залежно від зміни зовнішніх температур;
- можливість реалізації пасивного охолодження;
- середньорічний COP = 4,5...5,5 (в залежності від виробника).

Недоліки:

- значні капіталовкладення;
- установка потребує значну площу для буріння свердловин і прокладання колекторів;
- як правило, застосовується колектор типу «старт – стоп» - підвищене електроспоживання за рахунок великих пускових токів. Як наслідок – низький ресурс довговічності компресора. Для зменшення кількості

- пусків - зупинок компресора обов'язковим є застосування буферної ємності в системі опалення. Геотермальний тепловий насос з інверторним компресором немає вищезазначених недоліків, а також не потребує застосування буферної ємності;
- складне технічне обслуговування [5].

## 2.2. Використання ґрунтових теплових насосів для потреб будівлі

Ґрунтові теплові насоси можуть задовольнити різні потреби комфорту у домі, включаючи:

*Тільки опалення:* Тепловий насос використовується тільки для опалення. Це може включати як опалення приміщень, так і виробництво гарячої води.

*Опалення з «активним охолодженням»:* Тепловий насос використовується як для опалення, так і для охолодження.

*Опалення з «пасивним охолодженням»:* Тепловий насос використовується для опалення, а його обхідний канал – для охолодження. При охолодженні рідина з будівлі охолоджується безпосередньо в ґрунтовому теплообміннику. Такі системи можуть бути організовані так, аби влітку, коли ТН головно працює на охолодження, мати гарячу воду від цього ж ТН.

Основні переваги від більшої ефективності систем ґрунтових теплових насосів особливо відчутні там, де температура повітря може опускатися нижче - 30°C. В таких умовах ґрунтові системи можуть працювати ефективніше, оскільки вони користуються більш високою та стабільною температурою від підземних шарів ґрунту. Типова температура води, що надходить на ґрунтовий тепловий насос, зазвичай перевищує 0°C, що дає COP близько 3 для більшості систем протягом найхолодніших зимових місяців.

### 2.2.1. Опалювальний цикл ґрунтових теплових насосів

Під час опалювального циклу (рис. 2.4) ґрунтові води, суміш антифризу або холодоагент (який циркулює через систему підземних трубопроводів та поглинає теплоту з ґрунту) направляється до теплового насосного агрегату всередині будинку. У системах з ґрунтовою водою або з розчином, який не замерзає, вона проходить через первинний теплообмінник, навкруги якого циркулює холодоагент. У системах DX холодоагент надходить безпосередньо в компресор без проміжного теплообмінника.

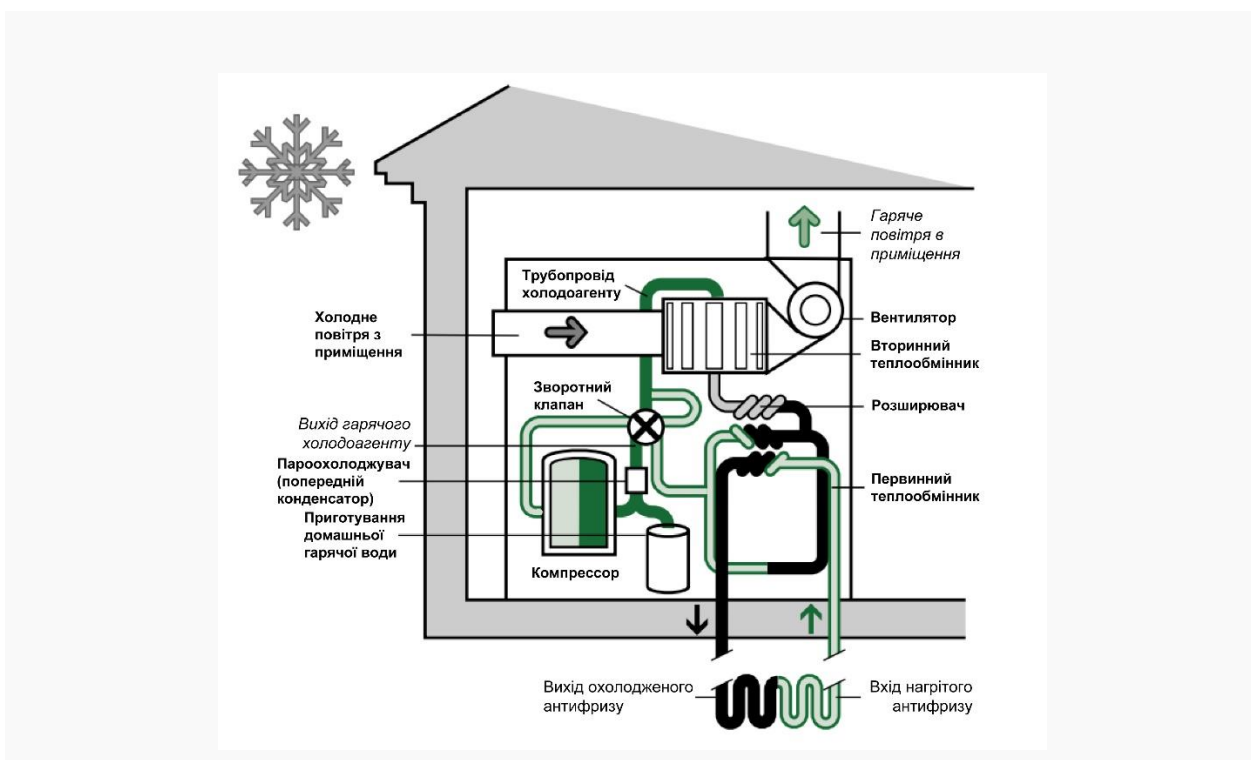


Рис. 2.4. Опалювальний цикл ґрунтових теплових насосів

Теплота передається холодоагенту, який закипає, перетворюючись на пари низької температури. У відкритій системі підземні води потім відкачуються назад та скидаються у ставок чи колодязь, або ж потрапляють у підземний водяний горизонт через свердловину. У системі із замкнутим контуром суміш антифризу або холодоагент для повторного нагрівання відкачується назад у систему підземних трубопроводів.

Зворотний клапан направляє пари холодоагенту до компресора. Потім пара стискається, що зменшує її об'єм та викликає її нагрівання.

Нарешті, зворотний клапан направляє гарячий газ до змішувача конденсатора, де він віддає своє тепло повітрю та / або гідросистемі для опалення будинку. Віддавши тепло, холодоагент проходить через розширювальний пристрій, де його температура та тиск знижуються ще до того, як він повернеться до першого теплообмінника, або у ґрунт. Після цього цикл повторюється.

### 2.2.2. Цикл охолодження

Цикл «активного охолодження» в принципі є зворотним циклом опалення. Напрямок руху холодоагенту змінюється за допомогою зворотного клапана. Холодоагент забирає теплоту з повітря в приміщенні та передає його безпосередньо або в ґрунтову воду, або у розчин антифризу. Потім теплота викачується назовні, у водойму, або повертається у свердловину (у відкритій системі), або в підземний трубопровід (у замкнутій системі). Частина цього надлишку теплоти може бути використана для попереднього підігріву гарячої води.

На відміну від повітряних теплових насосів, ґрунтові системи зазвичай не потребують циклу розморожування. Температури під землею набагато стабільніші за температуру повітря, а сам агрегат теплового насоса розташований всередині опалюваного службового приміщення. Якщо ґрунтовий теплообмінник має достатню площу теплового контакту і розгалуженість, то проблем з замерзанням оточуючого ґрунту також не виникає [6].

### 2.2.3. Вертикальний ґрунтовий теплообмінник – зонд

Температура ґрунту глибше 20 метрів стабільна протягом усього року і дорівнює 8-10 ° С, вона підтримується завдяки геотермальній енергії надр Землі. Для отримання цієї енергії використовують вертикальні ґрунтові теплообмінники «Зонди», які занурюють в свердловини глибиною 20-300 м і діаметром 120-200 мм. Зазвичай використовують пластикову трубу діаметром від 32 мм. У свердловину поміщають одну або дві петлі зонда і простір між ґрунтом і трубою заповнюють бентонітом або іншим розчином з високою теплопровідністю. Знімання теплоти з вертикального теплообмінника вище, ніж у горизонтального і приймається в середньому 50 Вт/м. Однак реальне значення може сильно відрізнятися.

Теплоємність ґрунту залежить від декількох факторів - типу ґрунту, геологічного складу, вологості. Чим вища вологість - тим більше теплоти можна отримати. Вологий глиняний ґрунт буде мати найкращі теплові характеристики, а великий вміст піску значно зменшить кількість відібраної теплоти.

В таблиці 2.1 наведені значення теплоємності різних видів ґрунту.

Таблиця 2.1 - Значення теплоємності ґрунту

Вид породи	Кількість знятої теплоти, Вт/м
Сухі осадові породи	20
Сухий пісок, гравій	25
Вологий пісок	35-40
Кам'янистий ґрунт, насичена водою волога глина	40-50
Вапняк	50-60
Граніт	60-80
Ґрунтові води	80-100

Ґрунт - найбільш оптимальне джерело розсіяної теплоти. Він акумулює сонячне випромінювання, яке падає на його поверхню та постійно отримує тепло від земного ядра. Ґрунт характеризується стабільною температурою, яка мало залежить від погоди. Вже на глибині 5 -7 метрів температура ґрунту практично стала протягом всього року і складає 10 - 12<sup>0</sup>С. На рис. 2.5. наведена зміна температури ґрунту в залежності від періоду року та глибини [7].

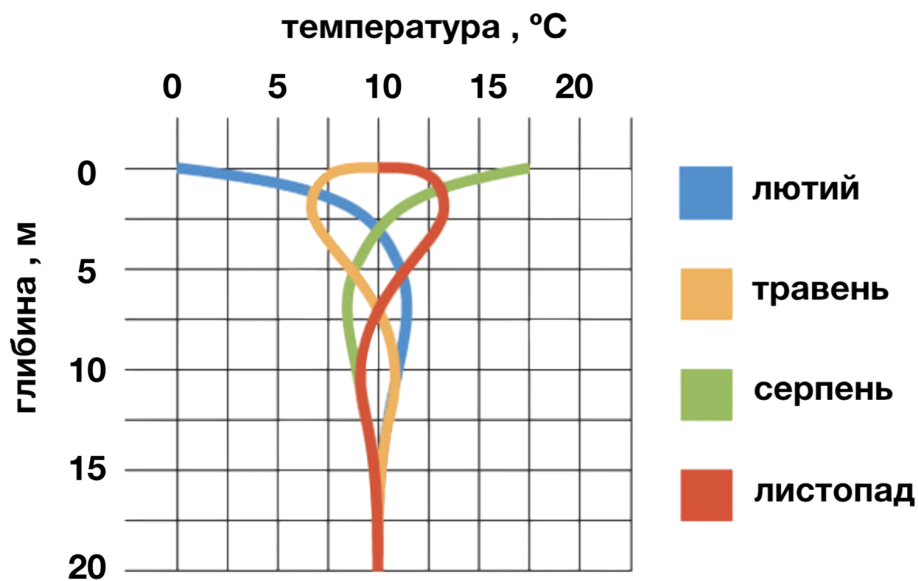


Рис.2.5. Зміна температури ґрунту в залежності від періоду року та глибини

Тепло надр землі хоч і є поновлюваним джерелом енергії, все ж теплова регенерація (відновлення) відбувається не так швидко, як ми витрачаємо теплоту ґрунту. Тому всі дані наведені з урахуванням 1800 годин роботи теплового насоса в рік. Згідно з дослідженнями в перші 2-3 роки температура ґрунту навколо теплообмінників різко знижується, однак з кожним роком зниження температури зменшується. Все це призводить до зниження ефективності теплового насоса. Якщо ж використовувати тепловий насос понад 1800 годин на рік, то існує ризик значного зниження температури навколо свердловини або навіть промерзання деяких ділянок. Це може

привести до просідання деяких шарів ґрунту і руйнування труб теплообмінника або до більш небезпечним наслідки для мікроклімату ґрунту і будівель поблизу свердловини. Для кращої регенерації ґрунту рекомендується в літній період подавати додаткове тепло в теплообмінник, наприклад від сонячних колекторів або використовувати тепловий насос для охолодження, тим самим підігріваючи зонд [8].

