

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут архітектури, будівництва та землеустрою  
Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
до кваліфікаційної роботи магістра  
на тему

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ  
ГРУНТОВИХ МАСИВІВ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ ПІДЗЕМНИХ  
СПОРУД ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

Розробив: **Клітний Євгеній Олександрович**  
студент гр. 601-БА,  
освітньо-професійна програма  
«Автомобільні дороги, вулиці та дороги  
населених пунктів»  
№ з.к. 10588928

Керівник: **Карюк Алла Миколаївна**  
к.т.н., доцент кафедри автомобільних  
доріг, геодезії та землеустрою

Рецензент:  
Директор ТОВ «Будівельник 2016»  
Вітвіцький К.Е.

Полтава 2024

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут архітектури, будівництва та землеустрою  
Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою

**ЛИСТ ПОГОДЖЕННЯ**  
**до магістерської роботи**  
**на тему**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ**  
**ГРУНТОВИХ МАСИВІВ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ ПІДЗЕМНИХ**  
**СПОРУД ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

Розробив: **Клітний Євгеній Олександрович**  
студент гр. 601-БА,  
освітньо-професійна програма  
«Автомобільні дороги, вулиці та дороги  
населених пунктів»  
№ з.к. 10588928

Консультанти:

розділ 1	<b>к.т.н., доц. Ткаченко І.В.</b>
розділ 2	<b>к.т.н., доц. Ільченко В.В.</b>
розділ 3	<b>к.т.н., доц. Карюк А.М.</b>
розділ 4	<b>к.т.н., доц. Карюк А.М.</b>

Допустити до захисту

Зав. кафедрою	<b>д.е.н., доц. Шарий Г.І.</b>
---------------	--------------------------------

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Навчально-науковий інститут архітектури, будівництва та землеустрою  
Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою  
Ступінь вищої освіти «магістр»  
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
Освітня програма «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів»

## **ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав.кафедри \_\_\_\_\_ Шарий Г.І.

« \_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

## **ЗАВДАННЯ** на кваліфікаційну роботу магістра Клітний Євгеній Олександрович

1. Тема кваліфікаційної роботи

*Дослідження температурного режиму ґрунтових масивів  
для проєктування підземних споруд транспортної інфраструктури*

керівник *к.т.н., доцент Карюк Алла Миколаївна*

затверджені наказом по університету від «04» вересня 2023 р. № 986 ф,а  
Строк подання кваліфікаційної роботи « 15 » січня 2024 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

- *періодичні наукові видання за темою дослідження*
- *нормативно-технічна література за темою дослідження*
- *типові проектні рішення*

4. Зміст текстового матеріалу (перелік питань, що належить розробити)

1. *Температурний режим ґрунтових масивів та його вплив на підземні споруди транспортної інфраструктури*
2. *Кліматичні дані з температури ґрунту*
3. *Статистичні характеристики температури ґрунту*
4. *Розрахункові значення температури ґрунту*

5. Перелік графічного матеріалу

- *графічне супроводження результатів дослідження за обраною темою*

## 6. Консультанти за розділами кваліфікаційної роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Єрмакова І.А.		
Розділ 2	Ткаченко І.В.		
Розділ 3	Карюк А.М.		
Розділ 4	Карюк А.М.		

7. Дата видачі завдання «02» жовтня 2023р.

## Календарний план виконання кваліфікаційної роботи

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання	Примітка
1	Формування теми, структури та змісту роботи. Виписування завдання	02.10-08.10.23	
2	Формування мети й завдань дослідження. Аналіз вихідних даних за темою роботи.	09.10-29.10.23	
3	Проведення теоретичних та/або експериментальних досліджень за темою роботи.	30.10.-12.11.23	
4	Опрацювання результатів теоретичних та/або експериментальних досліджень.	13.11-10.12.23	
5	Розроблення рекомендацій щодо практичного використання результатів дослідження.	11.12-24.12.23	
6	Формування основних висновків. Складання списку використаних джерел.	25.12-31.12.23	
7	Оформлення графічного матеріалу	01.01-07.01.24	
8	Здача роботи на кафедру. Проходження перевірки роботи на плагіат	08.01-10.01.24	
9	Затвердження роботи консультантами та керівником. Отримання рецензії на роботу.	11.01-14.01.24	
10	Затвердження роботи завідувачем кафедрою. Отримання направлення та підготовка до захисту.	15.01-21.01.24	
	Захист роботи	з 22.01.24	

Студент \_\_\_\_\_ Клітний Є.О.

Керівник \_\_\_\_\_ Карюк А.М.

**Клітний Є.О. Дослідження температурного режиму ґрунтових масивів для проєктування підземних споруд транспортної інфраструктури. – Полтава, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023. – 106с.**

Кваліфікаційна робота магістра зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (освітня програма «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів») присвячена дослідженню температурного режиму ґрунтових масивів, результати якого призначені для проєктування підземних споруд транспортної інфраструктури.

У роботі досліджено температурний режим ґрунтових масивів для проєктування підземних споруд транспортної інфраструктури, розроблена методика статистичного аналізу метеорологічних даних, яка забезпечує аналіз мінливості статистичних характеристик температури ґрунту по глибині та по території України. Встановлено, що середньомісячні температури ґрунту мають виражений річний хід та істотно залежать від глибини. На поверхні ґрунту найбільша температура спостерігається в липні, а найменша в січні. З ростом глибини екстремуми температури зміщуються на більш пізні терміни. При збільшенні глибини середньомісячні температури усіх місяців року зближуються між собою, асимптотично наближаючись до температури  $+10^{\circ}\text{C}$ .

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів основної частини, списку літератури. Загальний обсяг роботи становить 110 сторінок тексту та 20 слайдів графічного матеріалу.

**Ключові слова:** температурний режим, ґрунтові масиви, температура повітря, температура ґрунту, мережа метеостанцій, підземні споруди транспортної інфраструктури, статистичні характеристики температури ґрунту.

<b>Вступ</b>		7
<b>Розділ 1</b>	<b>ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ҐРУНТОВИХ МАСИСІВ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ПІДЗЕМНІ СПОРУДИ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ</b>	
1.1	Конструкції, проектування й зведення підземних частин будівель і споруд транспорту з урахуванням температури ґрунту .....	10
1.2	Методика і результати вимірювання температури повітря й ґрунту.....	11
1.3	Імовірнісні моделі для подання температурних впливів на будівельні конструкції.....	17
1.4	Вплив температури на будівельні конструкції.....	21
1.5	Висновки з розділу і завдання досліджень.....	23
<b>Розділ 2</b>	<b>КЛІМАТИЧНІ ДАНІ З ТЕМПЕРАТУРИ ҐРУНТУ</b>	30
2.1	Мережа метеостанцій для дослідження температури ґрунту	
2.2	Характеристика територіальних громад і населених пунктів...	36
2.3	Вибір населених пунктів для аналізу мережі автомобільних доріг.....	41
2.4	Висновки з розділу.....	45
<b>Розділ 3</b>	<b>СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕМПЕРАТУРИ ҐРУНТУ</b>	
3.1	Завдання аналізу статистичних характеристик.....	
3.2	Середня температура ґрунту.....	
3.3	Стандарти температури ґрунту.....	
3.4	Середні мінімуми температури ґрунту.....	
3.5	Стандарти середніх мінімумів температури ґрунту.....	
3.6	Середні максимуми температури ґрунту.....	
3.7	Стандарти середніх максимумів температури ґрунту.....	

3.8 Висновки з розділу.....

**Розділ 4 РОЗРАХУНКОВІ ЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ҐРУНТУ**

4.1 Методика визначення екстремальних розрахункових значень температури ґрунту.....

4.2 Результати оцінювання розрахункових значень температури ґрунту.....

4.3 Залежності розрахункових температур від періоду повторюваності.....

4.4 Залежність розрахункових температур від глибини.....

4.5 Приклад використання результатів дослідження.....

4.6 Висновки з розділу.....

**ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....**

**ЛІТЕРАТУРА.....**

## ВСТУП

**Актуальність теми.** До складу транспортної інфраструктури входить великий клас заглиблених будівель та споруд, які безпосередньо контактують з ґрунтом. Зміни температури ґрунтового масиву можуть створювати силові дії на несучі конструкції та впливати на температурний режим заглиблених приміщень. Для урахування цих факторів необхідно дослідити процеси зміни температури ґрунту на різних глибинах, отримати їх статистичні характеристики та встановити розрахункові значення літніх і зимових температур для теплових розрахунків огорожень заглиблених приміщень, а також температурних перепадів для розрахунків несучих конструкцій.

За температурою ґрунту на поверхні та на різних глибинах ведуться систематичні спостереження на метеостанціях України. Накопичено значний обсяг метеорологічної інформації, який дозволяє провести статистичний аналіз, розробити імовірнісні моделі для опису температури ґрунту та отримати її розрахункові значення. Враховуючи значний вплив температури ґрунту на заглиблені споруди, зокрема в транспортній галузі, її дослідження та імовірнісне подання є актуальною науково-технічною задачею.

**Мета дослідження:** розробити імовірнісну модель для подання температури ґрунту на глибинах, отримати, проаналізувати й узагальнити статистичні характеристики температури та розробити пропозиції щодо нормування впливу температури на підземні частини будівель і споруд транспортної інфраструктури.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі **завдання:**

1. Шляхом аналізу літературних джерел виявити характер впливу температури ґрунтових масивів на підземні споруди транспортної інфраструктури.
2. Сформувані вибірковою мережу метеостанцій, розміщених у різних районах України, з метою відображення територіальної мінливості параметрів температури атмосферного повітря та ґрунту.

3. В середовищі табличного процесора Microsoft Excel сформувати базу даних з температури повітря та ґрунту на обраних для аналізу метеостанціях України.
4. Розробити методику статистичного аналізу наявних метеорологічних даних, яка забезпечить визначення статистичних параметрів температури повітря й ґрунту, урахування їх мінливості по глибині та по території України, а також нормування розрахункових значень.
5. За даними обраних метеостанцій визначити статистичні параметри температури повітря та ґрунтового масиву на різних глибинах для усіх місяців року та проаналізувати їх територіальну мінливість.
6. Проаналізувати й описати зв'язок між параметрами температури атмосферного повітря й температури ґрунтового масиву.
7. Встановити розрахункові значення температури ґрунту та її річних перепадів, необхідні для розрахунків огорожувальних і несучих конструкцій заглиблених будівель і споруд транспорту.

**Об'єкт дослідження** – часова й територіальна мінливість температури ґрунту на різній глибині.

**Предмет дослідження** – зміни статистичних характеристик та розрахункових значень температури в глибині ґрунтового масиву в різних географічних районах України.

**Методи дослідження:** методи статистичного аналізу даних і методи теорії надійності для визначення розрахункових характеристик.

## Розділ 1

# ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ҐРУНТОВИХ МАСИСІВ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ПІДЗЕМНІ СПОРУДИ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

### 1.1 Конструкції, проектування й зведення підземних частин будівель і споруд транспорту з урахуванням температури ґрунту

Підземні об'єкти, які контактують з ґрунтом, можна класифікувати за призначенням на житлові, культурно-розважальні та спортивні будівлі, підприємства торгівлі та громадського харчування, навчально-виховні й наукові заклади, промислові та складські будівлі, об'єкти транспорту та інженерного обладнання, інші підземні споруди;

Вибір способу будівництва підземних споруд обумовлюється в основному глибиною закладання і призначення об'єкту, а також геологічними умовами будівельної ділянки. Неглибокі підземні споруди будують відкритим способом, у траншеях під гіксотропними суспензіями, або методом опускної споруди [4]. Підземні споруди глибокого залягання і, в особливих випадках, неглибокого (наприклад, міські колектори та перегінні тунелі метрополітенів) будуються закритим (підземним) способом.

При відкритому способі будівництва траншеї і котловани зазвичай закріплюють, використовуючи кріплення з розпірками чи шпунтове кріплення. Будівництво у відкритих котлованах ефективно до глибин 7...10 м при забезпеченні надійного водопониження.

Ключовим моментом при проектуванні фундаментів є температура промерзання ґрунтів. Проблема полягає в тому, що багато водонасичених глинистих ґрунтів можуть спучуватися, тобто збільшують свій об'єм при замерзанні за рахунок утворення в них прошарків льоду. Замерзання супроводжується підсмоктуванням ґрунтової води з нижче лежачих шарів, за рахунок чого товщина прошарків льоду додатково збільшується. Це приводить до виникнення сил здимання по підшві фундаменту, які можуть викликати

підйом споруди. Відтавання таких ґрунтів приводить до різкого їх зволоження, зниження їх несучої здатності і просідання споруди.

Метод будівництва підземних споруд «Стіна в ґрунті» заснований на здатності суспензій утримувати ґрунтові стінки від обвалення. Він полягає в зведенні вертикальних стін підземних споруд в траншеях-щілинах до початку розробки ґрунту усередині споруди. Спочатку в ґрунті зводять стіни підземної споруди з монолітного чи збірного залізобетону, а потім під їх захистом розробляють ґрунтове ядро. Зазвичай ці стіни стають фундаментом підземної споруди [5].

Пальові стіни зводять послідовним бурінням та бетонуванням паль. При цьому роботи ведуть насухо в мало зволжених стійких ґрунтах або із використанням глинистого розчину в нестійких водонасичених ґрунтах.

Монолітні залізобетонні стіни розбивають на захватки у формі траншей довжиною 4...6 м, які розділяють залізобетонними палями або інвентарними перегородками. Потім ґрунт виймають з цієї захватки, встановлюють арматурні каркаси і вкладають бетонну суміш за аналогією зі спорудженням буронабивних паль. При бетонуванні дотримуються черговість: спочатку бетонують парні, а потім непарні захватки траншей, які стикуються між собою [5].

Будівництво підземних споруд може здійснюватися за допомогою механізованих комплексів у вигляді гірничих комбайнів та прохідницьких щитів, буропідливних робіт, а також свердловинними методами (підземне вилуговування, вибухове ущільнення ґрунтів). Порожнини, утворені свердловинними методами, використовуються як сховища для нафтопродуктів і зріджених газів, тому гірські породи стінок мають бути непроникні, однорідні по складу і хімічно нейтральні до продуктів, що зберігаються.

Експлуатація підземних споруд зводиться головним чином до підтримки в них необхідного мікроклімату, забезпечення штучного освітлення і енергопостачання. Регулювання параметрів повітряного середовища зазвичай здійснюють за допомогою кондиціонерів повітря.

## **1.2 Методика і результати вимірювання температури повітря й ґрунту**

Температура повітря й ґрунту відіграє важливу роль при проектуванні й експлуатації підземних та заглиблених будівель і споруд та інших об'єктів, які контактують з ґрунтом. Метеорологічні спостереження за температурою повітря й ґрунту є одним з видів систематичних інструментальних вимірювань параметрів клімату.

Спостереження за температурою повітря ведуться на метеорологічних станціях та постах відповідно до міжнародно визнаних стандартів метеорологічних вимірювань, відображених у настанові [20]. Вимірювання ведуться рідинними (ртутними чи толуоловими) термометрами, розміщеними в психрометричній будці на висоті два метри від поверхні землі. Будка має жалюзі, які відкривають вільний доступ повітря, але захищають розміщені в ній термометри від дії сонячних променів. Це забезпечує вимірювання температури повітря в затінку, результати якого можуть бути безпосередньо використані для оцінювання температури об'єктів, захищених від прямої дії сонячної радіації. Як правило, в будці встановлюють термометр для вимірювань поточних значень температури, а також мінімальний та максимальний термометри, які забезпечують визначення найбільшої та найменшої температури повітря протягом доби.

Вимірювання температури здійснюється у певні години (строки) вісім разів на добу: о 1-й, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22-й годині. До 1963 року велися не восьмистрокові, а чотирьохстрокові спостереження о 1-й, 7, 13, 19-й годині за тією ж методикою. Такий підхід дозволяє виявити не лише середньодобові значення температури повітря, але й наближено встановити її добовий хід та добові амплітуди. Для більш детального вивчення добового ходу температури на деяких метеостанціях у будках такого ж типу встановлюються термографи, за допомогою яких ведуться безперервні записи температури.

Для визначення температур повітря та термічного режиму конструкцій, розміщених на інших висотах чи відкритих дії сонячних променів вводяться поправки, визначені за результатами вимірювань температури на висотах та з урахуванням спостережень за інтенсивністю сонячної радіації, які також проводяться на окремих метеостанціях. Такий прогноз є досить складним завданням унаслідок істотного впливу інтенсивності сонячної радіації, орієнтації, кольору та фактури поверхні конструкції, а також умов теплообміну з повітрям, залежних від швидкості вітру.

Результати метеорологічних спостережень накопичуються в архівах системи Гідрометеослужби та публікуються в спеціалізованих виданнях [8] та інших. Залежно від призначення та обсягу інформації, використовуються різні форми подання метеорологічних показників, у тому числі результатів вимірювань температури повітря й ґрунту.

**Середні значення** є найбільш стійкими показниками, що характеризують температурний режим місцевості в цілому. В метеорології використовують середньодобові, середньомісячні та середньорічні значення температури повітря. Найточніше середньодобове значення оцінюється за безперервними записами за допомогою термографів. При використанні результатів строкових спостережень точність оцінювання середньодобових температур зростає зі збільшенням кількості вимірювань протягом доби, що й обумовило перехід на восьмистрокові спостереження. Середньомісячні значення обчислюються за рядом середніх добових значень за даний місяць, а середньорічні – за рядом середніх місячних величин. Середні місячні та річні значення, обчислені за досить довгими рядами спостережень (30 років і більше), називають кліматичними нормами. Багаторічні середні величини дозволяють порівнювати особливості клімату різних географічних районів.

**Крайні (граничні) значення** відображають природну мінливість температури повітря й використовуються для оцінки умов експлуатації різних матеріалів та конструкцій. В кліматології прийнято визначати:

- абсолютні екстремуми, як найбільші та найменші значення показника, які спостерігалися протягом досить довгого періоду;
- середні місячні екстремуми, як середні значення найбільших чи найменших показників, отриманих у певному місяці протягом усіх років спостережень;
- середні річні екстремуми величини як середні значення найбільших чи найменших показників, отриманих протягом усіх років спостережень.

Амплітуда коливань температури повітря є різницею між найбільшим та найменшим значенням температури протягом певного періоду вимірювань. Для вирішення практичних питань найчастіше використовують середньодобові амплітуди, визначені як різниці середніх добових максимумів та мінімумів, або як різниці середніх температур у найтепліші та найхолодніші години доби. Узагальненою характеристикою клімату є річна амплітуда температури повітря, визначена як різниця між найбільшою і найменшою середньомісячними (протягом усіх років спостереження) значеннями температури.

Повторюваність значень температури відображає закон розподілу кліматичного параметра. Повторюваність вказує, як часто спостерігаються різні значення температури в даному географічному районі, у тому числі виявляє явища, які рідко спостерігаються, але мають суттєве значення для вирішенні практичних задач. Диференціальні повторюваності температури повітря прийнято визначати для інтервалів з градацією 5 градусів, виражаючи їх числом днів або процентом від загального числа днів у місяці чи році. Інтегральні повторюваності розраховуються шляхом накопичення диференціальних повторюваностей, вищих чи нижчих заданої межі.

Для вимірювання температури повітря й ґрунту в метеорології використовують рідинні скляні термометри на основі ртуті, спирту чи толуолу (поточні, мінімальні та максимальні) а також електричні термометри на основі терморезисторів (рис. 1.1).



Рис.1.1 Електричний термометр

**Вимірювання температури ґрунту на агротехнічних глибинах** виконуються на оброблюваній ділянці, вільній від рослинного покриву на глибинах 5, 10, 15, 20 см [7]. Метод заснований на використанні термометрів, постійно встановлених на кожній із глибин; чуттєвий елемент кожного термометра знаходиться у тепловій рівновазі із ґрунтом на глибині установки.

В якості вимірювального обладнання використовують **колінчаті термометри Савінова**, які представляють собою комплект з чотирьох скляних ртутних термометрів із циліндричними резервуарами з округленими кінцями (рис. 1.2).

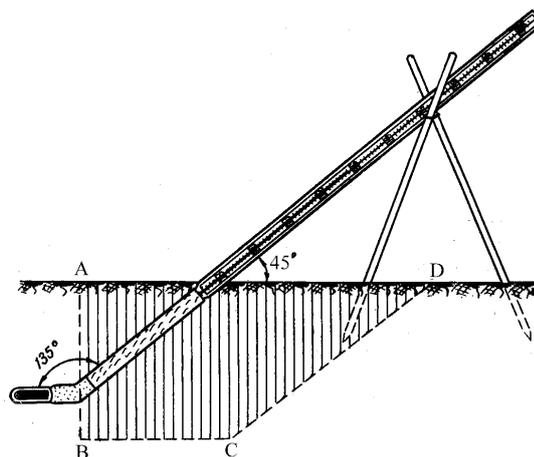


Рис.1.2. Установа термометра Савінова

Термометри зігнуті під кутом  $135^\circ$  в місці, віддаленому від резервуара на 2-3 см. Це дозволяє встановлювати термометри в ґрунті так, щоб резервуар і

частина термометра до вигину перебували в горизонтальному положенні під шаром ґрунту, а частина термометра зі шкалою розміщувалася над ґрунтом.

Кожен термометр має шкалу тільки в тій частині термометра, яка розташовується над ґрунтом і доступна для відліків [7]. Нижче шкали оболонка термометра заповнена ватою і сургучними прошарками.

Перед установкою термометрів у ґрунт на їх оболонку слід нанести масляною фарбою спеціальні мітки на тому місці оболонки термометра, яке буде співпадати з горизонтальною лінією на відстані, рівній глибині занурення термометра в ґрунт [7].

Для установки термометрів в ґрунті робиться виїмка довжиною 40 см, шириною 25-30 см з одного прямовисною стінкою, яка розташована з відхиленням від лінії схід захід на північ. На заданій глибині повинна знаходитися вісь резервуара термометра. У вертикальній стінці виїмки на зазначеній глибині роблять поглиблення чистої дерев'яною паличкою.

Термометр вставляється в ґрунт до самого вигину. При цьому ґрунт повинен щільно прилягати до резервуара термометра. Після цього виїмку навколо термометра засипають землею, злегка її ущільнюючи. Таким же чином встановлюються й інші термометри. Після установки всіх термометрів виїмку засипають землею врівень з поверхнею всієї ділянки.

Колінчасті термометри встановлюють рано навесні, одразу ж після сходу снігового покриву, коли глибина талого ґрунту досягає 20–25 см. Їх встановлюють на ділянці на відстані 10 см один від одного в порядку зростання глибини. Щоб встановити колінчастий термометр, потрібно викопати канавку у вигляді трапеції. У прямовисній північній стороні канавки на заданій глибині роблять заглиблення, паралельне поверхні ґрунту, в яке вставляють резервуар термометра [7]. При цьому частина термометра, розміщена над поверхнею ґрунту повинна бути нахилена під кутом  $45^{\circ}$  до поверхні ґрунту. Після встановлення термометра канавку засипають, уважно стежачи, щоб зберігалася послідовність вийнятих шарів ґрунту і ґрунт щільно прилягав до резервуара.

Для стійкості термометри закріплюють на дерев'яних козлах. Восени, коли температура ґрунту на глибині 5 см знижується до 0<sup>0</sup>С, термометри виймають і спостереження не проводять.

До термометрів під час спостережень потрібно підходити з північної сторони й послідовно, починаючи з термометра, встановленого на глибині 5 см, знімати їх покази. Після відліку вводять поправки на "виступаючий стовпчик" та інструментальну частину.

**Виконання вимірювання.** Перед виконанням вимірювань за допомогою колінчатих термометрів Савінова перед дослідженнями необхідно виконати наступні роботи:

- опустити рейковий настил;
- зняти з колінчатих термометрів захисні чохла;
- перевірити цілісність шали термометрів;

При виконанні вимірювань колінчатими термометрами Савінова повинні виконуватися наступні умови:

- спостереження за температурою ґрунту виконуються в теплу пору року, а в північних широтах, в районах з нестійкими морозами – протягом всього року в єдиний синхронний термін;
- поновлення спостережень колінчатими термометрами весною та завершення восени може виконуватися в будь-який день місяця, але так, щоб на початку та в кінці спостережень були отримані дані за повну добу;
- колінчаті термометри Савінова встановлюються на метеорологічний майданчик на обробленій ділянці ґрунту;
- встановлюють термометри після сходу снігового покриву на завчасно підготовленій ділянці.

**Перевірка результатів спостережень** за колінчастими термометрами Савінова здійснюється за градієнтами температури ґрунту на суміжних глибинах [7]. При цьому використовуються відомі закономірності зміни градієнтів температури ґрунту в різні сезони року.

**Витяжні термометри** (рис. 1.3) встановлюють на ділянці з природним покривом по лінії схід – захід на відстані 50 см один від одного в порядку зростання глибини: 20 см, 40 см, 80 см, 160 см, 320 см. Термометри вставляють в пробурені вертикальні свердловини відповідної глибини.

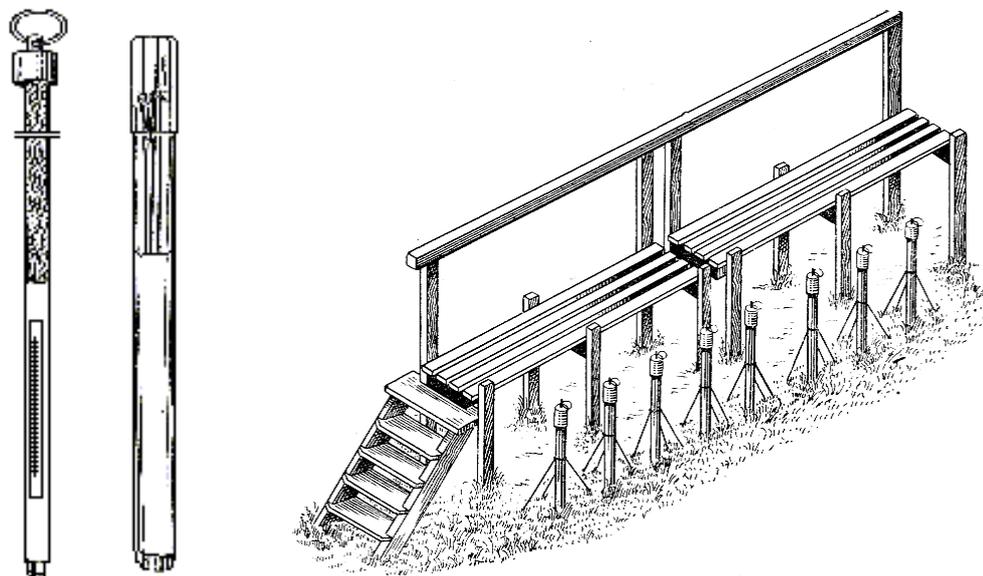


Рисунок 1.3 Витяжні термометри

Установка витяжних ґрунтово-глибинних термометрів проводиться за допомогою бура, для чого робляться вертикальні свердловини відповідної глибини і такого діаметру, щоб труби легко входили в них. При цьому зазор між ґрунтом і трубою не допускається.

У випадках відсутності бура або в умовах кам'янистого ґрунту для установки витяжних ґрунтово-глибинних термометрів викопується спеціальний шурф зі сходами, по можливості максимально вузький. Труби з термометрами закріплюються на потрібних глибинах в південній вертикальній стіні шурфу в спеціальних, попередньо проритих жолобах [7].

Щоб труби не розхитувалися в ґрунті і не зламалися, виступаючу частину кожної труби слід зміцнити трьома дротяними відтяжками, натягнутими від хомутів до кілочків, міцно вбитих в землю. Можна замість дротяних розтяжок зміцнювати труби загальною поздовжньою дерев'яною рейкою. Таке кріплення більш ефективно на слабких, торф'янистих і розмокаючих ґрунтах, де дротяні розтяжки, як правило, не тримають.

**Перевірка установки термометрів** проводиться не рідше одного разу на місяць. Крім того, після сильних дощів і сніготанення необхідно перевіряти, чи не пропускають труби витяжних термометрів воду. Для цього потрібно кінець довгої палиці обгорнути шматком м'якої чистої тканини або фільтрувального паперу, опустити палицю на дно труби і повернувши кілька разів, обережно витягнути. Якщо в трубі виявиться вода, не обходимо вибрати її зазначеним способом, повторивши процедуру кілька разів [7].

Вода в трубу термометра може потрапляти через утворення тріщин в стінках труби, через конденсацію вологи внаслідок нещільного прилягання повстяних кілець і прокладок до стінок труби, а також при прогині і ржавинні металевого ковпачка близько гвинта з кільцем, за допомогою яких ковпачок пригвинчується до дерев'яного стрижня.

**Перевірка результатів спостережень** за витяжними ґрунтово-глибинними термометрами здійснюється за допомогою графіків і градієнтів. Для перевірки необхідно один раз в декаду для терміну, найближче до 14 годин поясного декретного (зимового) часу, обчислити градієнти. При підрахунку градієнтів температури ґрунту за одиницю глибини приймають 0,20 м. Значення градієнтів з глибиною повинні спадати. Можна також перевіряти надійність результатів спостережень за витяжними термометрами [7] шляхом аналізу графіка змін температури по глибині.

На горизонтальній осі графіка відкладаються значення температури, а на вертикальній - значення глибин, на яких встановлені термометри. Масштаб для температури - 1 см на 1° С, для глибини - 1 см на 0,20 м. Відхилення однієї чи кількох точок від плавної кривої на графіку свідчить про несправності термометрів або порушення в їх установці.

Вимірювання температури поверхні ґрунту або снігового покриву базується на використанні термометрів, що знаходяться у постійному контакті із поверхнею ґрунту. Спостереження на метеорологічному майданчику виконуються протягом усього року.

У довіднику [8] наведено дані про температуру на основі спостережень, проведених на 207 метеорологічних станціях України у період з 1975 року. В основній частині довідника розглянуті питання, пов'язані з дослідженням характеристик і мінливості температурного режиму повітря та ґрунту. Ця книга є довідником, де систематизовано і в компактній формі наведено узагальнені дані багато річних спостережень на мережі метеорологічних станцій України, згруповані за конкретними метеостанціями.

В довіднику описані чотири характеристики кожного показника за місяць – середнє, стандарт, мінімальне та максимальне значення. Результати представлені у формі, зображеній на рисунку 1.4.

Результати вимірювання подані в табличній формі та супроводжуються графіками. Для кожної з метеостанцій надані такі характеристики: середньомісячна та середньорічна температура повітря, повторюваність міждодової мінливості температури повітря у визначених межах, число днів із середньододовою температурою повітря в різних межах, середній мінімум і максимум температури повітря за місяцями.

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Абс. місячні мін. темп. поверхні ґрунту, (град.), Баштанка												
Сер.	-18.1	-16.5	-11.9	-4.8	-7	5.3	7.3	7.1	-2	-6.4	-11.4	-15.8
Стнд.	4	5.2	5.1	1.2	1.8	1	.9	1.2	2.5	1.5	3.6	1.8
Макс.	-10	-6	-5	-3	2	7	9	9	3	-4	-6	-12
Мін.	-25	-24	-22	-7	-3	4	6	5	-6	-10	-16	-19

Число днів з морозом на пов. ґрунту, (діб), Баштанка												
Сер.	27.6	26.5	21	7.4	1.7	0	13	0	2.6	8.7	20.5	27
Стнд.	2.5	2.3	3.9	3.5	1.1	0	0	0	1.4	3.7	3.4	2.6
Макс.	31	29	28	15	4	0	13	0	5	14	27	31
Мін.	22	21	14	3	1	0	13	0	1	4	14	23

### 113. Миколаїв АМСЦ, Миколаївська обл., висота 49 м.

Сер. темп. повітря, (град.), Миколаїв АМСЦ												
Сер.	-2	-1.2	3.2	10	16.3	19.9	22	21.9	17	10.4	3.5	-7
Стнд.	2	2.2	2	1.2	1.2	1.2	1.5	1.1	1.1	1	1.8	1.8
Макс.	.8	2.7	6.2	12.2	18.7	23	24.4	23.7	18.8	12.6	7.1	2.9
Мін.	-5.4	-5.4	-2.8	8.5	14.5	18.7	20.1	20.1	15.7	8.9	-9	-3

Сер. макс. темп. повітря, (град.), Миколаїв АМСЦ												
Сер.	1.4	2.4	7.4	15.2	22.3	25.7	27.8	27.9	22.8	15.4	6.8	2.4
Стнд.	1.7	2.5	2.4	1.7	1.2	1.5	1.8	1.4	1.5	1.1	1.9	1.7
Макс.	3.3	6.9	11.4	18.2	24.3	29.4	30.9	30.5	25	17.4	10.9	5.9
Мін.	-1.6	-1.9	1.1	12.9	20.3	23.8	25.3	25.8	21.1	13.8	3	-3

Сер. мін. темп. повітря, (град.), Миколаїв АМСЦ												
Сер.	-4.3	-4.1	-1	5.7	11.1	15.1	16.6	16.5	12.3	6.3	.7	-3.2
Стнд.	2.4	2.3	2.1	1	1.4	.8	1.1	.9	.7	1.1	2.1	1.8
Макс.	-1.2	-2	1.9	7.5	13.6	16.8	18.5	17.8	13.9	8.7	4	.3
Мін.	-8.7	-8.3	-6.2	3.6	8.5	13.9	14.6	14.8	11.3	4.9	-4.2	-5.5

Абс. місячні макс. темп. повітря, (град.), Миколаїв АМСЦ												
Сер.	9.3	10.4	17.4	23	28.9	32.2	33.4	32.8	29.6	22.9	14.6	9.2
Стнд.	2	3.5	2.7	2.3	1.6	1.6	2.2	2.6	1.9	2.2	1.6	1.9
Макс.	12.4	16.3	21.3	26.2	31.7	35.5	36.5	36.2	33	27.1	16.4	12.9
Мін.	6.7	3.8	12	19.2	25.5	29.5	29.5	26	27.1	19.4	10.9	6

Абс. місячні мін. темп. повітря, (град.), Миколаїв АМСЦ												
Сер.	-14.3	-13.1	-7.8	2	4.3	9.6	12.1	11.7	5.3	-2.4	-6.8	-12
Стнд.	3.5	4	4.2	1.1	.9	1.1	1.3	1.5	1.2	1.6	3.5	2.1
Макс.	-7.6	-5.8	-1	1.7	6.6	11.3	14.4	14.1	7.4	.6	-4	-8.4
Мін.	-18.2	-21.9	-16.2	-1.6	2.6	8.1	9	9	3.7	-5.2	-11.8	-15.8

Число днів без відлиги, (діб), Миколаїв АМСЦ												
Сер.	11.7	10.2	5.8	0	0	0	0	0	0	0	6.2	8.4
Стнд.	4.8	5.5	4.3	0	0	0	0	0	0	0	1.9	4.9
Макс.	22	22	13	0	0	0	0	0	0	0	9	18
Мін.	6	3	1	0	0	0	0	0	0	0	3	2

Число днів з морозом, (діб), Миколаїв АМСЦ												
Сер.	23.3	22.5	14.8	2.2	1	0	4	0	0	2.7	12.4	21.7
Стнд.	4	4.2	4.1	.4	0	0	0	0	0	1.5	5.1	4.7
Макс.	31	28	22	3	1	0	4	0	0	6	25	28
Мін.	17	14	6	2	1	0	4	0	0	1	4	12

Сер. темп. поверхні ґрунту, (град.), Миколаїв АМСЦ												
Сер.	-2.8	-1.2	4.1	13.3	21.7	25.8	28.2	27.1	20.3	11.2	3.4	-1.5

Рис. 1.4 Форма подання метеорологічних даних про температуру повітря й ґрунту в довіднику [8]

### **1.3 Імовірнісні моделі для подання температурних впливів на будівельні конструкції**

Для опису навантажень і впливів можуть використовуватися різноманітні імовірнісні моделі, які відрізняються ступенем складності, точністю й детальністю опису навантажень, можливостями обчислення розрахункових значень різного виду, а також переліком та обсягом статистичних даних, необхідних для їх розроблення. Ці моделі розробляються на основі загальних положень і методів теорії ймовірностей з урахуванням характерних фізичних та імовірнісних властивостей досліджуваних навантажень чи впливів.