Суттєвою перевагою використання геотермальних зондів є можливість впровадження системи пасивного (природного) охолодження (рис. 2.6). Теплоносій з джерела теплоти - ґрунтових зондів, з низькою температурою (8-12°C), подається напряму в систему охолодження, що дає змогу заощаджувати до 95% енергії, в порівнянні з традиційними системами кондиціонування. Використання системи пасивного охолодження дає змогу збільшити моторесурс теплового насоса, оскільки в режимі охолодження не використовується робота компресора. Також, завдяки режиму природного охолодження, відбувається регенерація ґрунту теплотою, яка відводиться з приміщень. Таким чином, на початок опалювального сезону буде мати місце ґрунт, який накопичив значну кількість теплової енергії, яка далі ефективно використовується тепловим насосом.

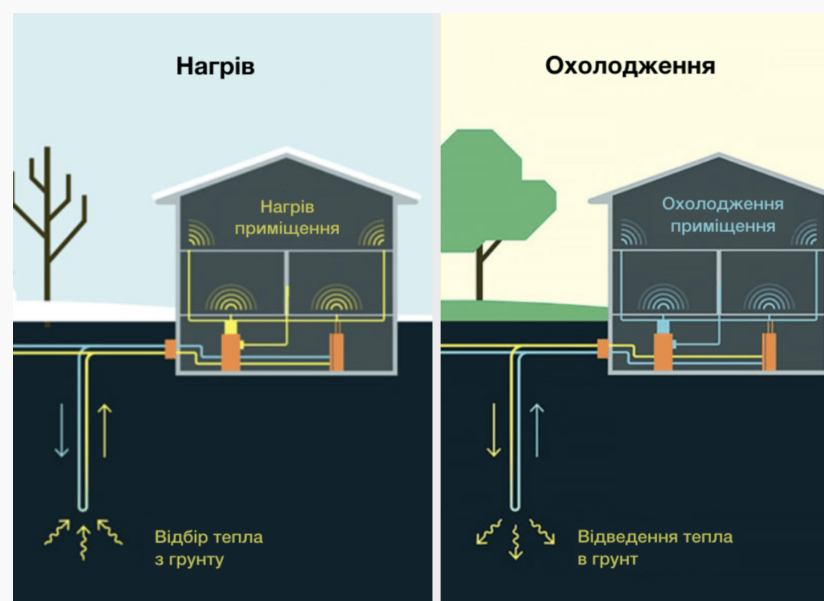


Рис.2.6. Робота ґрунтового зонду в режимах нагрівання та охолодження

### 2.3. Порядок проектування ґрунтових теплонасосних установок

На сьогоднішній день основним стандартом для проектування систем опалення з тепловими насосами виступає ДСТУ Б В.2.5 – 44:2010 «Інженерне обладнання будівель. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами». Він у повній мірі охоплює системи потужністю до 30 кВт.

В таких випадках як правило використовуються вертикальні геотермічні зонди із поліетиленових труб DN32 – DN40. Для таких проектів зонди розміщують на одній лінії впродовж межі ділянки. Максимально при цьому задіється ділянка земля навколо будівлі.

Для більш потужних систем пропонується виконувати індивідуальні розрахунки. Найбільш складною задачею є проектування систем потужністю більше 200 кВт.

Порядок проектування систем потужністю більше 200 кВт.

- Провести первинні геологічні дослідження ґрунтів, склавши «геологічну колонку» глибиною 100 м. Глибина може варіюватись в залежності від особливості території та геологічних порід, які зустрічаються за майданчику. Первинний аналіз ґрунту дозволяє оцінити енергетичний потенціал ділянки. У відповідності до ДСТУ Б В.2.5 – 44:2010 «Інженерне обладнання будівель. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами» у випадку використання теплового насоса з горизонтально розміщеним теплообмінником питомі значення відібраної теплоти для різних типів ґрунту будуть дорівнювати тим, що наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Питомі значення відібраної теплоти для різних типів ґрунту з використанням горизонтально розміщеного теплообмінника

Характеристика ґрунту	Питоме значення норми відбору теплової енергії при експлуатаційному періоді один рік	
	1800 год	2400 год
Сухий сипучий	10 Вт/м <sup>2</sup>	8 Вт/м <sup>2</sup>
Вологий в'язкий	20-30 Вт/м <sup>2</sup>	16-24 Вт/м <sup>2</sup>
Заповнений водою пісок або гравій	40 Вт/м <sup>2</sup>	32 Вт/м <sup>2</sup>

- При використанні вертикального теплообмінника питомі значення відібраної теплоти для різних типів ґрунту будуть дорівнювати тим, що наведені в таблиці 2.3.

- За результатами розрахунку виконується оцінка потенціалів теплового та холодильного навантажень, які можна вилучити з майданчика. Складається техніко – економічне обґрунтування, за результатами якого приймається рішення про подальше проектування системи обраного типу.

Таблиця 2.3 - Питомі значення відібраної теплоти для різних типів ґрунту з використанням вертикально розміщеного теплообмінника

Тип ґрунту	Питоме значення відібраної теплової енергії за експлуатаційний період в один рік	
	1800 год	2400 год
Загальні характеристики ґрунтів:		
Виснажений ґрунт (із сухими частинками і $\lambda < 1,5$ Вт/(м×°К))	25 Вт/м	20 Вт/м
Звичайний ґрунт із частинками просякнутими вологою $1,5 < \lambda < 3$ Вт/(м×°К)	60 Вт/м	50 Вт/м
Зцементована порода з високою теплопровідністю $\lambda > 3$ Вт/(м×°К)	84 Вт/м	70 Вт/м
Характеристики окремих видів ґрунту:		
Сухий гравій або пісок	< 25 Вт/м	< 20 Вт/м
Гравій або пісок вологий	(65...80) Вт/м	(55...65) Вт/м
Потужний потік ґрунтових вод у гравію або піску	(80...100) Вт/м	(80...100) Вт/ч
Волога глина	(35...50) Вт/м	(30...40) Вт/м
Важкий вапняк	(55...70) Вт/м	(45...60) Вт/м
Пісковик	(65...80) Вт/м	(55...65) Вт/м
Крем'янистий магматит (наприклад, граніт)	(65...85) Вт/м	(55...70) Вт/м
Базовий магматит (наприклад, базальт)	(40...65) Вт/м	(35...55) Вт/м
Діорит	(70...85) Вт/м	(60...70) Вт/м
<b>Примітка.</b> Наведені у таблиці значення дійсні для систем теплових насосів з тепловою продуктивністю до 30 кВт.		

- Проведення натурального випробування теплового потенціалу на місці. Для цього доцільно встановити 1-4 тестових зонду і визначити наступні характеристики ґрунту:

- напрямок руху ґрунтових вод;
- теплопровідність порід;
- швидкість руху ґрунтових вод.

- дані випробування проводяться з використанням експериментальної установки у складі електричного котла, циркуляційного насосу і цифрового контролера, який дозволяє вимірювати температуру рідини на вході і на виході зі свердловини.

Експериментальні дослідження доцільно проводити в наступному порядку:

- заповнити тестові теплообмінники водою (35% гліколем при проведенні досліджень взимку);

- підключити труби теплообмінників і встановити робочий режим циркуляції в експериментальному зонді, який передбачає роботу від установки, що нагріває;

- режим роботи насоса передбачає постійну витрату рідини;

- запустити циркуляційний насос та електронагрівач в робочий режим.

Вимірювання температур проводити в продовж 48 годин, фіксуючи показники температурного датчика кожну годину:

- по закінченні 48 годин скласти звіт;

- перемкнути установку на наступний за порядком зонд за ходом часової стрілки;

- провести аналогічні випробування для кожного зонду;

- скласти відповідні звіти по кожному зонду.

- здійснити моделювання теплового поля. Звіти, отримані в п.2, використовуються в якості вихідних даних для тримірнього комп'ютерного моделювання теплових потоків CFD - моделювання геотермального перинного контуру.

Розрахунки у вигляді функції від часу для CFD- моделювання первинного контуру необхідні для пошуку точки балансу річного тиску охолодження і підігріву ґрунту. Розрахункова модель являє собою об'ємну зону ґрунту з урахуванням теплофізичних характеристик кожного шару, а також вертикальних зондів з розстановкою в плані у відповідності до запропонованої сітки розміщення.

Моделювання дозволяє отримати наступну інформацію:

- профіль температур землі в зоні установки свердловин на кінець опалювального періоду;
- профіль температур землі в зоні установки свердловин на початок опалювального періоду після періоду регенерації;
- фактичну продуктивність первинного контуру в еквіваленті потужності довжини геотермального контуру (Вт/м);
- річне споживання енергії з землі в еквіваленті потужності довжини геотермального контуру (кВт·год/м·рік).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Грунтовий тепловий насос [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://solarsoul.net/gruntovij-teplovoj-nasos>.
2. Принцип роботи теплового насосу [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://dewix.com.ua/princip-roboti-teplovogo-nasosu>.
3. Відновлювальні джерела енергії: теплові насоси «грунт – вода» [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://aw-therm.com.ua/teplovi-nasosi-grunt-voda-vidnovlyuvalni-dzherela-energiyi/> .
4. Опалення будинку тепловим насосом [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://teplosoft.com.ua/blog/opalennya-budinku-teplovim-nasosom>.
5. Грунт – вода чи повітря – вода. Який тепловий насос для опалення обрати для свого будинку? [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://nse.com.ua/heat-pumps/grunt-voda-chy-povitrya-voda/> .
6. Теплові насоси – що треба знати? Частина III. [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://aw-therm.com.ua/teplovi-nasosi-sho-treba-znati-chastina-iii/> .
7. Тепловий насос – джерело теплоти. [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://сахара.ua/pro-nas-statti-teplovyi-nasos-chastyna-2-dzherelo-tepla> .
8. Теплові насоси: плюси і мінуси ґрунтових, водяних, повітряних. [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://beregbud.com.ua/gruntovij-teplovij-na>.
9. ДСТУ Б В.2.5 – 44:2010 «Інженерне обладнання будівель. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами» – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово – комунального господарства України, 2010. – 57 с.

### РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ПОЛЯ ДЛЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

3.1. Розрахунок кількості геотермальних зондів і вибір способу їх розміщення в ґрунті

В якості об'єкту для розробки системи геотермального теплопостачання виступає дитячий садок в м. Києві. Необхідна величина теплової потужності дорівнює 210 кВт. Відносно зазначеної величини та значення коефіцієнту перетворення (COP) потужність контурів, кВт, ґрунтових теплообмінників теплового насосу за рівнянням:

$$P_e = P_n \cdot \left(1 - \frac{1}{\text{COP}}\right), \quad (3.1)$$

де  $P_n$  – номінальна потужність теплового насосу, кВт;

COP – коефіцієнт перетворення.

$$P_e = 210 \cdot \left(1 - \frac{1}{5,03}\right) = 168,25 \text{ кВт}$$

Необхідна довжина горизонтального теплообмінника, м, визначається як:

$$L = \frac{P_e}{q}, \quad (3.2)$$

де  $q$  – теплова потужність, яка знімається з 1 м труби, Вт/м. Для вертикальних ґрунтових теплообмінників може бути прийнята на рівні 50 Вт/м.

$$L = \frac{168,25}{0,05} = 3365 \text{ м}$$

Для такої величини довжини ґрунтового теплообмінника приймається довжина свердловини на рівні  $l=90$  м. Визначається кількість свердловин за рівнянням:

$$N = \frac{L}{l}. \quad (3.3)$$

$$N = \frac{3365}{90} \approx 38 \text{ ґрунтових теплообмінників (зондів)}.$$

Зонди один від одного мають розміщуватись на максимальній відстані (не менше 6 м) для виключення взаємної дії зондів один на одного. Розміщати подібну кількість ґрунтових теплообмінників в одну лінію сенсу не має. В такому випадку мінімальна довжина майданчика буде дорівнювати 228 м. В такому випадку свердловини доцільно розміщувати гексагональна, дотримуючись рекомендацій стосовно відстані між свердловинами.

Схема гексагонального розміщення 38 зондів на майданчику наведена на рис.3.1.

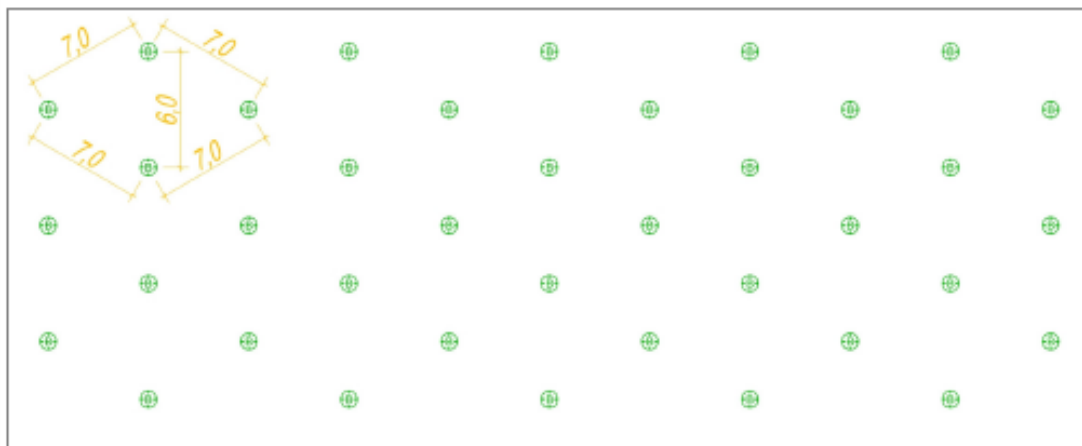


Рис.3.1. Схема гексагонального розміщення 38 зондів на майданчику

З урахуванням кількості зондів, відстаней між ними по горизонталі та вертикалі з урахуванням відстані до стіни об'єкту будівництва та межі забудови розмір майданчика буде дорівнювати 80 x 25 м.

### 3.2. Вихідні дані для проведення CFD- моделювання

В якості вихідних даних для проведення CFD – моделювання використовують:

Профіль геологічних порід по всій довжині установки зонду.

У відповідності до обраного місця забудови та визначеної глибини свердловини отримані види ґрунту та висота кожного шару. Вони наведені на рис.3.2.

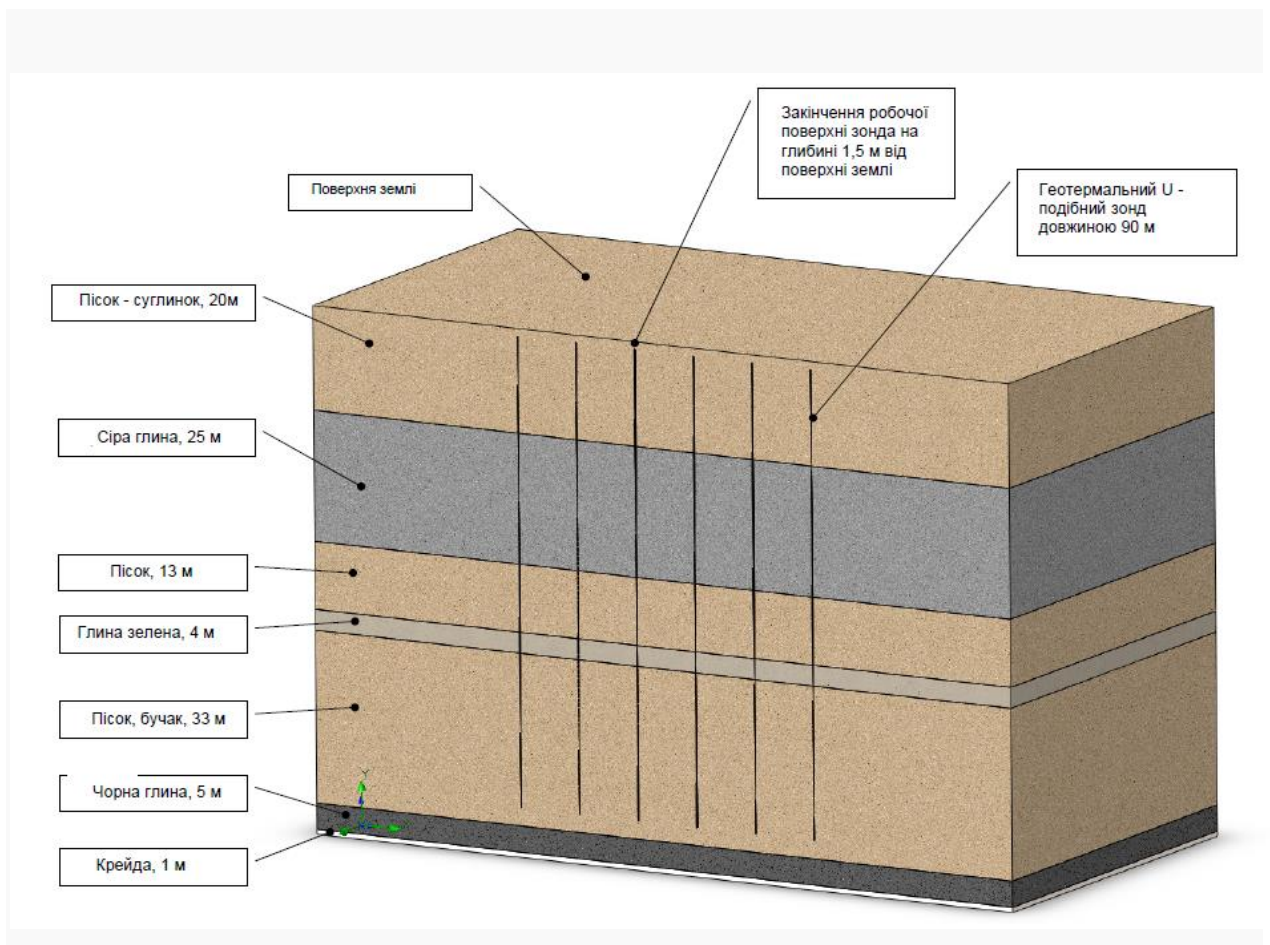
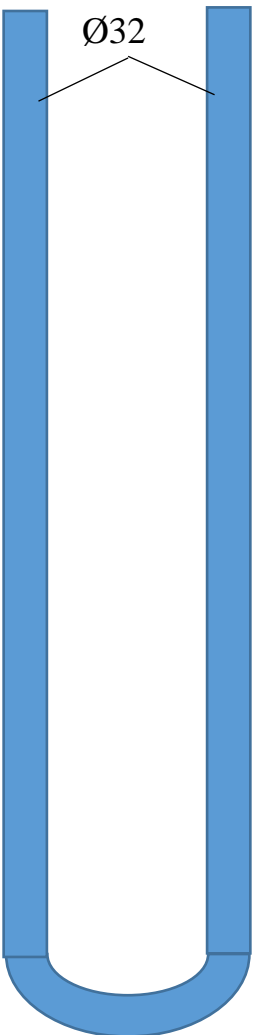


Рис.3.2. Вертикальний розріз ґрунту по висоті 90 м

У відповідності до отриманого розрізу складено профіль тестової свердловини (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Профіль тестової свердловини

Шкала глибин, м	№ з/п	Назва порід	Літологія	Інтервал залягання		Потужність шару, м	Конструкція свердловини	Облаштування свердловини
				Від	До			
5	1	Пісок - суглинок	[Green]	0.0	20.0	20		Опускання U- подібного зонду з подальшим заливанням стовбура свердловини бетонним розчином до гирла
10								
15								
20								
25	2	Сіра глина	[Grey]	20.0	45.0	25		
30								
35								
40								
45	3	Пісок	[Light Green]	45	58	13		
50								
55								
58	4	Зелена глина	[Light Green]	58	62	4		
60								
62	5	Пісок, бучак	[Light Green]	62	95	33		
65								
70								
75								
80								
85								
90								
95	6	Чорна глина	[Dark Grey]	95	100	5		
100								
101	7	Крейда	[White]	100	101	1		

Так як потужність теплового насосу перевищує 30 кВт, то використовувати характеристики ґрунтів, які наведені в ДСТУ Б В.2.5 – 44:2010 «Інженерне обладнання будівель. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами» не можливо. Для цього використовуються

дані ґрунтів, які наведені у VDI 4640 Part 1 «Thermal use of the underground Fundamentals, approvals, environmental aspects» [1]. Необхідні дані наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Приклади теплопровідності та об'ємної питомої теплоємності складових ґрунту