Існує 6 імовірнісних моделей, які можуть використовуватися для опису навантажень на будівельні конструкції:

- диференційований випадковий процес;
- послідовність незалежних випадкових навантажень;
- абсолютні максимуми випадкового процесу навантаження;
- дискретна послідовність перевантажень конструкції;
- екстремуми, розподілені за законом Гумбеля;
- корельована послідовність перевантажень.

У практиці нормування атмосферних навантажень використовується більш обмежений перелік імовірнісних моделей, які зорієнтовані на можливість обчислення певних видів розрахункових значень навантажень і впливів з використанням доступних метеорологічних даних.

Найбільш універсальною та інформаційно насиченою, хоча й досить складною, є імовірнісна модель випадкового процесу, яку в [9] запропоновано вважати еталоном. На основі порівняльного аналізу розроблені способи визначення параметрів інших імовірнісних моделей, які забезпечують близькість результатів обчислення розрахункових значень.

Нижче розглянуті ймовірнісні моделі, які підтвердили свою практичну придатність при дослідженні й нормуванні навантажень.

**Розподіл випадкової величини.** Вичерпний опис випадкової величини дає закон розподілу, заданий у вигляді інтегральної функції  $F(x)$  або густини розподілу  $f(x)$ . Інтегральна функція  $F(X)$  дорівнює імовірності того, що випадкова величина прийме значення, менші за  $X$ . При дослідженнях випадкових навантажень і впливів на будівельні конструкції вона дозволяє оцінювати ймовірності  $P_B$  виходу навантаження за відомі мінімальні  $X_{min}$  та максимальні  $X_{max}$  розрахункові значення (залежно від природи впливу):

$$P_B = F(X_{min}) = \int_{-\infty}^{X_{min}} f(x) dx, \quad P_B = 1 - F(X_{max}) = \int_{X_{max}}^{\infty} f(x) dx. \quad (1.1)$$

Наведені формули конкретизуються з урахуванням закону розподілу, обраного для опису навантаження чи впливу. Перелік і загальна характеристика законів розподілу, які найчастіше використовуються для ймовірнісного подання навантажень і впливів на будівельні конструкції, наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Закони розподілу навантажень і впливів на будівельні конструкції

Назви розподілів	Інтегральна функція розподілу	Густина розподілу	Номери формул
Нормальний (Гауса)	не має аналітичного виразу	$f(x) = \frac{1}{S \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-M)^2}{2S^2}\right]$	(1.2)
Гумбеля	$F(x) = \exp\left[-\exp\left(\frac{\alpha-x}{\beta}\right)\right]$	$f(x) = \frac{1}{\beta} \exp\left[\frac{\alpha-x}{\beta} - \exp\left(\frac{\alpha-x}{\beta}\right)\right]$	(1.3)
Вейбулла	$F(x) = 1 - \exp(-\beta x^\alpha)$	$f(x) = \alpha \beta x^{\alpha-1} \exp(-\beta x^\alpha)$	(1.4)
Експоненціальний	$F(x) = 1 - \exp(-\beta x)$	$f(x) = \beta \exp(-\beta x)$	(1.5)
Поліномоекспоненціальний	не має аналітичного виразу	$f(x) = \exp(c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + c_3 x^3)$	(1.6)

Нормальний закон розподілу (1.2) [35] є граничним розподілом суми багатьох випадкових величин, має нескінчену область визначення і симетричний пагорбоподібний вигляд графіка густини розподілу. Тому він широко застосовується в різноманітних галузях науки та техніки. Його параметрами є середнє значення  $M$  та стандарт  $S$  досліджуваної величини.

Оскільки нормальний закон не має аналітичного виразу інтегральної функції розподілу, вона визначається за таблицями [35] залежно від нормованого значення випадкової величини, або за функціями, вбудованими в поширені математичні пакети.

Закон розподілу Гумбеля, або подвійний експоненціальний розподіл (1.3) є граничним розподілом максимального елемента вибірки випадкової величини, чим пояснюється його широке застосування для опису екстремальних значень різних величин. Він має нескінчену область визначення та правосторонню асиметрію з постійним коефіцієнтом асиметрії  $A=1,14$ . Параметри розподілу Гумбеля  $\alpha$  і  $\beta$  наближено можуть визначатися за формулами

$$\alpha = M - 0,45 S ; \quad \beta = 0,78 S , \quad (1.7)$$

або більш точно, з урахуванням обсягу вибірки та інших факторів – за вказівками [35].

Розподіл Вейбулла (1.4) визначений в області додатних чисел, а його параметри  $\alpha$  і  $\beta$  визначаються через середнє значення  $M$  і коефіцієнт варіації  $V$  випадкової величини шляхом розв'язання нелінійного рівняння, яке містить гамма-функцію.

Експоненціальний закон розподілу (1.5) є окремим випадком закону Вейбулла при  $\alpha = 1$ , а його параметр є величиною, оберненою до середнього значення досліджуваної випадкової величини:  $\beta=1/M$ .

Поліномо-експоненціальний розподіл (1.6) розроблений і використаний для опису навантажень на будівельні конструкції в роботі [35]. Він має область визначення, обмежену довільно заданими величинами, а його параметри визначаються шляхом розв'язання системи нелінійних рівнянь, що встановлюють рівність статистичних характеристик до відповідних вибірових значень, отриманих при статистичній обробці дослідних даних. Порядок визначення параметрів детально описаний в роботі [35].

Наявність інтегральної функції розподілу дозволяє підставити її до (1.1) і визначати ймовірності виходу за межі розрахункових значень. Якщо закон

розподілу не має аналітично вираженої інтегральної функції (нормальний та поліномо-експоненціальний розподіли), ймовірності знаходяться за відомими таблицями чи процедурами, вбудованими в поширені математичні пакети, або шляхом чисельного інтегрування густини розподілу згідно з формулами (1.1).

Обернена задача, що полягає в пошуку мінімальних  $X_{\min}$  та максимальних  $X_{\max}$  розрахункових значень за встановленою ймовірністю виходу за їх межі, вирішується шляхом розв'язання одного з рівнянь (1.1). Для розподілів Гумбеля, Вейбулла та експоненціального ця задача розв'язується аналітично. В інших випадках вона зводиться до чисельного розв'язання рівнянь, отриманих у результаті підстановки до (1.1) відповідної інтегральної функції розподілу чи процедури її обчислення, одним із способів [35].

Встановивши допустиму ймовірність виходу, за описаною процедурою можна знайти розрахункове значення навантаження чи впливу. Прирівнюючи ймовірність виходу до встановленої нормами допустимої частки строку служби, можна визначити експлуатаційне розрахункове значення впливу. Ймовірність виходу за граничне розрахункове значення для постійних навантажень приймається за нормами [10], а для змінних наближено вважається обернено пропорційною кількості спостережень випадкової величини навантаження протягом заданого періоду повторюваності. Оскільки такий підхід є правомірним лише для незалежних результатів спостережень, в [9] встановлені еквівалентні кількості незалежних даних у вибірках метеорологічних спостережень за атмосферними навантаженнями.

**Послідовність максимальних значень.** Ця ймовірнісна модель використовується для обчислення граничних розрахункових значень за заданим періодом їх повторюваності. Згідно з процедурою наявна реалізація (послідовність спостережень) процесу навантаження розділяється на рівні відрізки, на кожному з яких вибирається максимальне спостережене значення навантаження. Для нормування снігового навантаження звичайно використовуються послідовності річних максимумів, та для вітрового –

місячних, що гарантує незалежність послідовних максимумів. Отримана вибірка максимумів описується розподілом Гумбеля (1.3), можливість застосування якого доказана в перелічених та інших роботах. Граничне розрахункове значення визначається для заданого періоду повторюваності  $T$  за наведеною в [35] та інших джерелах формулою:

$$Q_m = \alpha - \beta \ln[-\ln(F)], \quad (1.8)$$

де  $\alpha$  і  $\beta$  – параметри (1.7) розподілу Гумбеля;

$F = 1 - 1/T$  – значення функції розподілу в одному випробуванні.

Період повторюваності  $T$  повинен виражатися в одиницях, рівних інтервалу вибірки максимумів (роки для снігового чи місяці для вітрового навантаження).

Таким чином, ймовірнісна модель послідовності максимальних значень дозволяє без використання великих обсягів даних та складних обчислювальних процедур нормувати граничні розрахункові значення змінних навантажень з адекватним урахуванням фактора часу.

**Квазістаціонарний диференційований випадковий процес.** Це універсальна ймовірнісна модель, яка дозволяє визначати розрахункові значення змінних навантажень усіх видів (граничні, експлуатаційні, циклічні та квазіпостійні). Можливість застосування цієї моделі для ймовірнісного опису атмосферних навантажень і впливів обґрунтована в роботі [35]. Характерною особливістю запропонованих ймовірнісних моделей є річний період нестационарності, який задається функціями числових характеристик і відображає сезонні зміни, притаманні атмосферним навантаженням і впливам.

Для опису атмосферних навантажень у формі квазістаціонарного процесу задаються функції середнього значення  $M(t)$ , стандарту  $S(t)$  та коефіцієнта асиметрії  $A(t)$  у вигляді апроксимуючих функцій або послідовностей з 12 місячних значень, а також постійне в часі значення ефективного частоти  $\omega$ . Вид закону розподілу ординати обирається залежно від виду навантаження, а його параметри в довільний момент часу протягом року визначаються через функції

числових характеристик  $M(t)$ ,  $S(t)$  і  $A(t)$ . В результаті отримують змінні в часі густину  $f(x,t)$  та інтегральну функцію розподілу ординати  $F(x,t)$ .

Згідно з [35], частота перевищень квазістаціонарним випадковим процесом рівня  $X$  визначається за формулою

$$\lambda(X) = 0,4 \omega \int_0^{1\rho k} S(t) \times f(X,t) dt, \quad (1.9)$$

всі елементи якої позначені вище.

Формула (1.9) конкретизується з урахуванням виду закону розподілу ординати та форми подання функцій числових характеристик. У поширеному випадку нормального розподілу та числових характеристик, заданих послідовностями місячних значень, формула (1.9) приймає вигляд

$$\lambda(X) = 4,8 \omega \sum_{i=1}^{12} \exp \left[ -\frac{(X - M_i)^2}{2 S_i^2} \right], \quad (1.10)$$

де  $M_i$  і  $S_i$  – значення функцій математичного сподівання та стандарту для  $i$ -того місяця року;

**4,8** – коефіцієнт, що враховує 30 днів у місяці та деякі параметри формули Райса.

Допустима частота перевищень визначається [8] через середній період повторюваності  $T$  розрахункового значення  $X$ :

$$\lambda_p = 1/T. \quad (1.11)$$

Прирівнюючи (1.9) чи (1.10) до допустимої частоти перевищень (1.11), отримують нелінійне рівняння, яке вирішується чисельно і має два розв'язки відносно  $X$ , рівні максимальному та мінімальному граничним розрахунковим значенням навантаження.

У роботі [35] показано, що експлуатаційне розрахункове значення визначається на основі формул (1.1) з рівняння:

$$\mu = 1 - F(Q_e) = \int_{Q_e}^{\infty} f(x) dx, \quad (1.12)$$

де  $\mu$  – частка строку служби, протягом якої експлуатаційне розрахункове значення може перевищуватися.

У випадку квазістаціонарного випадкового процесу слід також урахувати зміни закону розподілу його ординати протягом року шляхом інтегрування правої частини рівняння (1.12) за часом.

**Імовірнісна модель квазістаціонарного диференційованого процесу** температури повітря розроблена в [35] за результатами налізу даних шести метеостанцій, розміщених у різних географічних районах України. За даними про повторюваність добової амплітуди температури повітря в різних межах отримані річні функції числових характеристик і показано, що їх можна описати рядами Фур'є з однією парою коефіцієнтів. Виявлені залежності коефіцієнта варіації та коефіцієнта асиметрії від середньомісячного значення температури. Вигляд гістограм розподілу показує, що в теплий період року вони можуть описуватися нормальним законом розподілу. Розподіли температур в зимові місяці мають лівосторонню асиметрію, тому нормальний розподіл придатний лише для наближеної їх апроксимації. Показано, що ефективну частоту можна прийняти єдиною для усієї території України. Розроблена методика обчислення розрахункових значень температури через їх період повторюваності та інтервал осереднення температури повітря.

#### **1.4 Вплив температури на будівельні конструкції**

**Сутність і характер температурних впливів.** Температурний вплив відносяться спільно з усадкою, обтисненням і опадами опор до внутрішніх деформацій. Ці дії - деформації і напруги - залежать перш за все від властивостей матеріалу і умов кріплення окремих елементів, цілої конструкції або окремих її частин. Розглянемо це на прикладі розтягнутого або стиснутого стержня, який не може втратити стійкість (рис. 5.6). Закріплення на опорах характеризується коефіцієнтом защемлення до (просто спирання  $k = 0$ ,

асболютно защемлення  $k = \infty$ ). Зміни довжини, а також напруження, викликані температурними змінами рівномірними по всій довжині і по всьому перетину стрижня, можна висловити залежністю:

- результуюче переміщення

$$\Delta t_{\tau} = \frac{\alpha_t(t-t_0)EA}{k+EA/l}; \quad (1.13)$$

- результуючі напруження

$$\sigma_{\tau} = \frac{\alpha_t(t-t_0)E}{1+EA/(lk)}, \quad (1.14)$$

де  $\alpha_t$  – коефіцієнт лінійного розширення;  $t, t_0$  – кінечна або умовно прийнята температура;  $E$  – модуль пружності;  $A$  – площа перетину;  $k$  – коефіцієнт защемлення (коефіцієнт, перешкоджаючий зміні довжини).

Залежно від величини  $k$  можливі наступні випадки:  $k = 0$  - вільне переміщення (просте спирання). Подовження визначається за формулою

$$\Delta t_{\tau} = \alpha_t(t - t_0)l\beta_{\tau} = 0 \quad (1.15)$$

$k=\infty$ , абсолютне обмеження переміщень, нерухоме закріплення

$$\Delta t_{\tau} = 0, \quad \sigma_{\tau} = \alpha_t(t - t_0)E \quad (1.16)$$

З формули (1.16) видно, що максимальні напруження в стрижні з'являються при нерухомому закріпленні і вони не залежать від довжини і площі поперечного перерізу стрижня, в цьому випадку тиск на опори (опорна реакція) буде максимальним.

Для правильного урахування температурних впливів необхідно знати різницю температур  $(t - t_0)$ . Для тонкостінних, особливо металевих перетинів передбачається, що всі перетин за короткий час будуть мати температуру навколишнього середовища. По-іншому працюють масивні перетини, наприклад залізобетонні колони, для яких потрібен значний час для досягнення рівномірної температури. Тому при розрахунку тонкостінних сталевих колон потрібно приймати середню годинну температуру навколишнього середовища, а для масивних бетонних елементів - середню денну температуру. Це означає, що при прямому сонячному нагріванні незахищених сталевих елементів вони

швидко нагріються і матимуть практично максимальні температури; масивні бетонні елементи нагріваються повільніше, тому для них досить приймати середній рівень температури за день. При тривалих низьких температурах (морозах) немає різниці між сталевими і бетонними елементами.

**Проектування конструкцій будинків з урахуванням температурних впливів.** З точки зору впливу температур будівлю можна розділити на підземну і наземну частини.

У наземної частини температурні навантаження діють у двох напрямках - горизонтальному і вертикальному. Впливи в горизонтальному напрямку є незначними, якщо будівля розділена деформаційними швами на частини з обґрунтованими розмірами та системами вертикальних в'язей. Сталева конструкція більш податлива, тому для чисто сталевого каркаса можна приймати більші температурні блоки, ніж для залізобетонного. З точки зору горизонтальних температурних впливів не виникає проблем при застосуванні залізобетонних конструкцій будівель довжиною до 60 м, а для сталевих конструкцій - до 80...200 м [36].

Вплив різниці температур зовнішніх і внутрішніх конструкцій треба визначати за наступною схемою: визначення реальних температур і їх різниці, тобто найбільші і найменші температури всіх основних конструкцій протягом річного циклу; визначення середніх температур конструкцій з урахуванням їх маси, ізоляції, з'єднання з іншими конструкціями; визначення подовжень елементів від впливу різниці температур; розрахунок системи з урахуванням подовжень елементів; підбір перетинів несучих та інших конструкцій.

**Проектні методи розрахунку вертикальних температурних впливів**

1. Зменшення розрахункового опору. При обмеженні температурних деформацій в елементах конструкцій виникають внутрішні зусилля. У залізобетонних конструкціях відбувається старіння бетону, тому необхідно враховувати зменшення опору температурним впливам. При спрощеному розрахунку внутрішні зусилля від температурних впливів слід множити на

коефіцієнт ослаблення перетину 0,3. У сталевих конструкціях не відбувається ослаблення опору елемента.

2. Зменшення жорсткості. Під впливом вертикального навантаження, горизонтального навантаження і температури в залізобетонних конструкціях висотних будівель необхідно враховувати появу тріщин в перетинах елементів. Для урахування цього ефекту пружна жорсткість залізобетонних перерізів множиться на 0,85, пружна жорсткість сталевих конструкцій не зменшується.

3. Поєднання навантажень з температурними впливами.

Поєднання навантажень з температурними впливами здійснюється за такою формулою:

$$S = \gamma_G S_{GK} + \psi_T \gamma_{tT} S_{TK} \quad (1.17)$$

де  $S$  - розрахункове значення температурного впливу;  $\gamma_G$ , - коефіцієнт надійності;  $S_{GK}$  - нормативне значення навантаження;  $S_{TK}$  - нормативне значення температурного впливу;  $\psi_T$  - коефіцієнт сполучень,  $\psi_T = 0.8$ .

***Аналіз вертикальних температурних впливів і фактори, що впливають на них***

- Фактори, що впливають на температурні впливи

Температура, висота будівлі, висота поверху, згинальна жорсткість балок, жорсткість колон - це головні фактори, що впливають на вертикальні температурні впливи. При збільшенні цих параметрів збільшуються температурні впливи, а температура і висота будівлі є найголовнішими регулюючими параметрами.

- Вплив температури на конструкції

Вертикальні температурні впливи на висотні будівлі проявляються в нерозрізних балках, в них збільшується момент і поперечна сила; поздовжній стиск і розтяг діють на вертикальні елементи нижніх поверхів, перепад температур викликає значні навантаження на зовнішні вертикальні елементи.

При проектуванні конструкцій висотних будівель знаходять зовнішні вертикальні елементи, у яких зусилля від температурних впливів створюють

великий негативний вплив на їх роботу. Для зовнішніх елементів необхідно приймати якісні теплозахисні та теплоізоляційні запобіжні заходи, в результаті яких зменшуються температурні впливи, а також збільшується витривалість конструкцій, зменшується поява тріщин в стінах.\

### ***Вплив температури на огорожувальні конструкції***

Розроблення норм проектування будівель, споруд і будівельних конструкцій активно розпочалося в 30-ті роки ХХ століття в колишньому СРСР. Єдині розрахункові температури повітря для теплових розрахунків огорожень уперше були офіційно встановлені нормами проектування 1938 року за результатами досліджень, виконаних метеорологічними службами. У післявоєнні роки була створена система нормативних документів для будівельної галузі під назвою "Строительные нормы и правила" (СНиП), яка проіснувала до кінця ХХ століття. Окремі розділи СНиП продовжують діяти в Україні, поступово витісняючись системою національних нормативних документів – Державними будівельними нормами України (ДБН).

В даний час урахування впливу температури атмосферного повітря на будівельні конструкції, будівлі та споруди в основному регламентується двома розділами норм: правила розрахунку несучих конструкцій на силовий вплив температури викладені в ДБН В.1.2-2:2006 [15], а значення температури для теплотехнічних розрахунків огорожувальних конструкцій будівель наведені в ДСТУ-Н Б В.1.1-27-2010 [14].

Нормативні документи [13, 15] побудовані на єдиній методологічній основі. Температурний перепад, який може сприймати конструкція, визначається як різниця між екстремальною температурою повітря (температура найтеплішої чи найхолоднішої доби) та ймовірною температурою замикання конструкції в статично невизначену систему (середня температура холодного чи теплого сезону). Порівняльний аналіз основних розрахункових параметрів температури повітря в СНиП і ДБН наведено в таблиці 1.2.

Таблица 1.2

## Основні розрахункові параметри температури атмосферного повітря

Розрахункові параметри	за СНиП 2.01.07-85	за ДБН В.1.2-2:2006
Розрахункова температура в теплу пору року	від +26°C до +31°C	плюс 28°C
Розрахункова температура в холодну пору року	від -5°C до -25°C	мінус 20°C
Температура замикання конструкції в теплу пору року	від +14°C до +21°C	плюс 15°C
Температура замикання конструкції в холодну пору року	від -4°C до +9°C	0°C

Наведені в таблиці розрахункові параметри температури повітря у СНиП визначаються за картами територіального районування, а в ДБН зафіксовані для усієї території України. За рахунок такого узагальнення дані СНиП і ДБН можуть відхилитися до 9°C.

Розрахункові температури для проектування теплового захисту будівель були регламентовані СНиП 2.01.01-82 [14], у якому наведені необхідні дані для 31 міста України. З кінця 2011 набрав чинності новий нормативний документ України – ДСТУ Н Б В.1.1–27:2010 [16]. У ньому перелік міст розширено до 53 та змінений перелік розрахункових параметрів.

У ДСТУ [16] не включені деякі розрахункові параметри, які не використовуються в сучасних теплотехнічних розрахунках, але приділена більша увага проблемі кондиціонування повітря за рахунок додаткового нормування температурного режиму теплої пори року. Порівняння однотипних числових даних з [14, 16] показує, що вони досить близькі. Незначні відмінності можна пояснити розширенням бази метеорологічних даних, використаних при розробленні ДСТУ [16].

Проведений аналіз показав, що головними недоліками нещодавно розробленого стандарту [16] залишаються:

- дискретність територіального районування (наведені дані для окремих метеостанцій замість карт районування за зразком [16]), яка може вносити

елемент невизначеності при встановленні розрахункових значень для міст, відсутніх у наведених таблицях;

– неможливість урахування встановленого терміну експлуатації будівлі при виконанні теплотехнічних розрахунків конструкцій;

– неповне урахування теплової інерції огорожувальних конструкцій (поділ на масивні та легкі конструкції замість явного урахування міри масивності).

Вказані недоліки спонукають до подальшого удосконалення норм температурних впливів на будівлі та їх огорожувальні конструкції.

При проектуванні будівель та їх огорожувальних конструкцій, вихідними даними є:

- 1) кліматичні особливості місцевості (зовнішній клімат будівлі);
- 2) призначення будівлі (мікроклімат будівлі).

Зовнішній клімат будівлі визначається географічною широтою місцевості, її віддаленістю від незамерзаючих водних басейнів, рельєфом місцевості й переважним напрямком вітрів. Зовнішній клімат будівлі складається із взаємодії фізико-кліматичних факторів, головними параметрами яких є температура й вологість повітря, напрямок і швидкість вітру й сонячна радіація [12].

Мікроклімат будинку визначається температурою, вологістю й швидкістю руху повітря усередині приміщень і температурою випромінювання огорожувальних поверхонь.

Зовнішній клімат через огорожувальні конструкції впливає на мікроклімат [12]. Ступінь цього впливу залежить від теплотехнічних якостей огороження й від теплофізичних факторів зовнішнього клімату.

Узимку в житлових будинках при належному опорі теплопередачі зовнішніх огорожень опаленням забезпечуються тільки температура внутрішнього повітря й поверхонь випромінювання. У літню пору штучне регулювання мікроклімату, як правило, не застосовується.

Температурно-вологісний режим приміщень істотно впливає на вологісний стан матеріалу й теплозахисний якості огороження, а також на

довговічність огороження [12]. Найбільше зволоження матеріалу огороження водяними парами внутрішнього повітря відбувається за зимовий період року. Ступінь вологісного впливу мікроклімату будівлі на огороджувальні конструкції залежить від абсолютної вологості внутрішнього повітря, яка визначається пружністю водяних пар, що втримуються в повітрі.

Температури внутрішньої поверхні огорожень визначають тепловий комфорт усередині будівлі. Зі зниженням цієї температури:

- 1) зростає променистий і конвективний теплообмін між поверхнею огороження й внутрішнім середовищем будівлі;
- 2) підсилюється променистий теплообмін між тілом людини й поверхнею огороження;
- 3) виникає можливість утворення конденсату на поверхні огороження з наступним зволоженням стін, зволоженням матеріалу огороження й підвищенням вологості внутрішнього повітря.

Згідно з будівельними нормами, мінімальна температура внутрішньої поверхні огороження не повинне бути нижчою від:

$$\tau_B = t_B - \Delta t^H, \quad (1.18)$$

де  $t_B$  - розрахункова температура повітря в приміщенні;

$\Delta t^H$  - допустимий температурний перепад.

Нормована величина  $\Delta t^H$  залежить від призначення будівлі й від температурно-вологісного режиму його приміщень.

Теплотехнічний розрахунок огороджувальних конструкцій для зимових умов ведеться по найбільш низьких температурах зовнішнього повітря. Однак річні зміни температури зовнішнього повітря в різні роки для однієї й тієї ж місцевості неоднакові й залежать від циркуляції атмосфери, тобто від напрямку переважних вітрів протягом року. Тому коливання температури зовнішнього атмосферного повітря протягом року носять хаотичний характер. Найбільш низька температура зовнішнього повітря в більшості випадків має місце в січні й зберігається нетривалий час, досить часто обмежений кількома годинами.

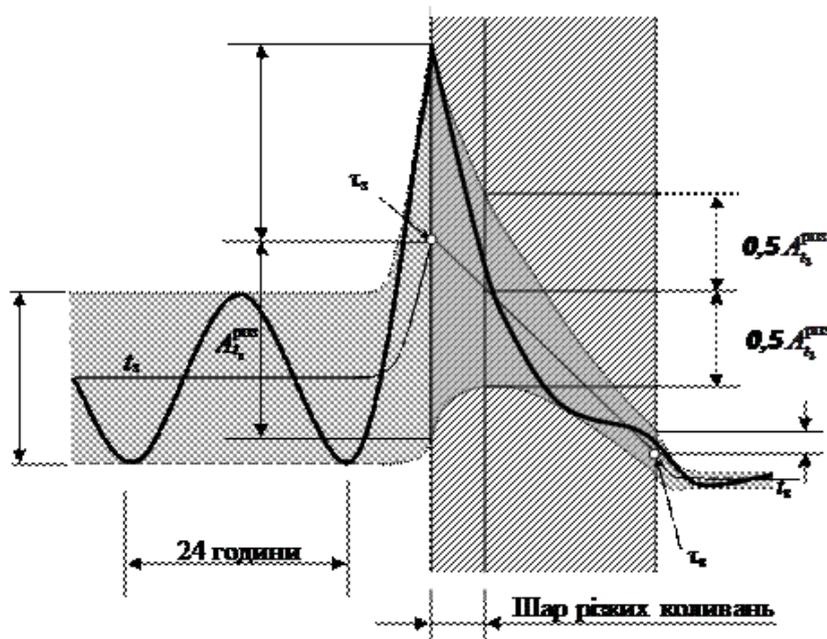


Рис. 1.5 Затухання температурних коливань узовнішній огороджувачій конструкції у літній період [11].

Для забезпечення необхідних теплозахисних якостей огороджувальних конструкцій теплотехнічний розрахунок їх ведеться з урахуванням найбільш низьких температур зовнішнього повітря не тільки протягом однієї зими, але й з урахуванням можливого зниження температури зовнішнього повітря протягом низки зим. Відповідно до цього розрахункові зимові температури зовнішнього повітря для проектування огороджувальних конструкцій прийняті рівними середній температурі повітря найбільш холодного інтервалу часу з восьми зим за 50-літній період [12]. Тривалість цього інтервалу часу залежить від показника теплової інерції огороження  $D$ . Показник теплової інерції огороження  $D$  характеризує швидкість поширення й загасання температурних коливань у товщі огорожень.

## 1.5 Висновки з розділу та завдання досліджень

Виконаний огляд літератури з питань дослідження температури ґрунту, проектування та забезпечення теплової надійності підземних споруд дозволив зробити такі **висновки**:

1. До підземних споруд, які контактують з ґрунтом, відносяться підвали надземних будівель, підземні паркінги, торгівельні центри, підземні комунікації, а також підземні частини споруд транспорту. Для значної частини цих споруд необхідно забезпечити заданий тепловий режим експлуатації, який регламентується ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція та енергоефективність будівель".
2. Температура ґрунту вимірюється на поверхні, в агротехнічній зоні (на глибині до 20 см) та на глибинах до 3,2 м. Для вимірювань поточних значень, а також добових максимумів та мінімумів температури ґрунту за стандартною методикою використовують рідинні, біметалеві та електронні термометри.
3. Температура ґрунту характеризується річним та добовим ходом середніх значень, а також міждобовою мінливістю.
4. В спеціальних метеорологічних довідниках представлені значні обсяги результатів вимірювань температури ґрунту на метеостанціях України у вигляді статистичних характеристик для усіх місяців року.
5. Температура ґрунту може виявляти значний вплив на несучі та огорожувальні конструкції заглиблених будівель і споруд, але в чинних нормативних документах її розрахункові значення не встановлені.

Виконаний огляд літератури та поставлена мета роботи дозволили сформулювати такі **завдання досліджень**:

1. Шляхом аналізу літературних джерел виявити характер впливу температури ґрунтових масивів на підземні споруди транспортної інфраструктури.

2. Сформувати вибіркочу мережу метеостанцій, розміщених у різних районах України, з метою відображення територіальної мінливості параметрів температури атмосферного повітря та ґрунту.
3. В середовищі табличного процесора Microsoft Excel сформувати базу даних з температури повітря та ґрунту на обраних для аналізу метеостанціях України.
4. Розробити методичку статистичного аналізу наявних метеорологічних даних, яка забезпечить визначення статистичних параметрів температури повітря й ґрунту, урахування їх мінливості по глибині та по території України, а також нормування розрахункових значень.
5. За даними обраних метеостанцій визначити статистичні параметри температури повітря та ґрунтового масиву на різних глибинах для усіх місяців року та проаналізувати їх територіальну мінливість.
6. Проаналізувати й описати зв'язок між параметрами температури атмосферного повітря й температури ґрунтового масиву.
7. Встановити розрахункові значення температури ґрунту та її річних перепадів, необхідні для розрахунків огороджувальних і несучих конструкцій заглиблених будівель і споруд транспорту.

## Розділ 2

### КЛІМАТИЧНІ ДАНІ З ТЕМПЕРАТУРИ ҐРУНТУ

#### 2.1 Мережа метеостанцій для дослідження температури ґрунту

Метеорологічна інформація отримується в результаті систематичних спостережень на метеорологічних станціях і постах, які розподілені по всій території України і складають єдину метеорологічну спостережну мережу. В даний час на території України працюють близько 200 метеостанцій, що належать до системи Держкомгідромету. Переважну більшість складають рівнинні метеостанції та метеопости. Їх розміщення на території України досить рівномірне, за виключенням гірських районів: у районі Карпат та Кримських гір мережа метеостанцій та метеопостів дещо гущіша, що цілком виправдано збільшенням територіальної мінливості кліматичних параметрів унаслідок впливу складного гірського рельєфу. Спостереження за температурою повітря та ґрунту проводяться за методикою, регламентованою [8].

Для дослідження параметрів температури ґрунту були вибрані 12 метеостанцій, розміщених по всій території України. З рисунка 2.1 видно, що ці метеостанції створюють вибіркову мережу, яка представляє різні регіони України і дозволить отримати досить узагальнені висновки. Обрані метеостанції розташовані в різних регіонах країни і мають різну висоту над рівнем моря. Для більш повного опису метеостанцій розроблена таблиця 2.1, у якій наведені основні географічні характеристики кожної метеостанції: порядковий номер, назва, східна довгота, північна широта та висота (Н) над рівнем моря.

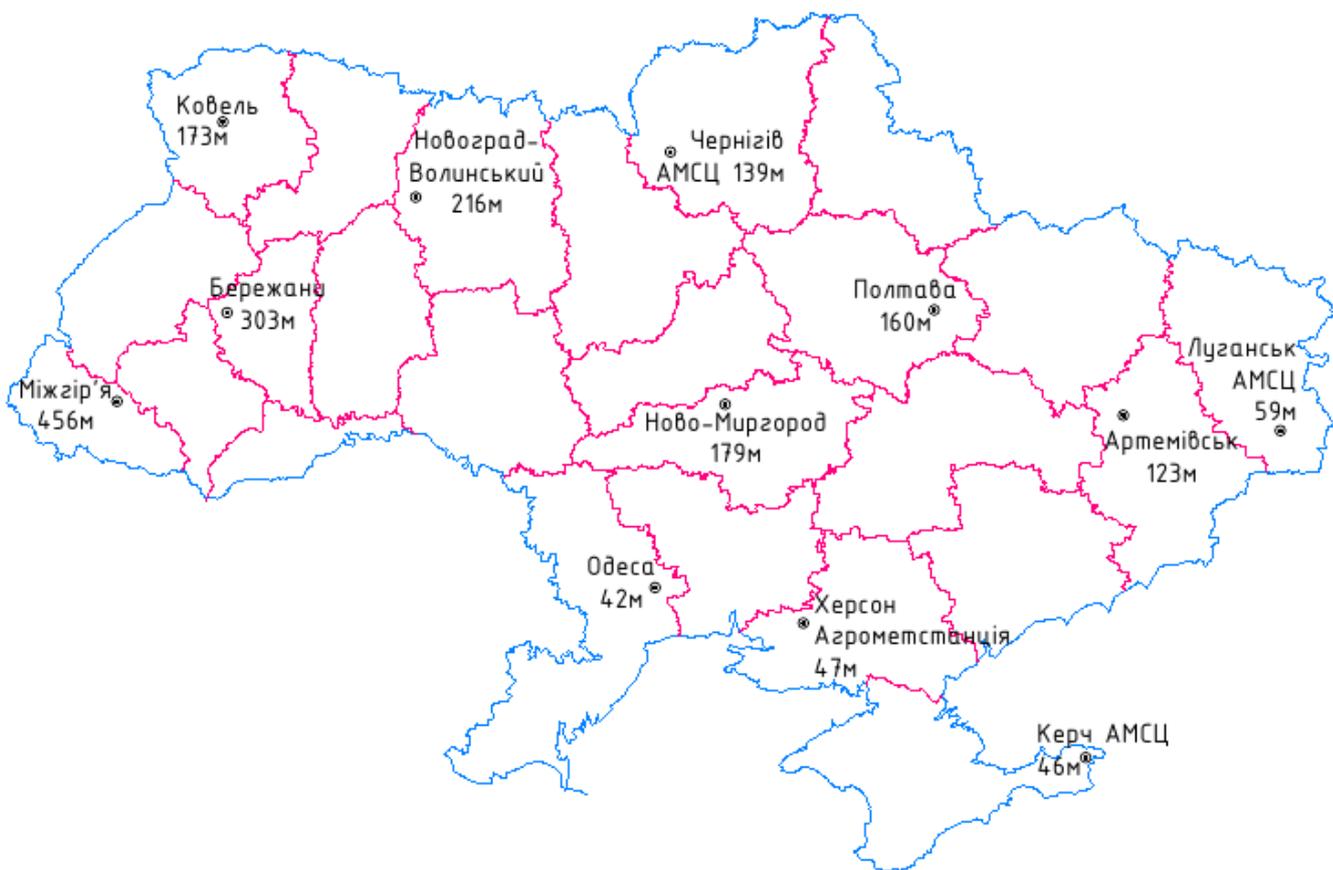


Рис. 2.1 Вибіркова мережа метеостанцій на території України

Таблиця 2.1

**Мережа вибірових метеостанцій України**

№ п/п	Метеостанція	Географічні координати		
		Довгота	Широта	Н над рівнем моря
1	Ковель	24°42'	51°12'	173
2	Артемівськ	37°59'	48°35'	123
3	Новоград-Волинський	27° 37'	50° 34'	216
4	Міжгір'я	23°30'	48°31'	456
5	Ново-Миргород	31° 38'	48° 46'	179
6	Луганськ АМСЦ	39° 19'	48° 34'	59
7	Одеса	30°43'	46°28'	42
8	Полтава	34° 34'	49° 34'	160
9	Бережани	24°55'	49°27'	303
10	Херсон Агрометстанція	32°37'	46°39'	47
11	Чернігів АМСЦ	31°17'	51°30'	139
12	Керч АМСЦ	36° 29'	45° 22'	46

З таблиці 2.1 бачимо, що обрані метеостанції мають різні географічні координати і висоти над рівнем моря. Наведена на рисунку 2.2 гістограма

розподілу висоти метеостанцій  $H$  над рівнем моря показує, що найвище розміщена метеостанція Міжгір'я на висоті 456 м, а найнижче – Одеса на висоті 42 м. Таке розміщення охоплює різні географічні умови території України, але дозволяє вважати практично усі метеостанції рівнинними.