	Type of rock	Thermal conductivity $\lambda$ in W/(m·K)		Volume-related specific heat capacity $\rho \cdot c_p$ in MJ/(m <sup>3</sup> ·K)	Density $\rho$ in 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>	
			recommended value			
Unconsolidated	clay/silt, dry	0,4–1,0	0,5	1,5–1,6	1,8–2,0	
	clay/silt, water-saturated	1,1–3,1	1,8	2,0–2,8	2,0–2,2	
	sand, dry	0,3–0,9	0,4	1,3–1,6	1,8–2,2	
	sand, moist	1,0–1,9	1,4	1,6–2,2	1,9–2,2	
	sand, water-saturated	2,0–3,0	2,4	2,2–2,8	1,9–2,3	
	gravel/stones, dry	0,4–0,9	0,4	1,3–1,6	1,8–2,2	
	gravel/stones, water-saturated	1,6–2,5	1,8	2,2–2,6	1,9–2,3	
	till/loam	1,1–2,9	2,4	1,5–2,5	1,8–2,3	
	peat, soft lignite	0,2–0,7	0,4	0,5–3,8	0,5–1,1	
Sedimentary rock	clay/silt stone	1,1–3,4	2,2	2,1–2,4	2,4–2,6	
	sandstone	1,9–4,6	2,8	1,8–2,6	2,2–2,7	
	conglomerate/breccia	1,3–5,1	2,3	1,8–2,6	2,2–2,7	
	marlstone	1,8–2,9	2,3	2,2–2,3	2,3–2,6	
	limestone	2,0–3,9	2,7	2,1–2,4	2,4–2,7	
	dolomitic rock	3,0–5,0	3,5	2,1–2,4	2,4–2,7	
	sulphate rock (anhydrite)	1,5–7,7	4,1	2,0	2,8–3,0	
	sulphate rock (gypsum)	1,3–2,8	1,6	2,0	2,2–2,4	
	chloride rock (rock salt, potash)	3,6–6,1	5,4	1,2	2,1–2,2	
	anthracite	0,3–0,6	0,4	1,3–1,8	1,3–1,6	
	Magmatic rock	tuff	1,1	1,1		
vulcanite, acid to intermediate		e.g. rhyolite, trachyte	3,1–3,4	3,3	2,1	2,6
		e.g. latite, dacite	2,0–2,9	2,6	2,9	2,9–3,0
vulcanite, alkaline to ultra-alkaline		e.g. andesite, basalt	1,3–2,3	1,7	2,3–2,6	2,6–3,2
plutonite, acid to intermediate		granite	2,1–4,1	3,2	2,1–3,0	2,4–3,0
		syenite	1,7–3,5	2,6	2,4	2,5–3,0
plutonite, alkaline to ultra-alkaline	diorite	2,0–2,9	2,5	2,9	2,9–3,0	
	gabbro	1,7–2,9	2,0	2,6	2,8–3,1	
Metamorphic rock	slightly metamorphic	clay shale	1,5–2,6	2,1	2,2–2,5	2,4–2,7
		chert	4,5–5,0	4,5	2,2	2,5–2,7
	moderately to highly metamorphic	marble	2,1–3,1	2,5	2,0	2,5–2,8
		quartzite	5,0–6,0	5,5	2,1	2,5–2,7
		mica schist	1,5–3,1	2,2	2,2–2,4	2,4–2,7
		gneiss	1,9–4,0	2,9	1,8–2,4	2,4–2,7
amphibolite	2,1–3,6	2,9	2,0–2,3	2,6–2,9		
Other materials	bentonite	0,5–0,8	0,6	~3,9		
	concrete	0,9–2,0	1,6	~1,8	~2,0	
	ice (–10 °C)	2,32		1,87	0,919	
	synthetics (HD-PE)	0,42		1,8	0,96	
	air (0 °C to 20 °C)	0,02		0,0012	0,0012	
	steel	60		3,12	7,8	
	water (+10 °C)	0,59		4,15	0,999	

У відповідності до типу ґрунтів, які наявні в даному розрізі, обрані всі необхідні характеристики, які наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики ґрунтів в наявному розрізі

Тип ґрунту	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С)	Об’ємна питома теплоємність, МДж/(м <sup>3</sup> ·°С)	Густина, 10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup>
Пісок	0,4	1,3-1,6	1,8-2,2
Глина	1,8	2,0-2,8	2.0 – 2,2

1. Середня температура порід по всій глибині: +10<sup>0</sup>С.
2. Середня температура повітря в опалювальний період – 0,1<sup>0</sup>С [2].
3. Середня температура повітря в літній період року +20<sup>0</sup>С.
4. Тривалість опалювального періоду 176 діб (3538 градуса – діб).

### 3.3. Розрахунок зимового циклу

В результаті моделювання отримані графіки, які демонструють термічний стан земляних порід після завершення опалювального сезону. В якості результатів наводяться вертикальні і горизонтальні перетини землі.

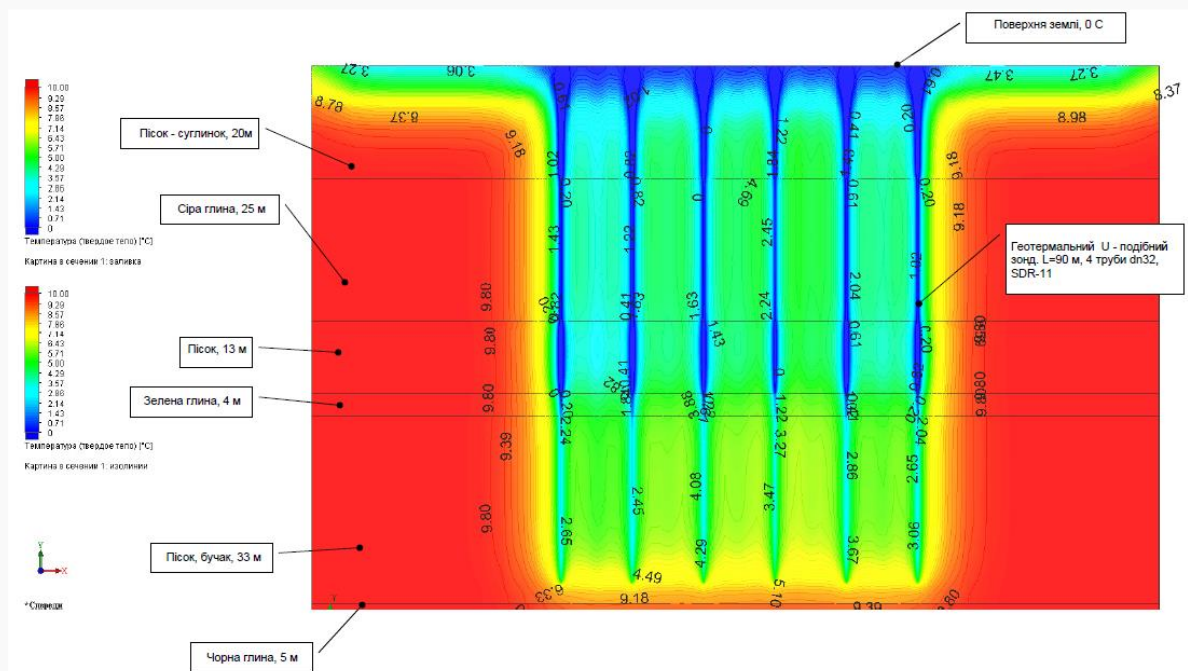


Рис. 3.3. Температурний профіль ґрунту в зоні установки свердловин на кінець опалювального періоду

Виконаний розрахунок демонструє, що після завершення сезонного циклу відбору теплоти мінімальна температура ґрунту складатиме близько  $0^{\circ}\text{C}$  в зоні навколо геотермального зонду. Припустима температура в цій зоні може досягати  $-7^{\circ}\text{C}$ .

Середня швидкість просочування води в товщі ґрунтів (піска та глини) змінюється від 0,001 до 1 м/добу. В зимовий період у зв'язку з охолодженням порід процес руху підземних вод уповільнюється, а його вплив на загальну продуктивність мінімізується. Ключовий чинник в роботі геотермального поля, який впливає на постійну циклічну роботу нагрівання/охолодження, – наявність циклу заморожування ґрунтових порід в зоні розміщення зондів. Само по собі це явище не представляє загрози ні для ґрунтів, ні для теплообмінників, так як в них циркулює розсіл, який не замерзає (30% розчин гліколю з морозостійкістю до  $-15^{\circ}\text{C}$ ). У випадку замерзання ґрунтових порід в опалювальний період термін регенерації ґрунтів влітку суттєво уповільнюється. Все це впливає на сезонний ККД всієї системи.

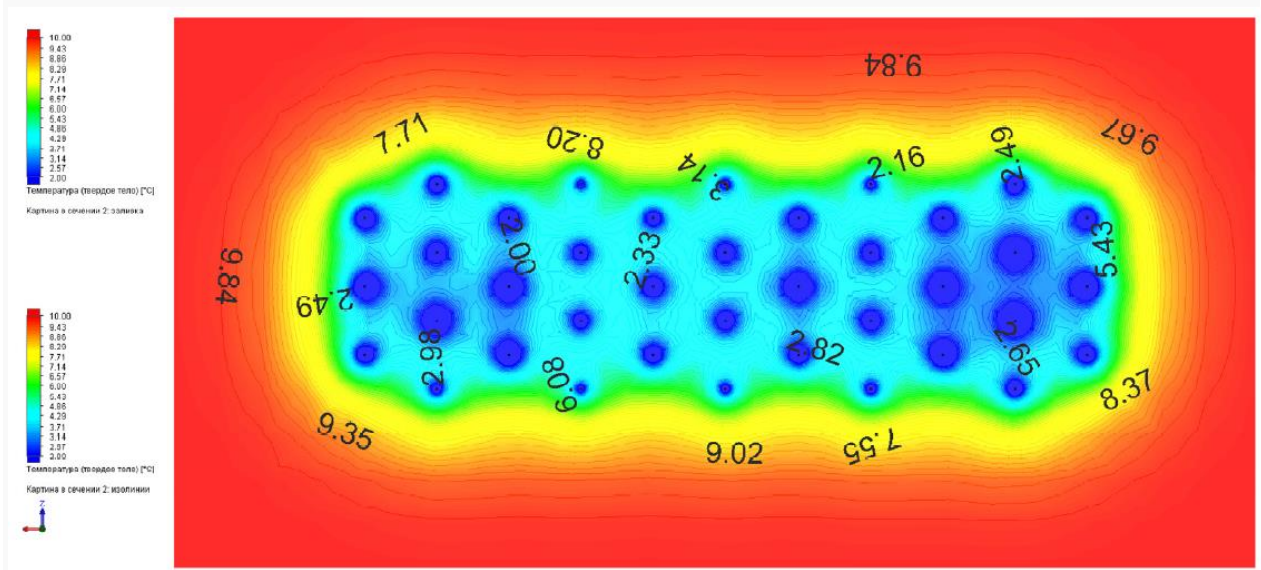


Рис.3.4. Горизонтальний зріз на глибині 50 м. Зона залягання піску.

Гексагональне розміщення зондів дозволяє отримати в центральній частині поля найбільш сприятливу картину. Розрахунок демонструє, що після сезонного циклу відбору теплоти мінімальна температура ґрунту складає

близько  $0^{\circ}\text{C}$  в зоні навколо геотермальних зондів. Замерзання ґрунтових порід не спостерігається.