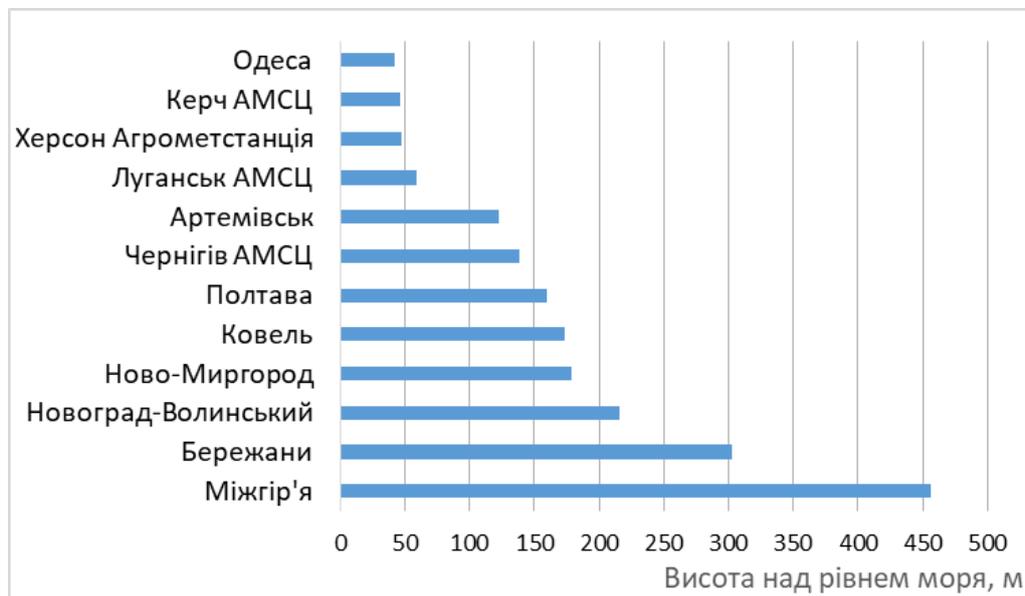


Рис. 2.2 Розподіл метеостанцій за висотою над рівнем моря

## 2.2 Організація електронної бази даних

Електронна база кліматичних даних створена в середовищі Microsoft Excel у вигляді таблиці, приклад якої для метеостанції м. Полтава наведений на рисунках 2.3 і 2.4. У стовпчику А наведені найменування статистичних характеристик, включених до бази даних: середнє значення температури  $M$  і стандарт  $S$ . Стовпчики В...М містять значення цих характеристик для 12-ти місяців року, а в подальших стовпчиках обчислені:  $N$  – мінімальне протягом року значення середнього чи стандарту;  $O$  – максимальне протягом року значення середнього чи стандарту;  $P$  – середньорічне значення температури повітря чи ґрунту.

▲	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Полтава, Полтавська обл., висота 160 м.															
2		січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру	Р мін	Р мак	Р сер
3	Середня температура повітря															
4	M=	-4,7	-4,5	1,1	8,5	15,4	18,2	19,6	19,4	14,2	7,7	0,7	-3,5	-4,7	19,6	7,68
5	S=	2,6	2,9	2,1	1,6	1,5	1,6	1,2	1	1,1	1	1,9	1,9	1,0	2,9	1,70
6	Середній максимум температури повітря															
7	M=	-2	-1,5	4,6	13,6	20,9	23,5	25,1	25,2	19,5	12,1	3,5	-1	-2,0	25,2	####
8	S=	2,2	2,5	2,2	2,2	1,8	1,9	1,5	1,2	1,6	1	1,9	1,9	1,0	2,5	1,83
9	Середній мінімум температури повітря															
10	M=	-7,2	-7,3	-1,7	4,5	10	13,5	14,8	14,3	9,6	3,8	-1,7	-6	-7,3	14,8	3,88
11	S=	2,9	3,4	2,3	1,4	1,2	1,1	1,1	0,9	0,8	1,1	2,1	2,2	0,8	3,4	1,71
12	Середня температура поверхні ґрунту															
13	M=	-5,4	-5,6	0,9	9,5	18,6	22,5	23,8	22,9	15,9	7,8	0,4	-4,4	-5,6	23,8	8,91
14	S=	2,6	2,6	2,8	2	1,9	2,3	1,5	1,1	1,7	1	2,2	1,8	1,0	2,8	1,96
15	Середній максимум температури поверхні ґрунту															
16	M=	-2,4	-0,6	7,4	23,8	37	40,4	42,1	40,9	30,6	18	5,1	-0,8	-2,4	42,1	
17	S=	1,8	2,4	3,5	2,7	2,8	4,1	3,1	2,2	3,2	1,5	2	1,6	1,5	4,1	2,58
18	Середній мінімум температури поверхні ґрунту															
19	M=	-9,2	-9,7	-4,2	1,8	7,5	12,6	13,3	12,8	7,6	2,2	-3,7	-7,5	-9,7	13,3	1,96
20	S=	3,7	3,9	2,7	1,1	0,8	1,1	1	0,6	0,9	1	2,1	2,7	0,6	3,9	1,80
21	Середня температура ґрунту на глибині 0,2 м															
22	M=	-0,7	-1,3	0,9	7,5	15	19	21,2	20,8	16,2	9,5	3,2	0,3	-13,0	21,2	8,33
23	S=	0,9	1,5	1,7	1,5	1	1,6	1	0,7	1,3	0,9	0,8	0,9	0,7	1,7	1,15
24	Середній максимум температури ґрунту на глибині 0,2 м															
25	M=	0,6	0,5	4,8	12,6	19,4	22,6	24,6	24,4	20,9	14,3	6,7	2,6	0,5	24,6	####
26	S=	0,8	1,5	2,6	1,3	1,5	1,9	0,9	1,1	1,4	1,4	1,2	1,7	0,8	2,6	1,44
27	Середній мінімум температури ґрунту на глибині 0,2 м															
28	M=	-2,3	-3,3	-1,6	2,9	10,1	15,3	18,1	16,6	11,6	4,7	0,7	-2,1	-3,3	18,1	5,89
29	S=	1,7	2,1	1,3	1,7	1,1	1,3	1,2	1	1,7	1,3	1,3	2,1	1,0	2,1	1,48
30	Середня температура ґрунту на глибині 0,4 м															
31	M=	0,4	-0,4	0,6	6,6	13,3	17,5	19,9	19,9	16,3	10,6	4,6	1,6	-0,4	19,9	9,24
32	S=	0,7	1,1	1,4	1,4	0,8	1,2	0,9	0,6	1	0,8	0,7	0,7	0,6	1,4	0,94
33	Середній максимум температури ґрунту на глибині 0,4 м															
34	M=	1,1	0,7	2,9	10,1	16,5	19,8	21,8	21,7	19,4	14,2	7,6	3,4	0,7	21,8	####
35	S=	0,7	0,9	2,7	1,2	1,3	1,5	0,7	0,8	1,1	1,2	1	1,3	0,7	2,7	1,20
36	Середній мінімум температури ґрунту на глибині 0,4 м															
37	M=	-0,3	-1,2	-0,6	2,3	9,5	15,2	18,1	17,4	13,4	7	2,4	0,1	-1,2	18,1	6,94
38	S=	1	1,4	1,2	2,3	1	1,4	1,1	0,8	1,5	1	0,9	1,4	0,8	2,3	1,25
39	Середня температура ґрунту на глибині 0,8 м															
40	M=	2,1	1,3	1,5	5,2	10,8	15,1	17,7	18,4	16,2	12,1	7	3,8	1,3	18,4	9,27
41	S=	0,4	0,5	1	1,1	0,7	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	0,5	0,6	0,4	1,1	0,70
42	Середній максимум температури ґрунту на глибині 0,8 м															
43	M=	2,7	1,9	2,2	7,6	13,2	16,5	18,7	19,2	17,9	14,5	9,4	5,1	1,9	19,2	####
44	S=	0,6	0,4	1,7	1,3	0,8	1	0,6	0,7	0,7	1	0,8	0,7	0,4	1,7	0,86

Рис. 2.3 Вигляд електронної бази даних з температури повітря та ґрунту

45		Середній мінімум температури ґрунту на глибині 0,8 м														
46	M=	1,6	0,9	1	2,3	7,8	13,3	16,7	17,3	14,4	9,5	5,1	2,7	0,9	17,3	7,72
47	S=	0,4	0,6	0,7	1,8	1	0,9	0,7	0,5	1,1	0,9	0,6	0,3	0,3	1,8	0,79
48		Середня температура ґрунту на глибині 1,2 м														
49	M=	3,6	2,6	2,3	4,8	9,1	13,3	15,9	16,8	16	12,8	8,8	5,5	2,3	16,8	9,29
50	S=	0,3	0,3	0,7	1	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,3	1,0	0,56
51		Середній максимум температури ґрунту на глибині 1,2 м														
52	M=	4,3	3	3,2	6,5	11,2	14,6	16,8	17,2	17	14,6	10,7	6,7	3,0	17,2	####
53	S=	0,4	0,3	1,4	1,1	0,6	0,7	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,3	1,4	0,63
54		Середній мінімум температури ґрунту на глибині 1,2 м														
55	M=	3	2,1	2	2,9	6,7	11,4	14,9	16,3	14,7	10,8	6,9	4,4	2,0	16,3	8,01
56	S=	0,4	0,5	0,6	1,2	0,9	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,3	0,3	1,2	0,60
57		Середня температура ґрунту на глибині 1,6 м														
58	M=	4,9	3,8	3,2	4,5	7,9	11,4	14,1	15,6	15,3	13,1	9,8	6,9	3,2	15,6	9,21
59	S=	0,3	0,2	0,5	0,8	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,2	0,8	0,47
60		Середній максимум температури ґрунту на глибині 1,6 м														
61	M=	5,6	4,3	3,7	5,9	9,6	12,8	15,1	15,9	15,9	14,4	11,5	8,2	3,7	15,9	####
62	S=	0,2	0,3	0,5	0,8	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,2	0,8	0,45
63		Середній мінімум температури ґрунту на глибині 1,6 м														
64	M=	4,3	3,3	3	3,3	6	9,8	13	15,1	14,5	11,7	8,2	5,8	3,0	15,1	8,17
65	S=	0,3	0,4	0,5	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,3	0,8	0,48
66		Середня температура ґрунту на глибині 2,4 м														
67	M=	7,3	6,1	5,2	5,2	6,7	9	11,4	13	13,8	13	11,3	9,1	5,2	13,8	9,26
68	S=	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,37
69		Середній максимум температури ґрунту на глибині 2,4 м														
70	M=	8	6,6	5,6	5,7	7,9	10,1	12,3	13,5	13,9	13,6	12,2	10,1	5,6	13,9	9,96
71	S=	0,3	0,3	0,2	0,6	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,2	0,6	0,37
72		Середній мінімум температури ґрунту на глибині 2,4 м														
73	M=	6,6	5,5	4,9	4,9	5,7	7,8	10,4	12,3	13,6	12,3	10,2	8,1	4,9	13,6	8,53
74	S=	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,6	0,38
75		Середня температура ґрунту на глибині 3,2 м														
76	M=	8,4	7,3	6,5	6	6,5	8,1	10	11,5	12,5	12,4	11,5	10,1	6,0	12,5	9,23
77	S=	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,5	0,33
78		Середній максимум температури ґрунту на глибині 3,2 м														
79	M=	9,1	7,8	6,9	6,2	7,3	9	10,8	12,1	12,6	12,7	12,1	10,7	6,2	12,7	9,78
80	S=	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,4	0,31
81		Середній мінімум температури ґрунту на глибині 3,2 м														
82	M=	7,8	6,7	6,1	5,7	6	7,2	9,2	10,8	12,1	12,1	10,8	9,3	5,7	12,1	8,65
83	S=	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,5	0,34

Рис. 2.4 Вигляд електронної бази даних з температури повітря та ґрунту  
(продовження таблиці)

**Дані в рядках таблиці розподілені таким чином:**

В рядку 1 вказана назва метеостанції, область та висота над рівнем моря, а в 2 рядку – місяці за якими досліджувалася температура.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Полтава, Полтавська обл., висота 160 м.															
2	січ	лют	бер	кві	тра	чер	лип	сер	вер	жов	лис	гру	P мін	P макс	P сер	

В рядку 3 – Середня температура повітря:

В рядку 4 – середнє значення температури по місяцях

В рядку 5 – стандарт температури по місяцях

3	Середня температура повітря															
4	M=	-4,7	-4,5	1,1	8,5	15,4	18,2	19,6	19,4	14,2	7,7	0,7	-3,5	-4,7	19,6	7,68
5	S=	2,6	2,9	2,1	1,6	1,5	1,6	1,2	1	1,1	1	1,9	1,9	1,0	2,9	1,70

В рядку 6 – Середній максимум температури повітря:

В рядку 7 – середня температура по місяцях

В рядку 8 – стандарт температури по місяцях

6	Середній максимум температури повітря															
7	M=	-2	-1,5	4,6	13,6	20,9	23,5	25,1	25,2	19,5	12,1	3,5	-1	-2,0	25,2	####
8	S=	2,2	2,5	2,2	2,2	1,8	1,9	1,5	1,2	1,6	1	1,9	1,9	1,0	2,5	1,83

В рядку 9 – Середній мінімум температури повітря:

В рядку 10 – середня температура по місяцях

В рядку 11 – стандарт температури по місяцях

9	Середній мінімум температури повітря															
10	M=	-7,2	-7,3	-1,7	4,5	10	13,5	14,8	14,3	9,6	3,8	-1,7	-6	-7,3	14,8	3,88
11	S=	2,9	3,4	2,3	1,4	1,2	1,1	1,1	0,9	0,8	1,1	2,1	2,2	0,8	3,4	1,71

В рядку 12 – Середня температура поверхні ґрунту:

В рядку 13 – середня температура по місяцях

В рядку 14 – стандарт температури по місяцях

12	Середня температура поверхні ґрунту															
13	M=	-5,4	-5,6	0,9	9,5	18,6	22,5	23,8	22,9	15,9	7,8	0,4	-4,4	-5,6	23,8	8,91
14	S=	2,6	2,6	2,8	2	1,9	2,3	1,5	1,1	1,7	1	2,2	1,8	1,0	2,8	1,96

В рядку 15 – Середній максимум для поверхні ґрунту:

В рядку 16 – середня температура по місяцях

В рядку 17 – стандарт температури по місяцях

15	Середній максимум температури поверхні ґрунту															
16	M=	-2,4	-0,6	7,4	23,8	37	40,4	42,1	40,9	30,6	18	5,1	-0,8	-2,4	42,1	
17	S=	1,8	2,4	3,5	2,7	2,8	4,1	3,1	2,2	3,2	1,5	2	1,6	1,5	4,1	2,58

В рядку 18 – Середній мінімум для поверхні ґрунту:

В рядку 19 – середня температура по місяцях

В рядку 20 – стандарт температури по місяцях

18		Середній мінімум температури поверхні ґрунту														
19	M=	-9,2	-9,7	-4,2	1,8	7,5	12,6	13,3	12,8	7,6	2,2	-3,7	-7,5	-9,7	13,3	1,96
20	S=	3,7	3,9	2,7	1,1	0,8	1,1	1	0,6	0,9	1	2,1	2,7	0,6	3,9	1,80

В рядку 21 – Середня температура для глибини 0,2 м:

В рядку 22 – середня температура по місяцях

В рядку 23 – стандарт температури по місяцях

21		Середня температура ґрунту на глибині 0,2 м														
22	M=	-0,7	-13	0,9	7,5	15	19	21,2	20,8	16,2	9,5	3,2	0,3	-13,0	21,2	8,33
23	S=	0,9	1,5	1,7	1,5	1	1,6	1	0,7	1,3	0,9	0,8	0,9	0,7	1,7	1,15

В рядку 24 – Середній максимум температури для глибини 0,2м.

В рядку 25 – середня температура по місяцях

В рядку 26 – стандарт температури по місяцях

24		Середній максимум температури ґрунту на глибині 0,2 м														
25	M=	0,6	0,5	4,8	12,6	19,4	22,6	24,6	24,4	20,9	14,3	6,7	2,6	0,5	24,6	####
26	S=	0,8	1,5	2,6	1,3	1,5	1,9	0,9	1,1	1,4	1,4	1,2	1,7	0,8	2,6	1,44

В рядку 27 – Середній мінімум температури для глибини 0,2м.

В рядку 28 – середня температура по місяцях

В рядку 29 – стандарт температури по місяцях

27		Середній мінімум температури ґрунту на глибині 0,2 м														
28	M=	-2,3	-3,3	-1,6	2,9	10,1	15,3	18,1	16,6	11,6	4,7	0,7	-2,1	-3,3	18,1	5,89
29	S=	1,7	2,1	1,3	1,7	1,1	1,3	1,2	1	1,7	1,3	1,3	2,1	1,0	2,1	1,48

В рядку 30 – Середня температура для глибини 0,4м.