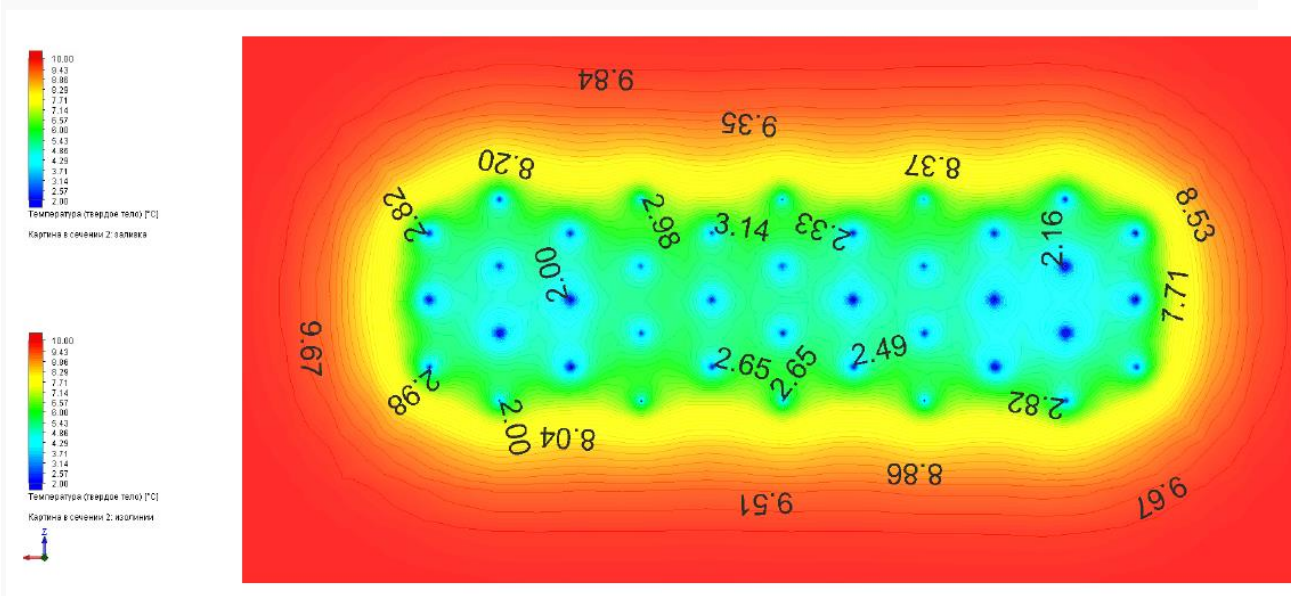


Рис.3.5. Горизонтальний зріз на глибині 70 м. Зона залягання бучакського водоносного поясу.

Середня швидкість просочування води в товщі водоносних ґрунтів змінюється від 1 до 5 м/добу. В зимовий період у зв'язку з охолодженням порід процес руху підземних вод уповільнюється, але всі рівно здійснює позитивний вплив на загальну продуктивність.

Розрахунок показав, що після сезонного циклу відбору теплоти мінімальна температура ґрунту на цих відмітках дорівнюватиме приблизно  $2^{\circ}\text{C}$  в зоні навколо геотермальних зондів. Замерзання ґрунтових порід не спостерігається.

В результаті моделювання отримано також вертикальний зріз ізотерм по глибині шарів геотермального поля (рис.3.6).

Даний вертикальний зріз демонструє розподілення температур по глибині (ізотермічні криві) та густину теплового потоку. Останній показник дає можливість зрозуміти, звідки саме система теплових насосів «качає» теплову енергію. Жовті і зелені ділянки – головний колекторний вузол. В даному місці

відбувається саме інтенсивне закачування енергії з надр землі або маси води, що рухається.

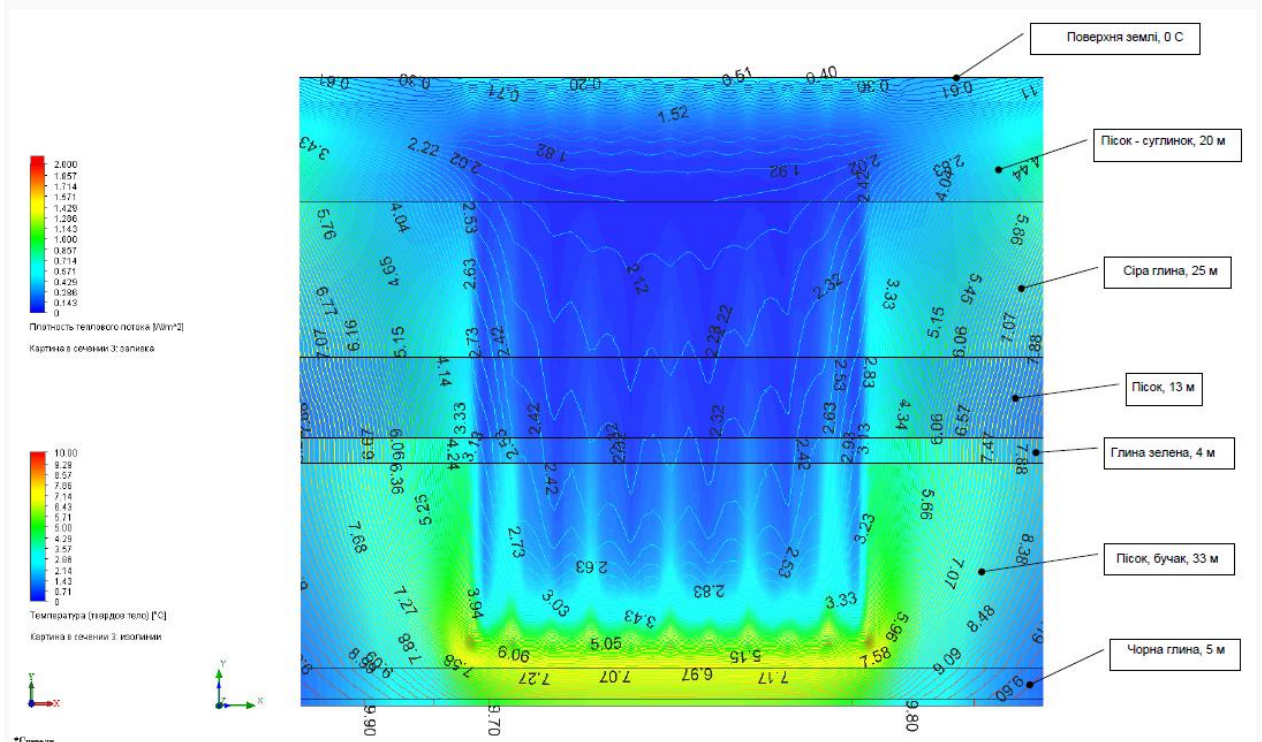


Рис.3.6. Ізотерми по глибині шарів геотермального поля

У зв'язку з циклічністю роботи системи на нагрівання і охолодження в зоні навколо зондів відбуваються самі інтенсивні теплові процеси.

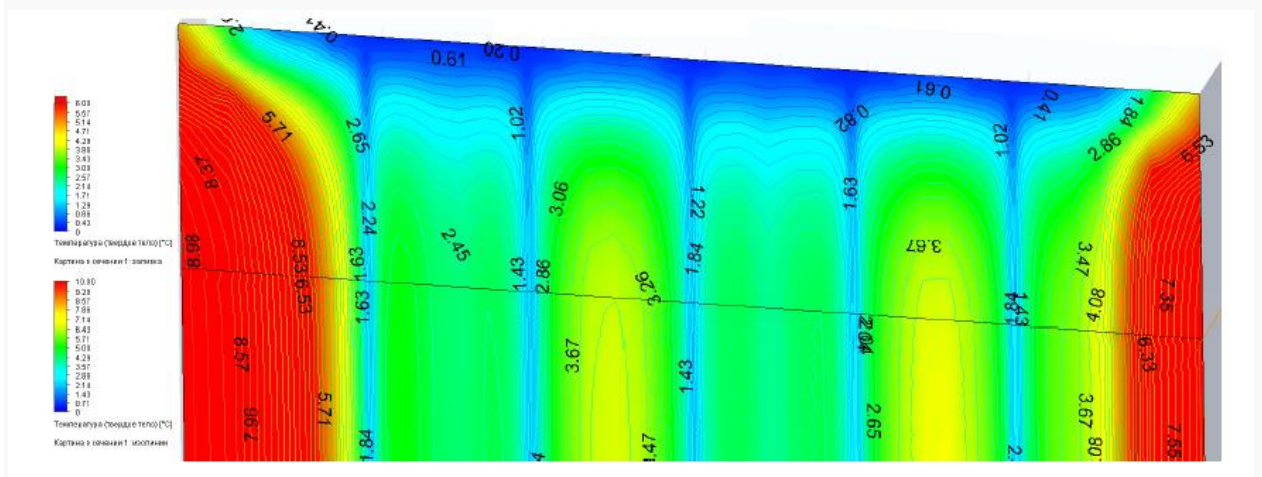


Рис. 3.7. Графік температур на глибині в зоні навколо поверхні землі

Графік демонструє температуру поверхні землі в лютому. Подібне явище може впливати на життєвий цикл зелених насаджень в зоні розміщення геотермального поля теплового насосу.

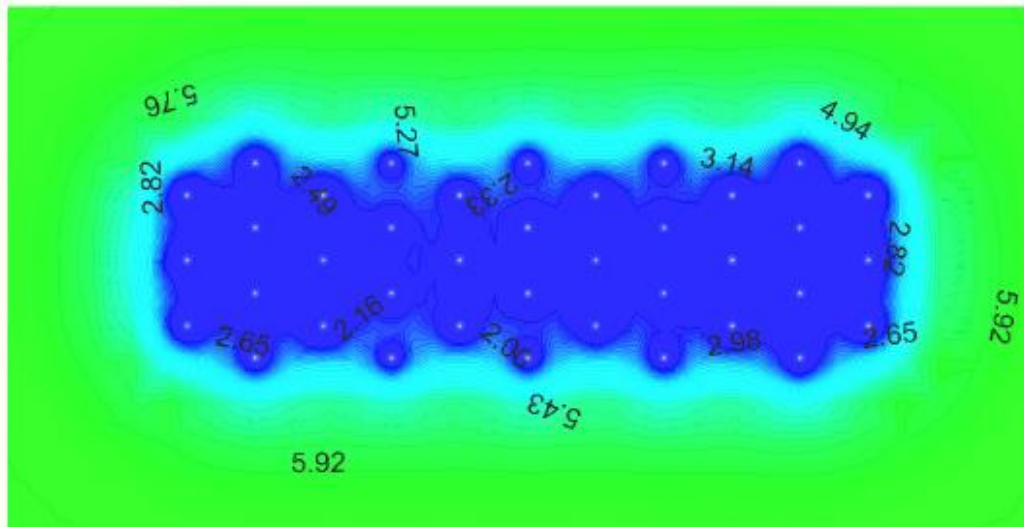


Рис. 3.8. Горизонтальний зріз на глибині 5 м. Кінець опалювального періоду

Графік демонструє, що вся зона геотермального поля на кінець опалювального періоду знаходиться в стані температур від 0 до  $+2^{\circ}\text{C}$ . Дане явище доцільно враховувати при виборі типу зелених насаджень.

#### 3.4. Розрахунок літнього циклу

Результати розрахунку літнього циклу також у вигляді ізотерм по глибині шарів геотермального поля та горизонтального зрізу.

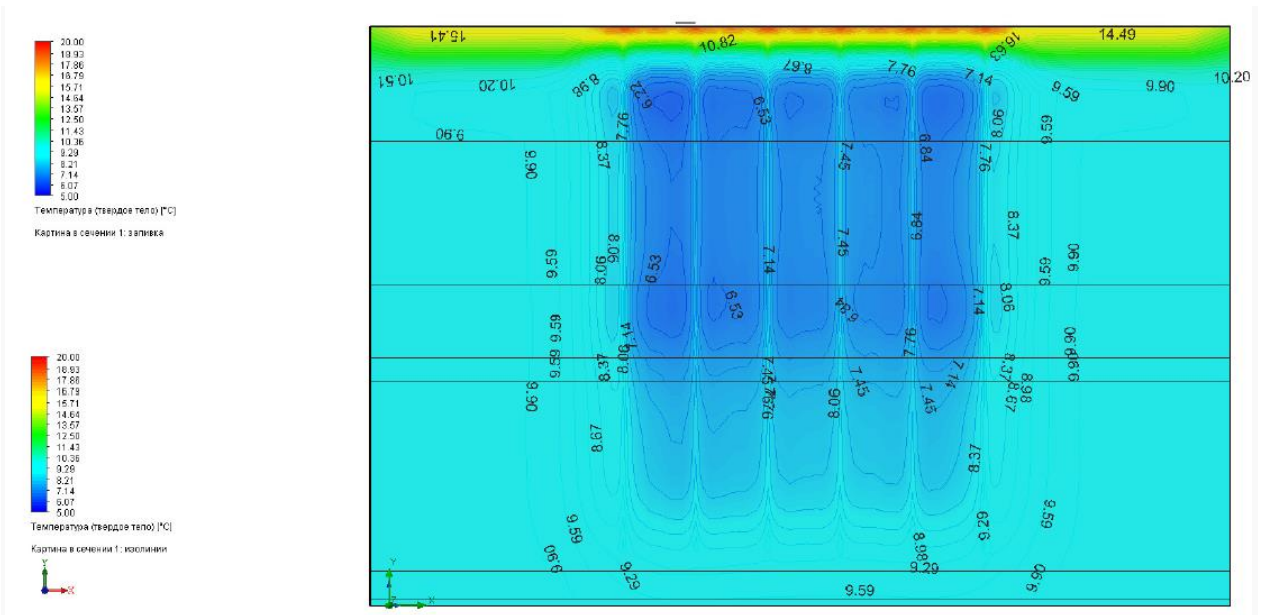


Рис. 3.9. Вертикальний розріз геотермального поля (літній період)

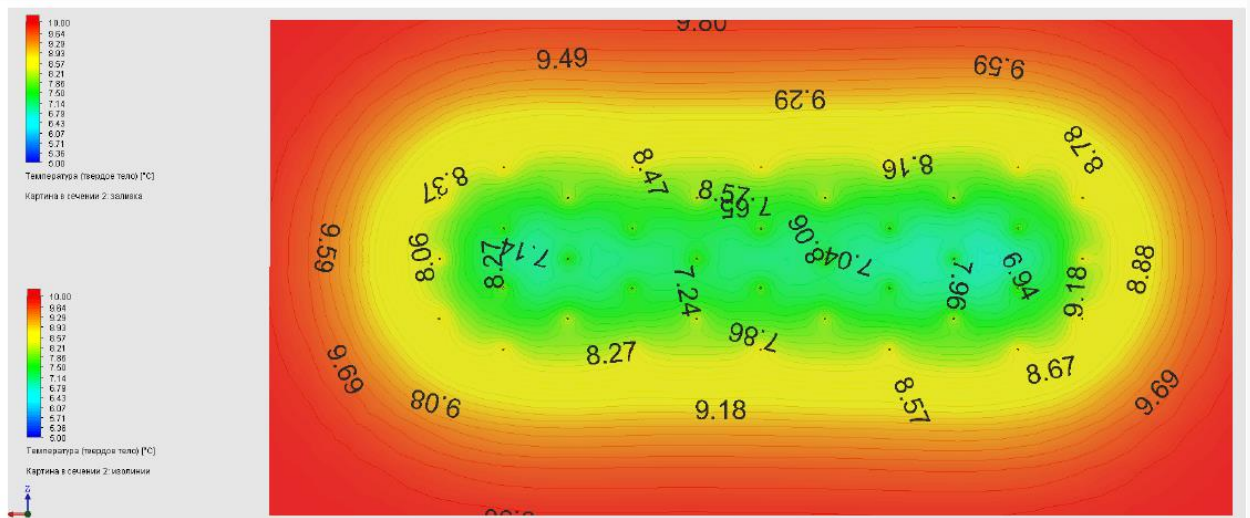


Рис.3.10. Горизонтальний зріз на глибині 70 м. Зона залягання бучацького водоносного поясу (літній період)

Наведені на рис.3.9 та 3.10 графіки демонструють термічний стан земляних порід в середині літнього періоду. В даний період регенерація первинного контуру може відбуватись за рахунок системи охолодження будівлі, системи сонячних колекторів, а також природного періоду відігрівання за рахунок теплоти надр землі і маси води, що рухається. Середня температура порід між зондами на початок серпня дорівнює  $6,5^{\circ}\text{C}$ .

На глибині близько 70 м в Київській області протікає бучакський водоносний пояс. Цей прошарок в даній місцевості є самим головним

джерелом теплового потенціалу і його регенерація в літній період повинна відбутись в повному обсязі. Середня температура порід між зондами на початок серпня дорівнює  $7-8^{\circ}\text{C}$ , що є достатньо позитивним показником (рис.3.10).

Розрахунки річних циклів доцільно проводити багатократно, підбираючи оптимальні питомі значення по відбору теплоти з умовного погонного метра зонду. Річний цикл доцільно завершувати з температурною регенерацією ґрунту до значень 80% і більше від початкових значень.

### 3.5. Результати розрахунків

Для забезпечення будівлі необхідною тепловою потужністю на рівні 210 кВт передбачено установку 38 геотермальних зондів довжиною 90 м. Розміщення зондів на майданчику виконано гексагонально з кроком 6 и 7 м. В результаті розрахунків отримано:

- фактична продуктивність первинного контуру , яка приведена до потужності довжини геотермального зонду (з боку випарника) становить **41 Вт/м**;
- річне споживання енергії з землі, приведене до потужності довжини геотермального зонду дорівнює **83 кВт·год/м·рік**. Контрольний показник не повинен перевищувати 150 кВт·год/м·рік.

## ЛІТЕРАТУРА

1. VDI 4640 Part 1 «Thermal use of the underground Fundamentals, approvals, environmental aspects» - 33 с.
2. ДСТУ-Н Б В.1.1 – 27:2010 «Будівельна кліматологія». – К.: Мінрегіонбуд, 2010. – 123 с.

## РОЗДІЛ 4. ВИПРОБУВАННЯ ТЕПЛОАСОСНИХ СИСТЕМ

### 4.1. Загальні положення

Випробування під тиском здійснюється, як правило, гідравлічним методом. При пневматичному випробуванні використовується інертний газ чи повітря, але лише у суворо регламентованих умовах.

Небезпека проведення випробування з використанням стиснутих газів, таких як азот чи повітря, не завжди враховується. У робочих діапазонах тиску кількість енергії в стиснутому повітрі чи азоті в 200 разів більша ніж у такому ж об'ємі води при такому ж тиску. Ця енергія може вивільнитися з вибуховою силою у випадку, якщо з'єднання, секція трубопроводу чи інший компонент системи не витримують випробувального тиску.

Саме завдяки цій обставині гідравлічні випробування на герметичність є більш безпечним методом випробування і тому використовується найчастіше.

В умовах, коли пневматичні випробування є неминучими, наприклад, якщо трубопровід не можна заповнювати водою, то повинні бути дотримані необхідні заходи безпеки.

Необхідно дотримуватися наступних процедур та заходів безпеки при проведенні пневматичних та гідравлічних випробувань.

Процедури випробування поділяються на наступні:

- гідравлічний метод випробування на герметичність, це метод, якому надається перевага, оскільки він є більш безпечним та може використовуватися у переважній більшості випадків;
- пневматичне випробування на герметичність при гідравлічному випробуванні тиском використовується лише у тих випадках, якщо не можна використовувати воду (іншу рідину) для перевірки герметичності.

Якщо використовується пневматичне випробування на герметичність за допомогою повітря, азоту чи дослідного газу, то воно повинне проводитися

перед гідравлічним випробуванням.

## 4.2. Процедури

### 4.2.1. Аналіз системи перед випробуванням

Перед проведенням випробування необхідно одержати відповіді на наступні запитання:

- чи була система промита (очищена);
- чи відповідає вибраний метод проведення випробування будівельним умовам та умовам експлуатації об'єкта;
- чи доцільно проводити пневматичні випробування, для виявлення основних дефектів, перед проведенням гідравлічних випробувань;
- чи можуть залишитися у трубопроводі не висушені зони (кармани), які можуть призвести у подальшому до пошкодження системи від морозу;
- яким методом доцільно проводити випробування в окремих випадках, наприклад, у висотних будівлях, де при гідравлічних випробуваннях, висота вертикальних секцій трубопроводів обмежується умовами допустимого тиску в них. Разом з тим у кожній точці трубопроводів повинен бути прикладений випробувальний тиск, що перевищує робочий тиск у 1,3 рази;
- чи загерметизовані потенційно небезпечні місця системи;
- чи розраховане джерело і необхідне обладнання, наприклад, водопровідна мережа, водяний насос, запобіжник компресора тощо, на більший тиск, ніж тиск у трубопроводі, що випробовується;
- які пошкодження можуть виникнути у випадку виявлення протікань;
- чи є кваліфікований персонал для проведення якісної перевірки системи під час її заповнення;
- чи доступні! для спостереження всі частини системи, в якій відбувається випробування;
- чи можна залишити систему заповненою частково, якщо ні, то

необхідно передбачити достатньо часу для її заповнення, випробовування та її опорожнення;

- чи доцільно з'єднувати частини різних систем для проведення одночасного випробовування;

- як швидко можна заповнити систему із звичайного водопроводу, враховуючи висоту будівлі. У разі, коли необхідний об'єм подачі із звичайного водопроводу недостатній, то додатково необхідно передбачити ручне чи механічне нагнітання.

#### 4.2.2. Гідравлічні випробування тиском

##### 4.2.2.1. Підготовка

Необхідно виконати наступні дії перед проведенням гідравлічного випробування:

- перекрити чи загерметизувати всі відкриті кінці трубопроводу;
- видалити та/чи загерметизувати потенційно небезпечні частини трубопроводу, зокрема, фітинги, реле тиску, компенсатори тощо;
- закрити всі клапани на кінцях секції трубопроводу, що випробовується; закріпити клапани, якщо вони не закріплені і можуть стати причиною вібрацій;
- відкрити всі клапани в межах секції, що випробовується;
- переконатись, що всі найвищі точки системи обладнані повітряними клапанами, та щовони закриті;
- переконайтесь, що випробувальний манометр справний, розрахований на необхідний тиск та строк його повірки не минув;
- переконайтесь у наявності необхідних зливних кранів та шлангів для відведення рідини у каналізацію;
- визначте оптимальний час проведення випробовування, виходячи із його тривалості, після проведення всіх підготовчих процедур.