В рядку 31 – середня температура по місяцях

В рядку 32 – стандарт температури по місяцях

30		Середня температура ґрунту на глибині 0,4 м														
31	M=	0,4	-0,4	0,6	6,6	13,3	17,5	19,9	19,9	16,3	10,6	4,6	1,6	-0,4	19,9	9,24
32	S=	0,7	1,1	1,4	1,4	0,8	1,2	0,9	0,6	1	0,8	0,7	0,7	0,6	1,4	0,94

В рядку 33 – Середній максимум температури для глибини 0,4м.

В рядку 34 – середня температура по місяцях

В рядку 35 – стандарт температури по місяцях

33		Середній максимум температури ґрунту на глибині 0,4 м														
34	M=	1,1	0,7	2,9	10,1	16,5	19,8	21,8	21,7	19,4	14,2	7,6	3,4	0,7	21,8	####
35	S=	0,7	0,9	2,7	1,2	1,3	1,5	0,7	0,8	1,1	1,2	1	1,3	0,7	2,7	1,20

В рядку 36 – Середній мінімум температури для глибини 0,4м.

В рядку 37 – середня температура по місяцях

В рядку 38 – стандарт температури по місяцях

36		Середній мінімум температури ґрунту на глибині 0,4 м														
37	M=	-0,3	-1,2	-0,6	2,3	9,5	15,2	18,1	17,4	13,4	7	2,4	0,1	-1,2	18,1	6,94
38	S=	1	1,4	1,2	2,3	1	1,4	1,1	0,8	1,5	1	0,9	1,4	0,8	2,3	1,25

В рядку 39 – Середня температура для глибини 0,8м.

В рядку 40 – середня температура по місяцях

В рядку 41 – стандарт температури по місяцях

39		Середня температура ґрунту на глибині 0,8 м														
40	M=	2,1	1,3	1,5	5,2	10,8	15,1	17,7	18,4	16,2	12,1	7	3,8	1,3	18,4	9,27
41	S=	0,4	0,5	1	1,1	0,7	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7	0,5	0,6	0,4	1,1	0,70

В рядку 42 – Середній максимум температури для глибини 0,8м.

В рядку 43 – середня температура по місяцях

В рядку 44 – стандарт температури по місяцях

42		Середній максимум температури ґрунту на глибині 0,8 м														
43	M=	2,7	1,9	2,2	7,6	13,2	16,5	18,7	19,2	17,9	14,5	9,4	5,1	1,9	19,2	####
44	S=	0,6	0,4	1,7	1,3	0,8	1	0,6	0,7	0,7	1	0,8	0,7	0,4	1,7	0,86

В рядку 45 – Середній мінімум температури для глибини 0,8 м.

В рядку 46 – середня температура по місяцях

В рядку 47 – стандарт температури по місяцях

45		Середній мінімум температури ґрунту на глибині 0,8 м														
46	M=	1,6	0,9	1	2,3	7,8	13,3	16,7	17,3	14,4	9,5	5,1	2,7	0,9	17,3	7,72
47	S=	0,4	0,6	0,7	1,8	1	0,9	0,7	0,5	1,1	0,9	0,6	0,3	0,3	1,8	0,79

В рядку 48 – Середня температура для глибини 1,2м.

В рядку 49 – середня температура по місяцях

В рядку 50 – стандарт температури по місяцях

48		Середня температура ґрунту на глибині 1,2 м														
49	M=	3,6	2,6	2,3	4,8	9,1	13,3	15,9	16,8	16	12,8	8,8	5,5	2,3	16,8	9,29
50	S=	0,3	0,3	0,7	1	0,8	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,3	1,0	0,56

В рядку 51 – Середній максимум температури для глибини 1,2м.

В рядку 52 – середня температура по місяцях

В рядку 53 – стандарт температури по місяцях

51		Середній максимум температури ґрунту на глибині 1,2 м														
52	M=	4,3	3	3,2	6,5	11,2	14,6	16,8	17,2	17	14,6	10,7	6,7	3,0	17,2	####
53	S=	0,4	0,3	1,4	1,1	0,6	0,7	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,3	1,4	0,63

В рядку 54 – Середній мінімум температури для глибини 1,2м.

В рядку 55 – середня температура по місяцях

В рядку 56 – стандарт температури по місяцях

54		Середній мінімум температури ґрунту на глибині 1,2 м														
55	M=	3	2,1	2	2,9	6,7	11,4	14,9	16,3	14,7	10,8	6,9	4,4	2,0	16,3	8,01
56	S=	0,4	0,5	0,6	1,2	0,9	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6	0,4	0,3	0,3	1,2	0,60

В рядку 57 – Середня температура для глибини 1,6м.

В рядку 58 – середня температура по місяцях

В рядку 59 – стандарт температури по місяцях

57		Середня температура ґрунту на глибині 1,6 м														
58	M=	4,9	3,8	3,2	4,5	7,9	11,4	14,1	15,6	15,3	13,1	9,8	6,9	3,2	15,6	9,21
59	S=	0,3	0,2	0,5	0,8	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,2	0,8	0,47

В рядку 60 – Середній максимум температури для глибини 1,6м.

В рядку 61 – середня температура по місяцях

В рядку 62 – стандарт температури по місяцях

60		Середній максимум температури ґрунту на глибині 1,6 м														
61	M=	5,6	4,3	3,7	5,9	9,6	12,8	15,1	15,9	15,9	14,4	11,5	8,2	3,7	15,9	####
62	S=	0,2	0,3	0,5	0,8	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,2	0,8	0,45

В рядку 63 – Середній мінімум температури для глибини 1,6м.

В рядку 64 – середня температура по місяцях

В рядку 65 – стандарт температури по місяцях

63		Середній мінімум температури ґрунту на глибині 1,6 м														
64	M=	4,3	3,3	3	3,3	6	9,8	13	15,1	14,5	11,7	8,2	5,8	3,0	15,1	8,17
65	S=	0,3	0,4	0,5	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,3	0,8	0,48

В рядку 66 – Середня температура для глибини 2,4м.

В рядку 67 – середня температура по місяцях

В рядку 68 – стандарт температури по місяцях

66		Середня температура ґрунту на глибині 2,4 м														
67	M=	7,3	6,1	5,2	5,2	6,7	9	11,4	13	13,8	13	11,3	9,1	5,2	13,8	9,26
68	S=	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,37

В рядку 69 – Середній максимум температури для глибини 2,4м.

В рядку 70 – середня температура по місяцях

В рядку 71 – стандарт температури по місяцях

69		Середній максимум температури ґрунту на глибині 2,4 м														
70	M=	8	6,6	5,6	5,7	7,9	10,1	12,3	13,5	13,9	13,6	12,2	10,1	5,6	13,9	9,96
71	S=	0,3	0,3	0,2	0,6	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,2	0,6	0,37

В рядку 72 – Середній мінімум температури для глибини 2,4м.

В рядку 73 – середня температура по місяцях

В рядку 74 –стандарт температури по місяцях

72		Середній мінімум температури ґрунту на глибині 2,4 м														
73	M=	6,6	5,5	4,9	4,9	5,7	7,8	10,4	12,3	13,6	12,3	10,2	8,1	4,9	13,6	8,53
74	S=	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,6	0,38

В рядку 75 – Середня температура для глибини 3,2м.

В рядку 76 – середня температура по місяцях

В рядку 77 – стандарт температури по місяцях

75		Середня температура ґрунту на глибині 3,2 м														
76	M=	8,4	7,3	6,5	6	6,5	8,1	10	11,5	12,5	12,4	11,5	10,1	6,0	12,5	9,23
77	S=	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,5	0,33

В рядку 78 – Середній максимум температури для глибини 3,2м.

В рядку 79 – середня температура по місяцях

В рядку 80 – стандарт температури по місяцях

78		Середній максимум температури ґрунту на глибині 3,2 м														
79	M=	9,1	7,8	6,9	6,2	7,3	9	10,8	12,1	12,6	12,7	12,1	10,7	6,2	12,7	9,78
80	S=	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,4	0,31

В рядку 81 – Середній мінімум температури для глибини 3,2м.

В рядку 82 – середня температура по місяцях

В рядку 83 – стандарт температури по місяцях

81		Середній мінімум температури ґрунту на глибині 3,2 м														
82	M=	7,8	6,7	6,1	5,7	6	7,2	9,2	10,8	12,1	12,1	10,8	9,3	5,7	12,1	8,65
83	S=	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,5	0,34

Вище були зображена й прокоментована структура бази кліматичних даних для метеостанції Полтава, яка займає окремий робочий аркуш Excel. Така сама структура організована на кожному з 12-ти робочих аркушів, кожен з яких містить дані для однієї метеостанції. Принциповим є точне розміщення однойменних даних у тих самих комірках, що спрощує подальшу статистичну обробку наявної інформації. Повна база даних для усіх 12-ти обраних метеостанцій сформована у вигляді 12-ти робочих аркушів Microsoft Excel, що відповідають метеостанціям з таблиці 2.1.

## 2.3 Мінливість статистичних характеристик температур повітря й ґрунту

Дослідженнями метеорологів встановлено, що неперіодичні зміни температури істотно перевищують її добовий хід [18]. Такі зміни, обумовлені рухом повітряних мас з інших районів Землі, зокрема з Арктики й Антарктиди, бувають дуже великими, особливо під час зимових похолодань [18].

Неперіодичні зміни температури (міждобова мінливість), визначаються за формулою:

$$\Delta t = t_1 - t_2 \quad (2.1)$$

Міждобові зміни зазвичай не перевищують декількох градусів, але можуть досягати 25...35°C. Вони характерні для усієї тропосфери і зростають з географічною широтою місцевості. Окрім того, міждобові перепади температури повітря випадково змінюються від року до року. Наприклад, середньорічна температура повітря в Києві становить 7,2°C, але протягом 20-го століття змінювалася 5,1°C до 9,7°C. Ще в більших межах змінюються середньомісячні температури. Мінливість середньомісячних температур зростає при збільшенні широти місцевості, а найбільш стабільні температури спостерігаються в тропіках.

У нашому дослідженні мінливість середньомісячних температур повітря та ґрунту відображається значеннями стандартів, наведеними в створеній базі даних. Перегляд цих даних показує, що мінливість температури ґрунту є помітно меншою, ніж мінливість температури повітря.

Межі територіальної мінливості середньомісячних температур повітря та ґрунту відображені в таблиці 2.2. В таблиці наведені найбільші та найменші серед 12 проаналізованих метеостанцій значення мінімальних (зимових) та максимальних протягом року (літніх) місячних температур повітря та ґрунту. Як правило, мінімальна температура повітря спостерігається в січні, а максимальна

– в липні. Залежно від глибини, мінімум і максимум температури ґрунту може спостерігатися в інші місяці.

Таблиця 2.2

Територіальна мінливість середньомісячних температур повітря й ґрунту

Показники температурного режиму	Мінімальна протягом року середньомісячна температура		Максимальна протягом року середньомісячна температура	
	інтервал	розмах	інтервал	розмах
Температура повітря	-4,7...+0,3	5,0	+16,5...+22,5	6,0
Температура поверхні ґрунту	-5,9...+0,3	6,2	+19,1...+27,7	8,6
Температура ґрунту на глибині 0,4 м	-0,4...+2,5	2,9	+18,0...+23,8	5,8
Температура ґрунту на глибині 1,2 м	+1,9...+4,7	2,8	+14,4...+20,0	5,6
Температура ґрунту на глибині 3,2 м	+4,8...+9,5	4,7	+11,6...+16,0	4,4

Окрім того, в таблиці 2.2 вказані розмахи найменших і найбільших температур в межах території України. Як температура повітря, так і температури ґрунту на усіх глибинах мають істотну територіальну мінливість, розмахи якої приймають значення від 2,9°C до 13,8°C. Територіальна мінливість температури поверхні ґрунту більша від мінливості температури повітря, що можна пояснити додатковим нагріванням поверхні сонячними променями. В таблиці спостерігається тенденція до зменшення територіального розмаху та до зближення мінімальних і максимальних температур ґрунту з глибиною. Такий характер змін відповідає існуючим уявленням про стабільність температури ґрунту на великих глибинах.

## 2.4 Висновки з розділу

1. Для дослідження температури повітря та ґрунту обрано 12 метеостанцій, розташованих у різних регіонах України на висоті від 42 м до 456 м над рівнем моря. Сформована мережа метеостанцій дозволяє проаналізувати територіальну мінливість температури повітря й ґрунту на різній глибині у різних регіонах України.

2. В середовищі Microsoft Excel сформована електронна база даних, яка містить середньомісячні значення й стандарти розподілів середньої, максимальної та мінімальної місячної температури повітря й ґрунту на глибині від нуля до 3,2 м.

3. Попередній аналіз сформованої бази даних показав, що статистичні характеристики температури повітря та ґрунту мають виражений річний хід та істотну територіальну мінливість. Це спонукає до детального аналізу закономірностей територіальних змін показників температурного режиму повітря та ґрунту на різних глибинах.

## Розділ 3

### СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕМПЕРАТУРИ ҐРУНТУ

#### 3.1 Завдання аналізу статистичних характеристик

Для аналізу використані створені й описані в розділі 2 бази даних для 12 метеостанцій, де вказані статистичні характеристики комплексу показників: середня температура повітря; середній максимум та середній мінімум температури повітря; середня температура на поверхні ґрунту; середній максимум та середній мінімум температури на поверхні ґрунту; середня температура ґрунту та її середній максимум і середній мінімум на глибині 0.2, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.4, 3.2 м.

Завданням даного розділу є аналіз змін наведених статистичних характеристик по території та по глибині, встановлення загальних закономірностей і залежностей від глибини, закономірностей зміни по території, виявлення можливості спростити визначення характеристик та встановити залежності між ними, які дозволяють за температурою поверхні ґрунту прогнозувати характеристики температури на глибинах.

#### 3.2 Середня температура ґрунту

За наявною базою даних сформовані зведені таблиці статистичних характеристик для 12-ти обраних метеостанцій, які рівномірно розміщені по території України, наведені показники середніх температур повітря, температури ґрунту на поверхні й на глибині від 0,2 м до 3,2 м.

Середньомісячні температури повітря для всіх метеостанцій на всіх глибинах показано на рисунку 3.1. З цього графіка видно що є велика мінливість в часі та висока мінливість по території і по глибині. Але залежності від цих факторів мають місце.

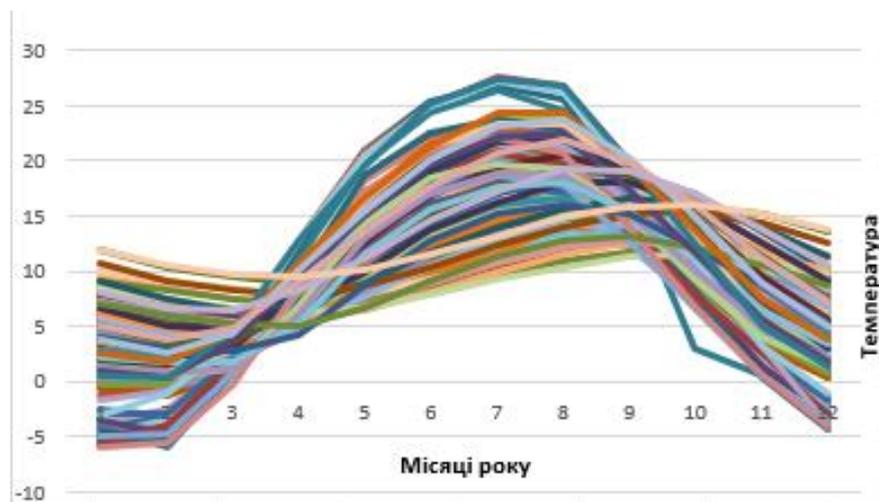


Рис. 3.1 Річні зміни температури ґрунту на усіх глибинах та усіх метеостанціях

З метою більш детального аналізу розглянемо дані метеостанції Ново-Миргород, для якої збудований річний хід температури на чотирьох глибинах. З рисунка 3.2 видно: по-перше амплітуда річного ходу з глибиною зменшується; по-друге екстремальні значення мінімальної та максимальної температури з глибиною переміщуються на пізніший час. Розмах середньомісячних температур на поверхні ґрунту становить  $29^{\circ}\text{C}$ , а мінімальна та максимальна температури реалізуються в січні-лютому та в липні. На глибині 3,2 м розмах середньомісячних температур зменшується до  $5^{\circ}\text{C}$ , а мінімальна та максимальна температури зміщуються на квітень і вересень-жовтень.

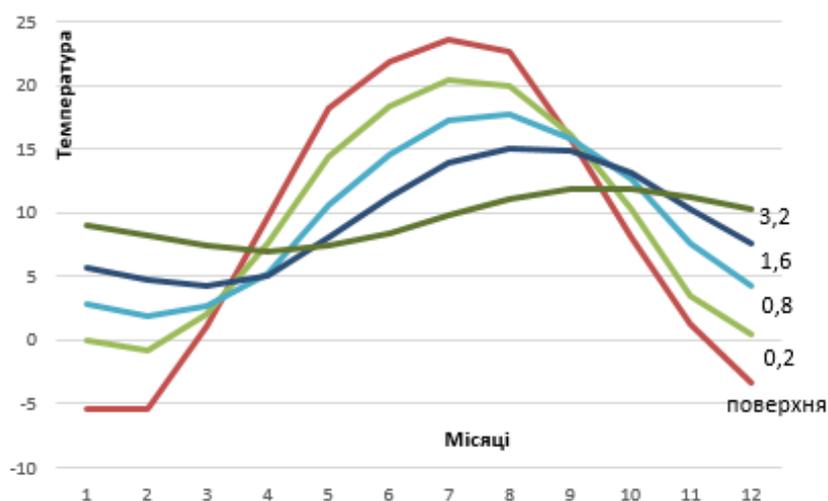


Рис. 3.2 Річний хід температури ґрунту на різній глибині в Ново-Миргороді

Зміни температури за глибиною відображені на рисунку 3.3 для чотирьох місяців, що відповідають сезонам року: зима, весна, літо та осінь. На рисунку відображені температури в найтеплішому місяці липні, найхолоднішому січні, а також у квітні та жовтні. З рисунка видно що липнева температура на поверхні падає з глибиною, а січнева температура на поверхні росте з глибиною і зближується з липневою температурою. В жовтні поверхня ґрунту стає холодною, хоча в глибині ще зберігається тепло. У квітні поверхня ґрунту вже прогріта, але в глибині ще холодно. З рисунка 3.3 видно, що з ростом глибини температура ґрунту асимптотично наближається до температури близько  $+10^{\circ}\text{C}$ .