#### 4.2.2.2. Проведення випробування

При проведенні гідравлічного випробування необхідно виконати наступні процедури:

- при наповненні системи водою чи іншою рідиною, ретельно перевірте всю систему на наявність протікання за шумом повітря, що виходить, чи візуально;
- систематично видаляйте з системи повітря через її верхні точки;
- після заповнення системи водою підвищити тиск до тестового значення та зафіксувати його;
- якщо тиск падає, перевірити запірну арматуру, оглянути систему, перевірити її на наявність витоків;
- якщо стан системи задовільний, то необхідно це засвідчити у документі підписами представника клієнта та працівника, відповідального за проведення випробування.

#### 4.2.2.3. Кінець випробування

Після закінчення випробування, необхідно провести наступні дії: а) знизити тиск;

- спорожнити систему для проведення, у разі необхідності, наступних процедур:
  - ремонт пошкоджених секцій;
  - збільшення (зменшення) секції, що випробовується;
  - у разі потреби заповнити систему іншою речовиною, наприклад, повітрям, парою тощо;
- перед опорожненням, для попередження руйнування системи від внутрішнього розрідження, переконатись, що зливні клапани системи відкриті;
- у необхідних випадках очистити трубопровід за допомогою нагрітого повітря упродовж декількох годин.

### 4.2.3. Пневматичні випробування тиском після гідравлічних випробувань

#### 4.2.3.1. Підготовка

Перед проведенням пневматичного випробування необхідно:

- призначити відповідальну особу за проведення випробування.

Відповідальна особа має керувати підготовкою установки до випробування, керувати проведенням випробування та, по закінченню випробування, контролювати нормалізацію тиску в системі, а також підготувати і оформити звіт про проведення випробування;

- після закінчення випробувань, система повинна бути приведена до стану, що забезпечує її експлуатацію в умовах розрахункового робочого тиску;

- загерметизувати всі відкриті виходи;

- видалити та/чи загерметизувати усі потенційно небезпечні ділянки системи, фітинги та лічильники, реле тиску і компенсатори;

- перекрити, загерметизувати всі клапани на кінцях секції, що випробовується; е) відкрити всі клапани на ділянці, що випробовується;

- переконатися, що всі найвищі точки системи мають відвідники повітря, які перебувають у закритому положенні;

- переконатися, що трубопровід оснащений манометром, розрахованим на випробувальний тиск, та що строк його повірки не минув;

- забезпечити контроль подачі стиснутого повітря;

- якщо для проведення випробування подається повітря з більшим тиском, ніж це необхідно, то до з'єднувального трубопроводу підключають редукційний клапан, манометр та запобіжний клапан для вирівнювання тиску до випробувального;

- усі гнучкі з'єднання, які подають повітря, повинні бути старанно зафіксовані;

- перед проведенням випробування, необхідно розмістити персонал на безпечній від трубопроводу відстані;

- повітря повинне подаватися повільно та контролюватися редукційним клапаном, який встановлений на випробувальний тиск;

- при подачі повітря із джерела з більш високим тиском, на вході в систему його температура знижується. При підвищенні температури відповідно починає підвищуватися тиск у трубопроводі. Для того, щоб тиск повітря не перевищував розрахункового випробувального тиску, необхідно прийняти відповідні заходи. У будь-якому випадку необхідно підключити запобіжний клапан, настроєний на розрахований тиск;

- під час проведення випробування, категорично заборонено перевіряти зварні шви за допомогою простукування.

#### 4.2.3.2. Регламент

Під час проведення пневматичного випробування, необхідно провести наступні дії:

- збільшувати тиск повітря не більше ніж на 0,5 бар;
- через 10 хв після початку випробувань оглянути систему для встановлення місць витoku повітря, за звуком чи використовуючи мильний розчин;

- знизити тиск.

#### 4.3. Документація

Після проведення випробування тиском фіксуються наступні дані:

- дата проведення випробування;
- характеристики системи опалення, включаючи характеристики будівлі та максимальний робочий тиск;
- значення випробувального тиску;
- часовий проміжок проведення випробування;
- прізвища персоналу, які брали участь у проведенні випробувань [1].

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ Б В.2.5 – 44:2010 «Інженерне обладнання будівель. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами» – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово – комунального господарства України, 2010. – 57 с.

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Монтаж ґрунтового теплового насосу напряму пов'язаний з земляними роботами. Вони виконуються при бурінні свердловин для розміщення в них ґрунтових теплообмінників та викопуванню траншей для трубопроводів.

### 5.1. Загальна інформація

Земляні роботи виконуються у відповідності до плану виконання робіт (ПВР) і за наявності письмових дозволів від організацій, комунікації яких розміщені в зоні робіт, а також схем з вказівками про розміщення і глибину закладання комунікацій. Земляні роботи повинні бути максимально механізовані. Перед їх початком встановлюють знаки, що показують розміщення підземних комунікацій.

З наближенням до ліній цих комунікацій земляні роботи проводять під наглядом виконавця робіт, а якщо це електрокабелі, то і в присутності працівників електрогосподарства. Ґрунт у таких місцях розробляють землекопними лопатами обережно, без ударів.

Виявивши в процесі робіт непередбачені планом підземні комунікації, споруди, вибухонебезпечні матеріали чи боєприпаси, земляні роботи треба припинити до з'ясування їхнього характеру і одержання відповідного дозволу.

Перед початком проведення земляних робіт на ділянках з можливим патогенним зараженням ґрунту (звалище, кладовища тощо) потрібно мати дозвіл органів Державного санітарного нагляду. Якщо можлива поява шкідливих газів, то робітників треба попередити і проінструктувати про засоби захисту від нього. Будівельні організації повинні бути забезпечені протигазами та індикаторами для визначення газу. У разі раптового виявлення газу роботи негайно припиняють і виводять робітників до повного усунення його. До початку проведення земляних робіт відводять поверхневі та ґрунтові

води, відкачують їх або влаштовують дренажі. Викинутий з виїмки ґрунт розміщують е ближче ніж за 0,5 м від поверхні бровки котлованів.

Для спускання і піднімання робітників у широких виїмках встановлюють драбинки завширшки не менше за 0,6 м з поручнями заввишки 1 м і бортовою дошкою заввишки 15 см, а для вузьких траншей застосовують приставні драбини. Спускання робітників по розпірках кріплень заборонено. Всі виїмки треба обгороджувати на відстані 1 м від бровки, а вночі освітлювати. На огорожах треба встановлювати попереджувальні знаки і надписи.

Встановлюють кріплення згори донизу по мірі розробки виїмок на глибину не більше як 0,5 м, а розбирають при засипанні виїмок – знизу догори.

Для переходу через канали будують місточки завширшки 0,6 м з поручнями заввишки 1 м і бортовою дошкою і освітленням.

Категорично забороняється розміщення різних машин, а також ведення будь – яких робіт у межах призми обвалення ґрунту. З настанням весни чи після опадів і обігрівання ґрунту розкріплення виїмок, зроблені взимку, перекріплюють заново. Якщо ґрунт підігривають димовими газами, водою чи парою, треба захистити робітників від опіків. Не можна вести інші роботи до закінчення механізованих земляних робіт [1].

## 5.2. Заходи безпеки при виконанні земляних робіт на глибині понад 2 м

1. Під час знаходження на робочому місці працівник не повинен здійснювати дії , які можуть спровокувати нещасний випадок:

- не розмахувати гострими і ріжучими предметами;
- відвалювати ґрунт на розташовані поруч суміжні інженерні комунікації;
- розробляти ґрунт за допомогою підкопування;
- проводити будь – які роботи на поверхні поряд з виїмкою у разі перебування людей у виїмці без кріплення стінок;

- допускати перебування у виїмці працівників без виробничої потреби та сторонніх осіб;
- пересуватися по елементах кріплення виїмки;
- використовувати несправні засоби виробництва та неякісні елементи кріплень;
- стежити за справністю інструментів, устаткування, механізмів, транспортних засобів, дотримуватися правил їх експлуатації та інструкції з відповідних видів робіт.

2. Особливої обережності необхідно дотримуватись і бути уважним поблизу зон підвищеної небезпеки.

3. Необхідно беззастережно дотримуватись вимог інструкції по експлуатації обладнання, що використовується у роботі. Забороняється самостійно усувати неполадки в роботі обладнання.

4. Працівник під час виконання робіт повинен дотримуватись правил переміщення в приміщенні і на території, користуватись тільки відведеними для руху проходами. не захаращувати встановлені проходи і проїзди.

5. Не допускаються до роботи працівники в стані алкогольного, наркотичного та токсикологічного сп'яніння.

6. При сумісній роботі свої дії погоджувати з діями інших працівників.

7. Не торкатися частин обладнання, що рухаються та обертаються, оголених проводів, що перебувають під напругою.

8. Не допускати сторонніх осіб на своє робоче місце.

9. Для забезпечення пожежної безпеки працівник повинен виконувати наступні вимоги:

- не можна користуватись електричними шнурами з пошкодженою ізоляцією;

- не можна закріплювати електричні лампи за допомогою мотузок, ниток, підвішувати світильники безпосередньо на електричних проводах;

- не варто залишати без нагляду увімкнені в мережу електричні прилади, за винятком приладів, призначених для цілодобової роботи.

10. Працівник має дотримуватись вимог та приписів знаків безпеки, сигнальних кольорів і розмітки; вміти надавати першу медичну допомогу потерпілим при нещасних випадках; знати номери телефонів для виклику екстрених служб (пожежної охорони, швидкої медичної допомоги, аварійної служби газового господарства і т.д.) і терміново інформувати безпосередньо і вище стоячих керівників, місце зберігання аптечки, шляхи евакуації людей при надзвичайних ситуаціях.

11. Застосувати тільки необхідне для роботи справне устаткування, інструмент, пристосування, використовувати їх тільки для тих робіт, для яких вони призначені.

12. Стежити за роботою обладнання, станом пристосувань, інструменту.

13. Періодично проводити візуальний огляд робочої зони з метою виявлення пошкоджень обладнання, інструменту, порушень технологічного процесу та інше.

14. При виявленні несправного обладнання, пристосувань, інструменту, інших порушень вимог охорони праці, які не можуть бути усунені власними силами, і виникнення загрози здоров'ю, особистої або колективної безпеки повідомити про це керівництву і не приступати до роботи до усунення виявлених порушень.

15. Грунт з виїмки, робочий інструмент і матеріали повинні розміщуватись на відстані не ближче 0,5 м від зовнішнього краю (бровки) виїмки. У разі виймання ґрунту з виїмки з використанням уступів ширина останніх не повинна бути меншою 0,7 м, а висота – не більше 1,5 м.

16. Під час роботи положення робочого інструмента не має допускати можливості його скочування або падіння. Під час розробки виїмки працівники розміщуються таким чином, щоб не травмувати один одного робочим інструментом. Робочий інструмент повинен використовуватись за призначенням.