Амплітуда коливань температури поверхні (від мінімуму до максимуму) сягає  $29^{\circ}\text{C}$ , але з глибиною вона зменшується. Отже, сезонні зміни температури поверхні ґрунту й на малих глибинах з ростом глибини стабілізуються, у результаті чого на глибині понад 10...15 м ґрунт майже не вприйма вплив сезонних коливань і має практично постійну температуру.

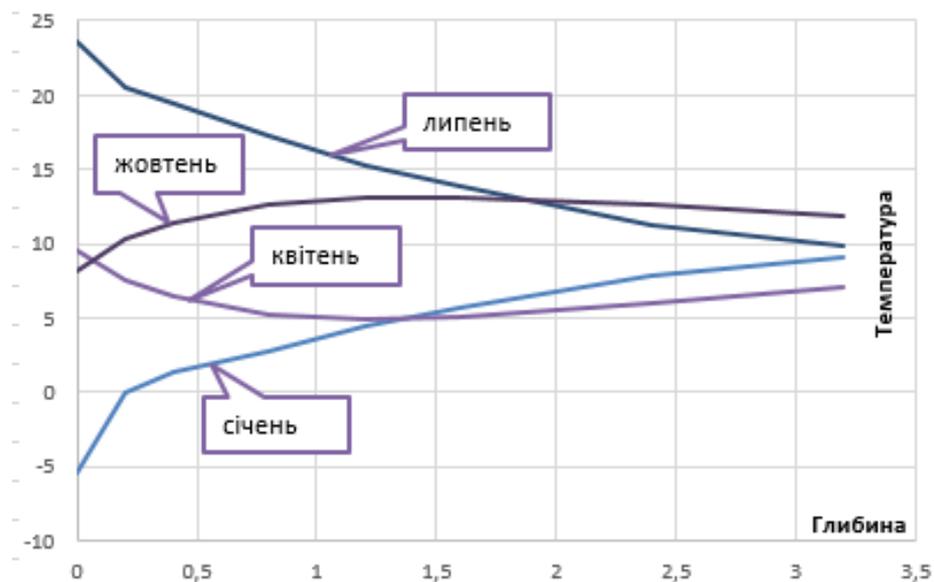


Рис. 3.3 Зміни температури ґрунту з глибиною

За наявною базою даних складена таблиця 3.1, у якій для 12 метеостанцій наведені середньорічні температури ґрунту на усіх глибинах.

## Середньорічні температури ґрунту

	Ковель	Артемівськ	Н. Волинський	Міжгір'я	Н. Миргород	Луганськ	Одеса	Полтава	Бережани	Херсон	Чернігів	Керч
пов	7,68	8,23	7,43	6,90	7,78	8,42	10,17	7,68	7,59	9,53	6,98	10,87
0	9,29	10,32	8,08	7,63	8,99	9,46	12,78	8,91	8,04	11,94	7,89	13,01
0,2	9,88	10,11	8,80	9,48	9,34	10,44	12,17	9,30	8,75	11,52	9,25	12,59
0,4	9,78	10,03	8,69	9,56	9,47	10,43	12,14	9,24	8,91	11,36	9,13	12,70
0,8	9,58	10,06	8,67	9,48	9,41	10,31	12,24	9,27	8,95	11,29	9,21	12,59
1,2	9,76	10,04	7,47	9,46	9,43	10,40	12,23	9,29	8,96	11,31	9,12	12,64
1,6	9,93	10,03	8,90	9,45	9,44	10,38	12,25	9,21	8,83	11,43	9,03	12,69
2,4	9,67	10,06	8,78	9,42	9,48	10,65	12,29	9,26	8,90	11,53	9,02	12,68
3,2	9,41	10,04	8,66	9,38	9,46	10,59	12,34	9,23	8,88	11,58	9,01	12,68
Серед	9,71	10,05	8,57	9,46	9,43	10,46	12,24	9,26	8,88	11,43	9,11	12,65

За даними таблиці 3.1 на рисунку 3.4 зображені залежності середньорічної температури від глибини для усіх 12-ти метеостанцій. Видно, що на поверхні ґрунту середньорічна температура істотно відрізняється у більший або менший бік, а починаючи з глибини 0,2 м температура фактично стабілізується. Це дозволило обчислити середні для усіх глибин від 0,2 м до 3,2 м значення температури, які й наведені в останньому рядку таблиці 3.1.

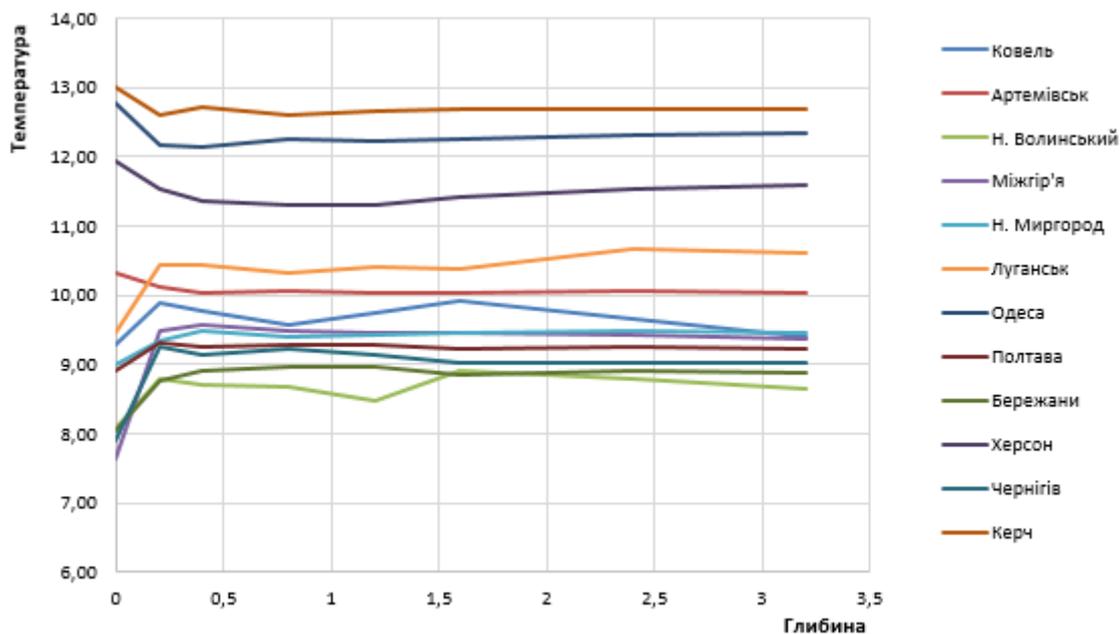


Рис. 3.4 Зміни середньорічних температур ґрунту з глибиною

В таблиці 3.1 спостерігається залежність температури поверхні ґрунту від температури повітря, яка графічно відображена на рисунку 3.5. Ця залежність близька до лінійної, рівняння якої наведене на рисунку. Можна стверджувати,



З рисунків 3.4 і 3.6 видно, що в холодних областях середньорічна температура поверхні ґрунту менша ніж в глибині, а в теплих областях навпаки – температура на поверхні ґрунту більша ніж в глибині

Територіальна мінливість середньорічних температур відображена на схематичних картах з рисунків 3.7 і 3.8. З рисунка 3.7 видно, що температура повітря цілком закономірно збільшується з півночі на південь, а її розмах становить 4,0°C. Середньорічна температура поверхні ґрунту також зростає з півночі на південь (за винятком метеостанцій Ковель і Міжгір'я) і в усіх випадках є вищою від температури повітря за рахунок нагрівання сонячною радіацією. Розмах середньорічної температури поверхні ґрунту дорівнює 5,4°C.

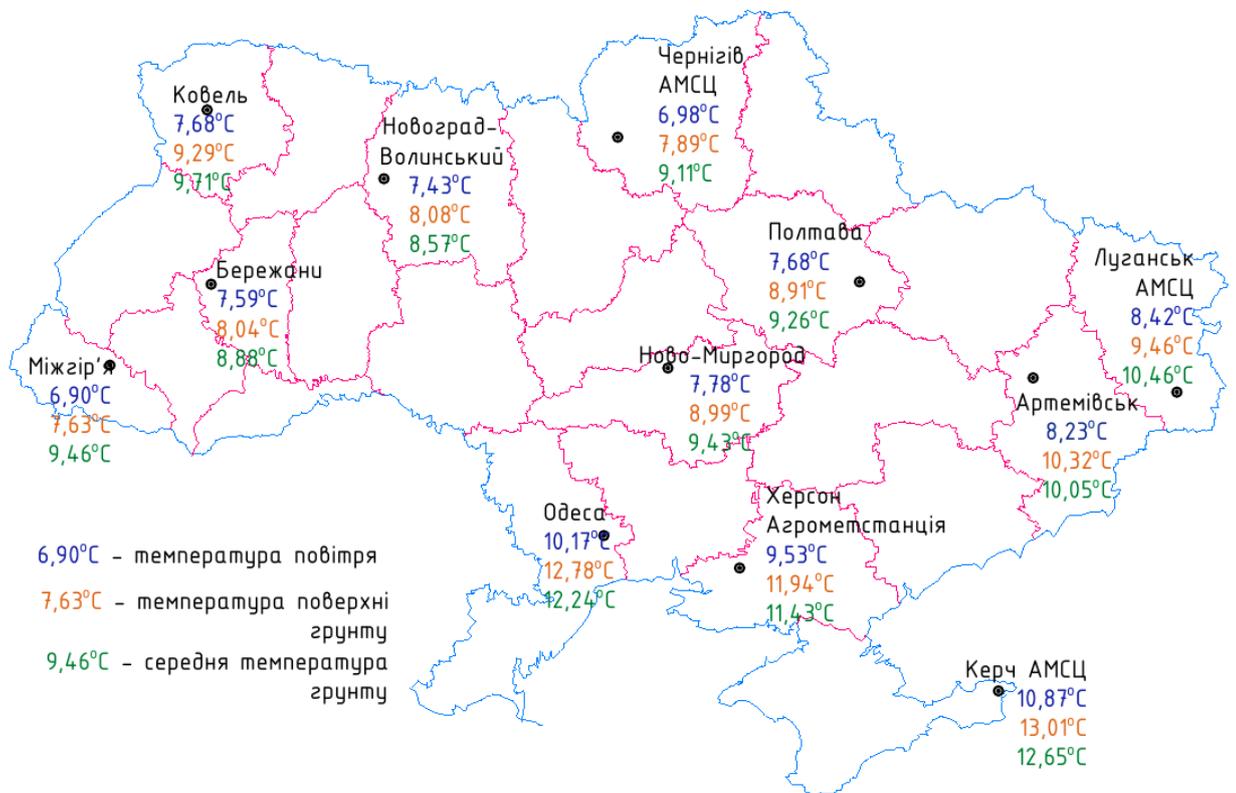


Рис. 3.7 Середня температура повітря та ґрунту на поверхні і в глибині

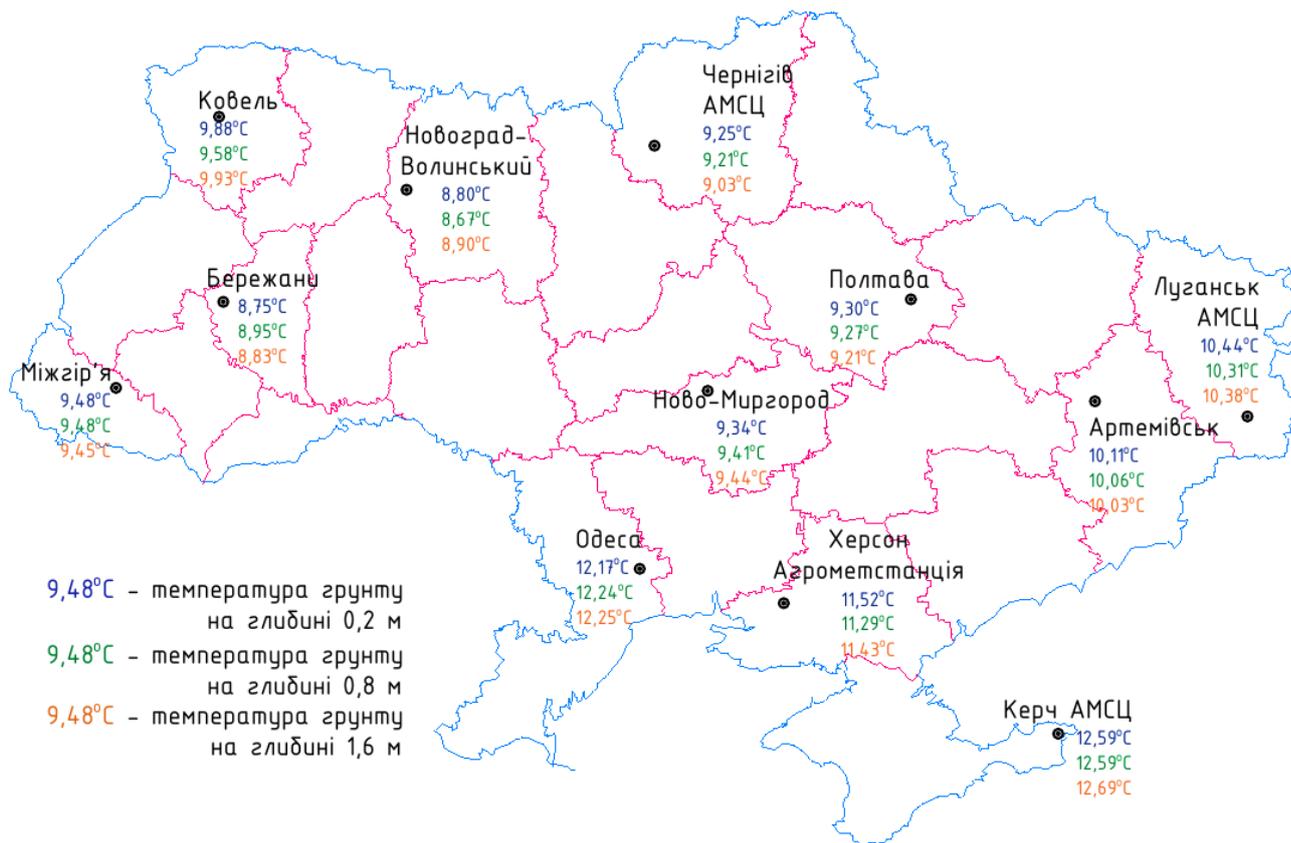


Рис. 3.8 Середня температура ґрунту на глибині 0,2м. 0,8м. 1,6м.

Середньорічна температура ґрунту на глибині 0,2...3,2 м має розмах 4,1°C, тобто такий самий, як і температура на поверхні ґрунту. З карти на рисунку 3.7 видно, що температура ґрунту в глибині також зростає з півночі на південь, але ці зміни є менш систематичними; в них не вписуються метеостанції із західної частини України.

На рисунку 3.8, де відображена територіальна мінливість середньорічних температур ґрунту на трьох різних глибинах, показано, що ці температури досить синхронно змінюються по території. На півдні тепліше, ніж на півночі; різких перепадів між температурами на різних глибинах не спостерігається.

Річні амплітуди температури повітря обчислені як різниці між середніми температурами найтеплішого та найхолоднішого місяців року. З рисунка 3.9 видно, що в межах території України ці амплітуди відрізняються на 3...9°C. З ростом глибини зменшуються як амплітуди коливань температури на окремій метеостанції, так і розкид амплітуд по території. Це також підтверджує явище стабілізації температури ґрунту на значній глибині.

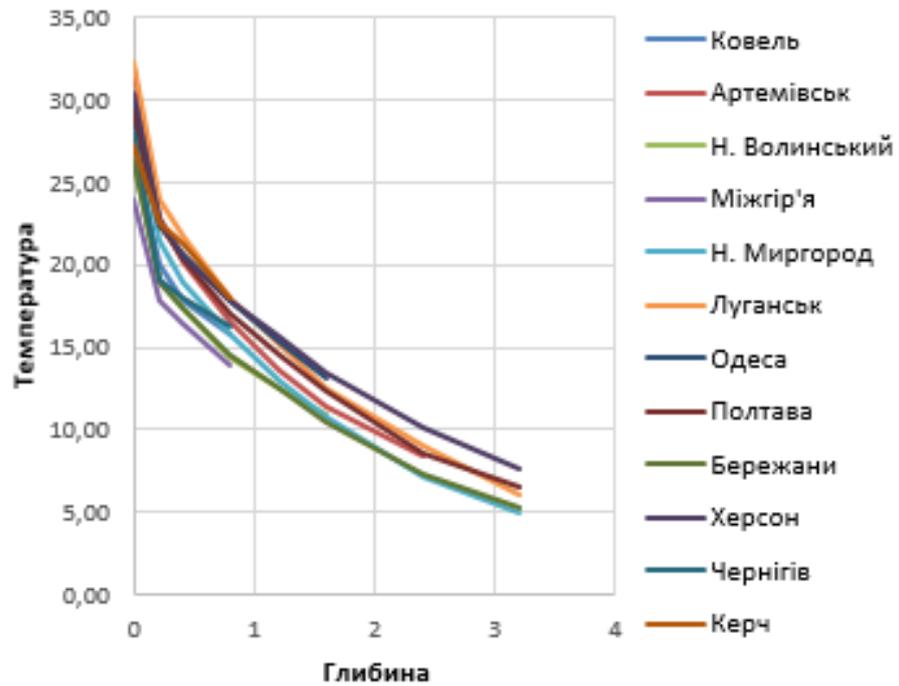


Рис. 3.9 Річні амплітуди коливань температури ґрунту

За сформованою зведеною таблицею для 12-ти обраних метеостанцій (максимальне, мінімальне, та середнє значення температури ґрунту за місяцями протягом року) визначені місяці року, в які буває найменша температура та найбільша температура на кожній глибині. Ці дані відображені графіком на рисунку 3.10, де вздовж осі абсцис відкладені глибини, а вздовж осі ординат – номери місяців з мінімальним та максимальним значенням температури.