17. В охоронній зоні діючих інженерних мереж не допускається використовувати ударний інструмент. Не допускається використовувати

землерийну техніку за умови наближення її робочого органу до інженерної мережі на мінімально допустиму відстань, величина якої залежить від виду інженерної комунікації та умов проведення робіт (від 0,2 до 0,5 м).

18. Не допускається перебування людей у робочій зоні проведення робіт з використанням землерийної техніки, межа небезпечної зони, наприклад, екскаватора, дорівнює радіусу дії його робочого органу, що рухається або обертається, плюс 5 м. Розміщення та переміщення будівельно – дорожніх машин та матеріалів повинно здійснюватися за межами призми можливого обвалення ґрунту виїмки.

19. Під час проведення земляних робіт повинен здійснюватись постійний контроль за станом укосів або кріплень виїмки, вживатись заходи щодо можливого обвалення ґрунту, особливо після зволоження виїмки атмосферними опадами (за допомогою зменшення крутості укосу або підсилення кріплень стінок виїмки) [2,3].

### 5.3. Техніка безпеки під час виконання робіт по монтажу зовнішніх трубопроводів

1. Монтаж трубопроводів виконувати згідно з ПВР після перевірки відповідності проекту розмірів траншей, кріплення стінок, відміток дна, а при наземному прокладанні - опорні конструкції.

Результати перевірки відображаються в журналі виконання робіт.

2. Монтаж трубопроводів і арматури, які були в експлуатації, допускається тільки за наявності акта, підтверджуючого відсутність в них залишків технологічних продуктів і який дає дозвіл на виконання робіт.

3. Вивезені на трасу секції і зварені нитки трубопроводів розташовують уздовж траншеї для виконання підготовчих робіт (стикування, очищення, прихватки) на відстані не менше 1,5 м від бокової поверхні труби до бровки траншеї за відсутності нахилу в бік траншеї.

У противному разі труби укладають по інший бік виїнятого ґрунту.

4. При розкладанні труб, призначених для господарсько-питного водопостачання, не слід допускати попадання у них поверхневої та стічної води.

5. Зварювані секції укладають на спеціальні підкладки (лежні) чи валки з ущільненого ґрунту, які виключають їх осідання і самовільне зміщення.

Лежні підкладають таким чином, щоб вони перекривали траншею, а їх кінці були розташовані від краю траншеї на відстані, яка виключає можливість обвалення стінок траншеї.

6. При встановленні арматури збіг болтових отворів перевіряти за допомогою оправки і монтажних ломиків.

Виконувати цю роботу пальцями не допускається.

Для заправлення прокладок фланцевих з'єднань слід застосовувати спеціальні дротові гачки.

7. Затягування болтів (шпильок) виконують рівномірно з почерговим загвинчуванням гайок, розташованих навхрест при паралельному розташуванні фланців.

Вирівнювання перекосу фланців шляхом нерівномірного затягування болтів (шпильок) та усунення зазору між фланцями за допомогою клинцевих прокладок чи шайб забороняється.

8. Під час прокладання труб на прямолінійних ділянках траси з'єднувані кінці суміжних труб повинні бути відцентровані так, щоб ширина розтрубної щілини була однаковою по всьому колу.

9. Перевертати труби при centruванні і зварюванні стиків необхідно спеціальними трубними гайковими ключами.

10. В місцях проведення монтажу кривих вставок, катушок і запірної арматури траншею необхідно збільшити на 1,25 м в обидва боки від трубопроводу на ділянці довжиною не менше 3 м.

Під зварюваним стиком трубопроводу необхідно улаштувати приямок глибиною 0,5 м.

Роботи виконувати в присутності і під безпосереднім керівництвом керівника робіт.

11. У разі зварювання усередині трубопроводу необхідно передбачити вентиляцію.

Забороняється усередині трубопроводів одночасно виконувати роботи газозварнику і електрозварнику.

12. При необхідності зварювання усередині труби чи трубопроводу, а також при зварюванні зовні після дощу чи снігопаду, зварник, крім спецодягу, повинен користуватися діелектричними рукавицями, калошами, килимком, а також діелектричним шоломом.

13. Вільні кінці трубопроводів, що монтуються, а також отвори у фланцях запірної та іншої арматури при перервах в роботі, необхідно закривати заглушками чи дерев'яними пробками.

14. Укладання труби в траншеї виконується трубоукладниками, а також вантажопідіймальними кранами.

Вантажопідіймальні машини і механізми повинні знаходитись на відстані не менше 1 м від краю траншеї.

15. Дно траншеї перед укладанням труб необхідно розчистити від обваленого ґрунту [4].

## ЛІТЕРАТУРА

1. Пугач В.І., Люлька Г.С. Охорона праці в будівництві: Навчальний посібник. – Х.: «Рубікон», 1998. – 304 с.: 19 іл.
2. Інструкція з охорони праці при виконанні земляних робіт на глибині понад 2 м [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://ohoronapraci.com.ua/instructions/657329-instruktsiya-z-okhorony-pratsi-pry-vykonanni-zemlyanykh-robit-na-hlybyni-ponad>
3. ДБН А. 3. 2 – 2 – 2009 «Охорона праці і промислова безпека в будівництві. Основні положення». – К.: Міністерство регіонального розвитку і будівництва України, 2012. – 116 с.
4. Інструкція з охорони праці для монтажника зовнішніх трубопроводів [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://dnaop.com/html/31874/doc-instrukcijaz-okhoroni-pracidlya-montazhnika-zovnishnih-truboprovodiv>

## РОЗДІЛ 6. ЕКОЛОГІЯ

### 6.1. Розрахунок викидів при спалюванні природного газу в котельні

Метою даного розділу є визначення того екологічного ефекту, який має місце в разі заміни котельні, яка працює на газоподібному паливі, на нове джерело теплоти – теплові насоси.

Розрахунковим методом, який базується на використанні показника емісії, визначається об'єм викидів шкідливих речовин, який мав би місце при спалюванні природного газу. Теплова потужність котельні дорівнює 300 кВт.

Витрата природного газу за формулою:

$$B = \frac{Q}{Q_n \cdot \eta_k}, \quad (6.1)$$

де  $Q$  – розрахункова витрата теплоти, кВт;

$Q_n$  – нижча теплота спалювання газоподібного палива, кДж/м<sup>3</sup>.

$\eta_k$  – ККД котлоагрегату.

$$B_z = \frac{300}{35624 \cdot 0,9} = 0,0094 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Якщо прийняти тривалість опалювального сезону 4224 години, то протягом зазначеного періоду буде спожито 142 940 м<sup>3</sup> палива або 103 345 кг (103,3 т).

Розрахунок кількості викидів здійснюється у відповідності до [1] за рівнянням:

$$M_i = 10^{-6} \cdot K_i \cdot B \cdot Q \quad (6.2)$$

де  $K_i$  – показник емісії забруднювальної речовини, г/ГДж;

$B$  – витрата палива протягом опалювального періоду, т;

$Q^r$  – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг.

$$M_{NO_2} = 10^{-6} \cdot 85 \cdot 103,3 \cdot 35,624 = 0,31m$$

$$M_{Hg} = 10^{-6} \cdot 10^{-4} \cdot 103,3 \cdot 35,624 = 3,6 \cdot 10^{-7} m;$$

$$M_{CO} = 10^{-6} \cdot 250 \cdot 103,3 \cdot 35,624 = 0,92m;$$

$$M_{CO_2} = 10^{-6} \cdot 15300 \cdot 103,3 \cdot 35,624 = 56m ;$$

$$M_{HMЛОС} = 10^{-6} \cdot 200 \cdot 103,3 \cdot 35,624 = 0,74m;$$

$$M_{CH_4} = 10^{-6} \cdot 1 \cdot 103,3 \cdot 35,624 = 0,0037m;$$

$$M_{N_2O} = 10^{-6} \cdot 0,1 \cdot 103,3 \cdot 35,624 = 0,00037m.$$

Викиди метану ( $CH_4$ ) та оксиду азоту I ( $N_2O$ ) можуть бути перераховані на  $CO_2$  еквівалент за рахунок використання спеціальних коефіцієнтів 25 та 298 відповідно. Розрахунок виконується за рівняннями:

$$M_{CO_2екв}(CH_4) = 25 \cdot M_{CH_4} \quad (6.3)$$

$$M_{CO_2екв}(N_2O) = 298 \cdot M_{N_2O} \quad (6.4)$$

$$M_{CO_2екв}(CH_4) = 25 \cdot 0,0037 = 0,0925m$$

$$M_{CO_2екв}(N_2O) = 298 \cdot 0,00037 = 1,1026m$$

## 6.2. Розрахунок викидів при роботі компресорів теплових насосів

Холодильні компресори теплових насосів працюють на фреоні R134a. Якщо б охолодження компресорів здійснювалось не водяним а повітряним шляхом, то в атмосферне повітря потрапляла би відповідна кількість парів фреону. Цей факт мав би місце в наслідок витоків парів фреону через нещільності в трубопроводах.

Витрата фреону на поповнення системи для компенсації його втрат через нещільності визначається за рівнянням:

$$P_{R134a} = Q \cdot M_{R134a} \cdot 10^{-3}, \quad (6.5)$$

де  $Q$  – холодопродуктивність компресорів, кВт;

$M_{R134a}$  – витрата фреону на поповнення системи протягом року, кг/кВт.

$$P_{R134a} = 300 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} = 0,03m$$

Максимальний викид фреону в атмосферу розраховується за рівнянням:

$$M_{R134a} = ГДК_{mp} \cdot B \cdot \frac{10^{-3}}{3600}, \quad (6.6)$$

де  $ГДК_{mp}$  – гранично допустима концентрація для фреону, мг/м<sup>3</sup>;

$B$  – продуктивність системи вентиляції, м<sup>3</sup>/год.

$$M_{R134a} = 410 \cdot 280 \cdot \frac{10^{-3}}{3600} = 0,03188g / сек$$

В перерахуванні викидів фреону на CO<sub>2</sub> еквівалент ця величина дорівнюватиме  $1,01 \cdot 10^{-15}$  т/год.

### 6.3 Порівняння викидів парникових газів від котельні на природному газі та від теплонасосної установки

Результати розрахунків для двох систем теплопостачання наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Порівняння викидів парникових газів від котельні на природному газі та від теплонасосної установки

Перелік газів	Викиди від котельні на газоподібному паливі в CO <sub>2</sub> еквіваленті, т/рік	Викиди від теплонасосної установки в CO <sub>2</sub> еквіваленті, т/рік
CO <sub>2</sub>	56	
CH <sub>4</sub>	0,0925	
N <sub>2</sub> O	1,1026	
Фреон R134a	-	$1,01 \cdot 10^{-15}$
ВСЬОГО	57,1951	$1,01 \cdot 10^{-15}$

Кількість викидів парникових газів при використанні теплонасосної установки на 57,1951 т менше ніж при використанні котельні на газоподібному паливі відповідної потужності.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря з різними виробництвами [Електронний ресурс]. – режим доступу:  
[https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/tom\\_1.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/tom_1.pdf)