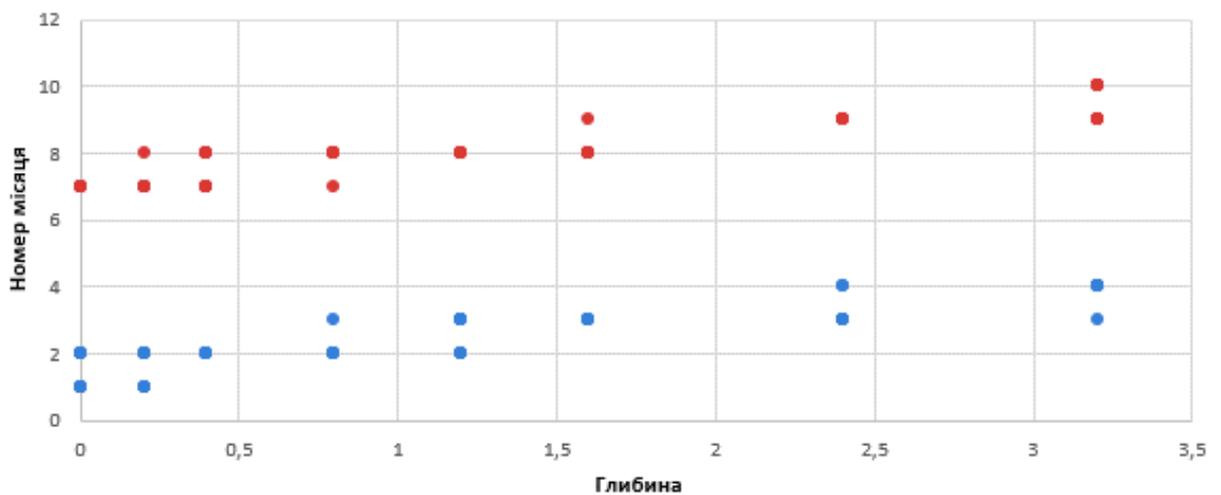


Рис. 3.10 Коливання температури відносно глибини ґрунту та місяця року

З рисунка 3.10 видно, що чим глибше від поверхні землі, тим пізніше реалізується мінімальна та максимальна температура. Це підтверджує інформацію графіка 3.2, збудованого за даними лише однієї метеостанції, і таким чином вказує на загальний характер явища затримки змін температури ґрунту при зростанні глибини.

### 3.3 Стандарти температури ґрунту

Отримані за наявною базою даних таблиці статистичних характеристик для 12-ти обраних метеостанцій містять також стандарти температури повітря та ґрунту на поверхні й на глибинах 0,2 м, 0,4 м, 0,8 м, 1,2 м, 1,6 м, 2,4 м і 3,2 м.

Дані про стандарти температури проаналізовані за методикою, близькою до виконаного вище аналізу середніх значень температури. Збудований для метеостанції Ново-Миргород рисунок 3.11 показує, що вираженого річного ходу стандартів температури, такого як хід середніх значень, загалом немає. Протягом року стандарти температури ґрунту хаотично змінюються, але в цілому зменшуються з глибиною.

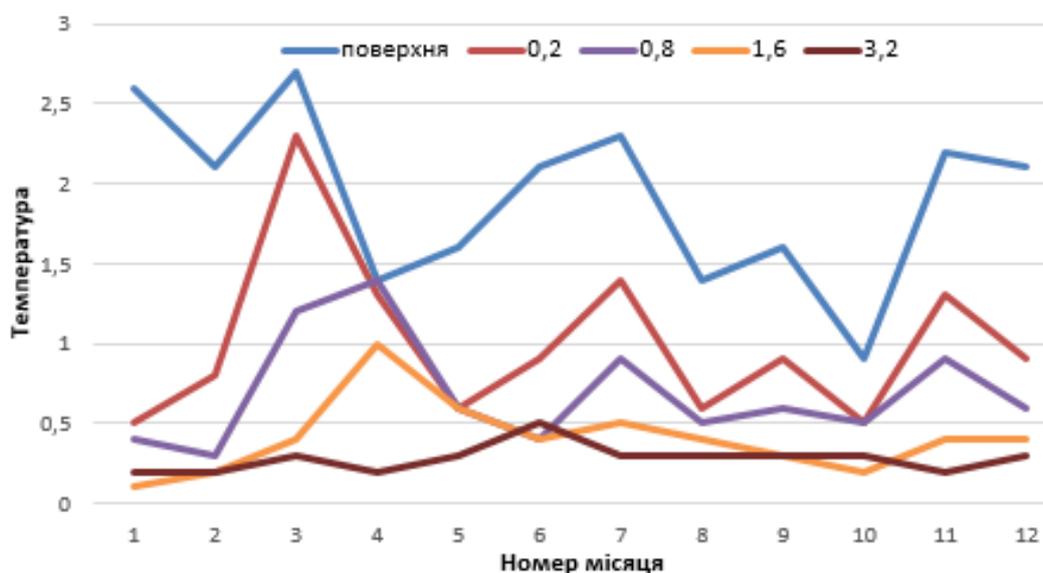


Рис. 3.11 Річний хід стандартів температури на різних глибинах на метеостанції Ново-Миргород

На рисунку 3.12 показані аналогічні рисунку 3.3 залежності стандартів температури від глибини для чотирьох сезонів року в Ново-Миргороді. З ростом глибини стандарти стають меншими, але при цьому виникають скачки між стандартом температури поверхні, яка прогривається сонячним світлом, і стандартом температури на глибині. З ростом глибини стандарти температури вирівнюються для усіх пір року та асимптотично наближаються до нуля.

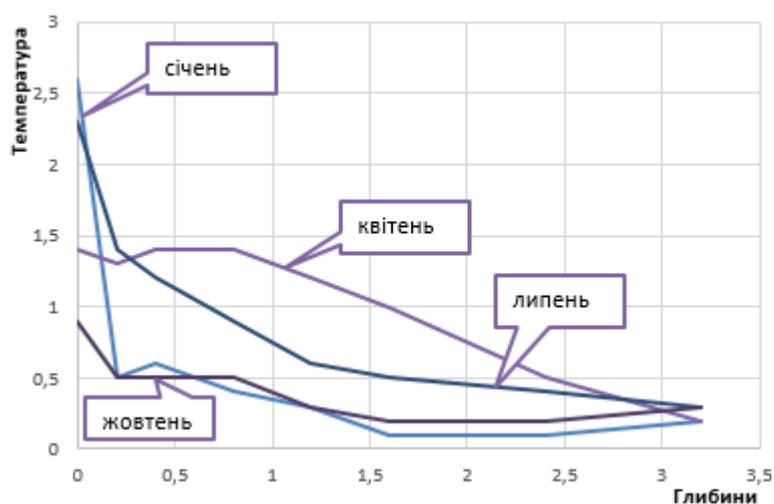


Рис. 3.12 Залежності стандарту температури від глибини

Відсутність виражених сезонних змін дозволяє осереднити значення стандартів протягом року. Зведена таблиця стандартів температури ґрунту, осереднених протягом року, для усіх метеостанцій наведена в таблиці 3.2

Таблиця 3.2

Осереднені протягом року стандарти температури

С	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	Ковель	Артеміє Н. Воли	Міжгір'я	Н. Мирг	Луганськ	Одеса	Полтава	Бережа	Херсон	Чернігів	Керч	Серед	Теор	
пов	1,57	1,69	1,51	1,35	1,64	1,73	1,27	1,70	1,56	1,48	1,77	1,28	1,54	
0	1,79	1,99	1,68	1,43	1,92	1,88	1,53	1,96	1,59	1,76	1,92	1,55	1,75	1,7384
0,2	0,82	0,99	0,84	0,56	1,00	1,21	1,15	1,15	0,89	1,01	0,67	0,98	0,94	0,9694
0,4	0,71	0,84	0,70	0,46	0,89	1,04	1,05	0,94	0,72	0,91	0,60	0,86	0,81	0,8097
0,8	0,56	0,61	0,58	0,36	0,69	0,86	0,87	0,70	0,59	0,72	0,51	0,71	0,65	0,6226
1,2		0,45	0,40		0,52	0,71	0,79	0,56	0,53	0,68		0,48	0,57	0,5295
1,6	0,47	0,43	0,33	0,25	0,41	0,63	0,72	0,47	0,47	0,58	0,44	0,47	0,47	0,481
2,4		0,33			0,32	0,36		0,37	0,38	0,50			0,38	0,4205
3,2	0,18	0,27	0,48	0,18	0,28	0,44	0,44	0,33	0,40	0,38	0,35	0,33	0,34	0,3148

Із побудованого за даними таблиці 3.2 рисунка 3.13 видно, що зміни значень осереднених стандартів температури мають експотенціальний характер з переломом на глибині 0,2 м. Від поверхні ґрунту до глибини 0,2 м відбувається різкий скачок, а потім стандарти починають плавно затухати з ростом глибини.

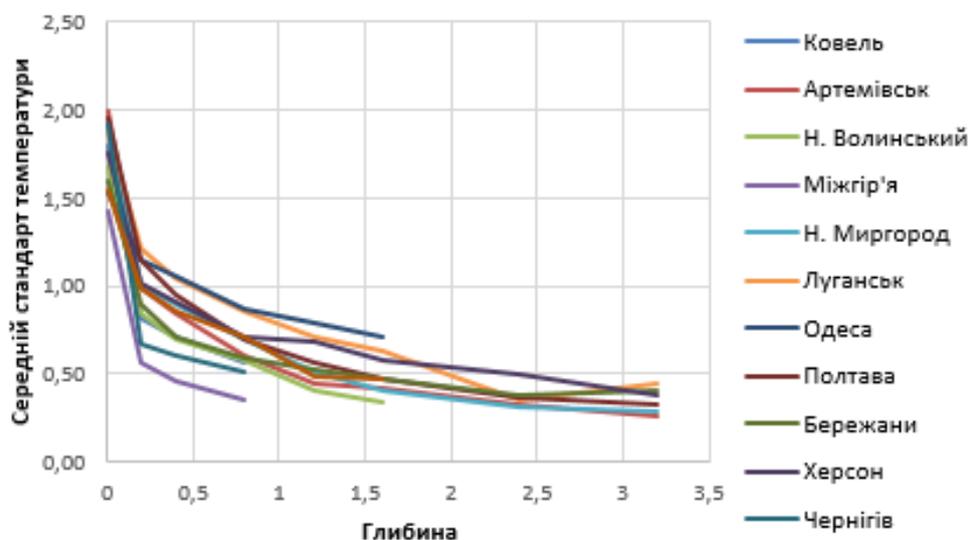


Рис. 3.13 Залежність стандартів температури від глибини по 12 метеостанціях

На рисунку 3.14 зроблена спроба зв'язати середньорічні стандарти температури з середньорічними значеннями температури на поверхні ґрунту та в глибині масиву. Рисунок свідчить про повну відсутність таких залежностей, отже прогнозувати значення стандартів за середньомісячними чи середньорічними температурами неможливо.

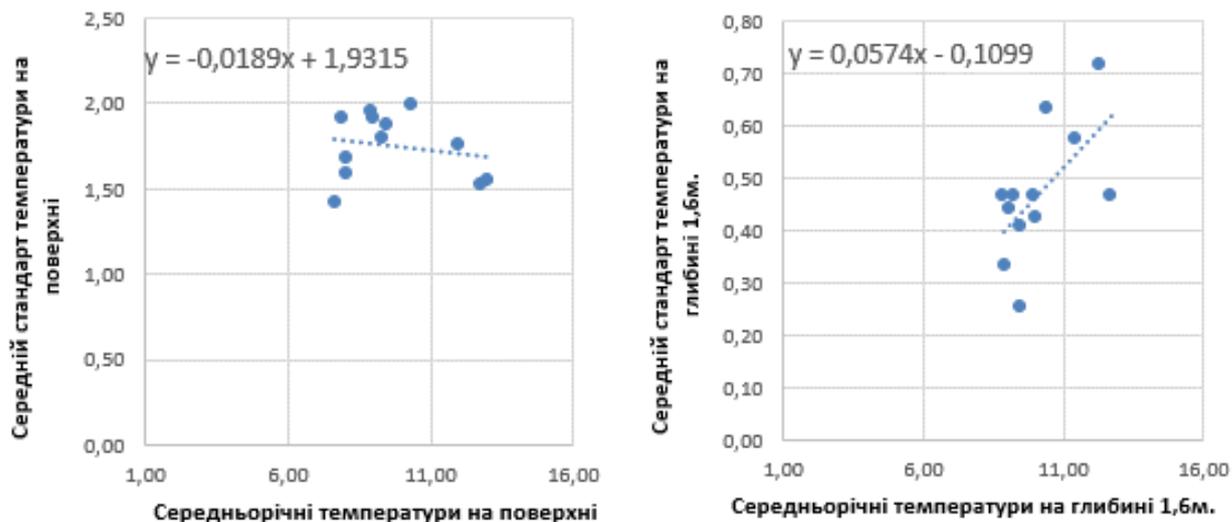
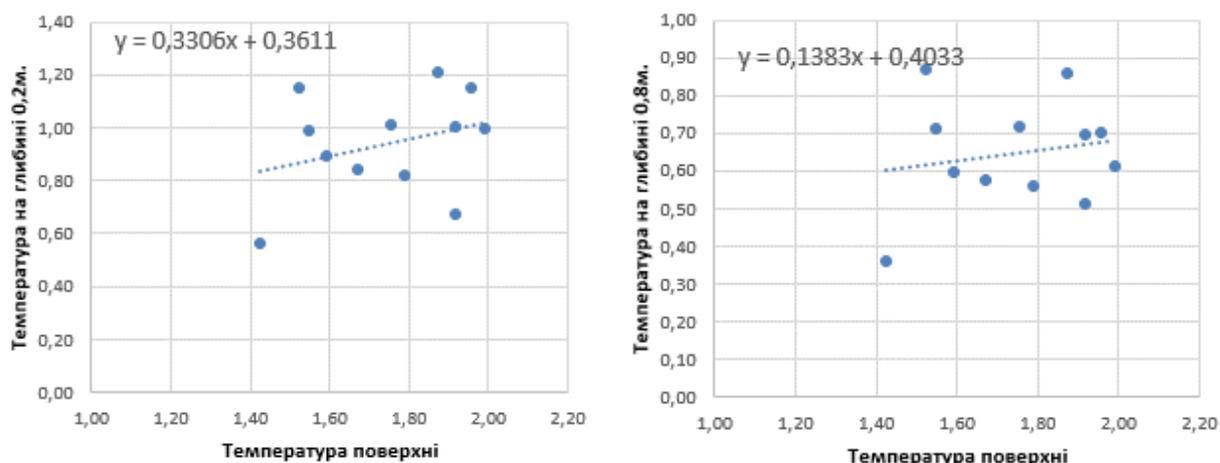


Рис. 3.14 Залежність середньорічних значень стандарту від середньорічних температур ґрунту

На рисунку 3.15 зроблена спроба побудувати залежності між середньорічними значеннями стандартів для різної глибини від стандартів на поверхні ґрунту. Для цього використані дані таблиці 3.2. З наведених графіків видно, що навіть для глибини 0,2 м прослідковується лише незначна тенденція, яку не можна назвати залежністю. Стандарти для інших глибин взагалі не залежать від стандарту температури на поверхні ґрунту. Отже, визначати стандарти температури ґрунту на різних глибинах залежно від стандартів температури поверхні ґрунту неможливо.



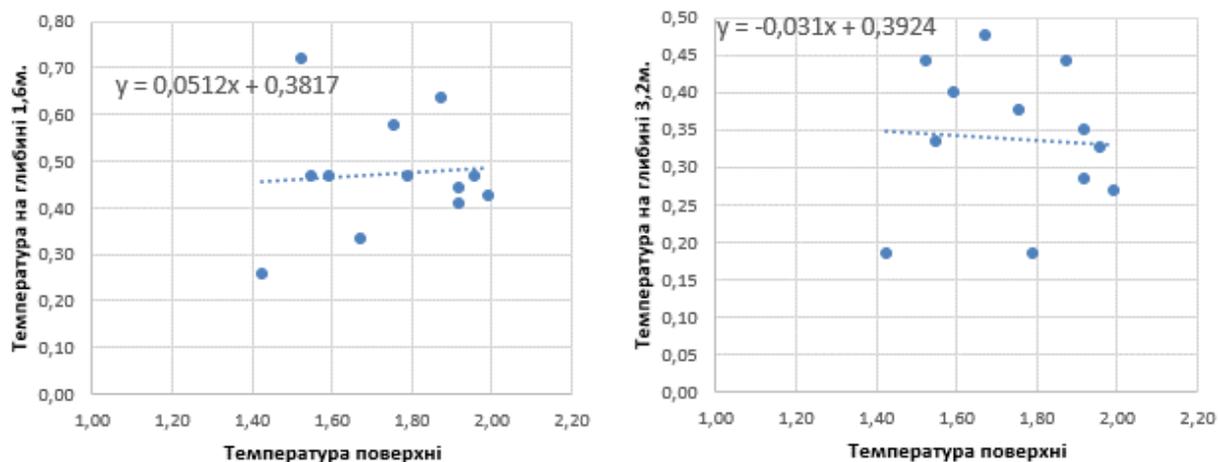


Рис.3.15 Залежність середніх протягом року стандартів температури на глибинах від стандартів температури поверхні ґрунту

Територіальна мінливість стандартів проаналізована на карті з рисунка 3.16, де для усіх метеостанцій вказані стандарти температури поверхні ґрунту та на обраній у якості прикладу глибині 1,6 м. З карти видно, що виражених систематичних змін стандартів по території України не спостерігається. Стандарти змінюються випадково по території, ця мінливість перепадів стандартів температур залежить від типу ґрунтів, висоти над рівнем моря, тобто характеристика ґрунтів більше впливає на стандарт температури ніж географічне положення на карті.

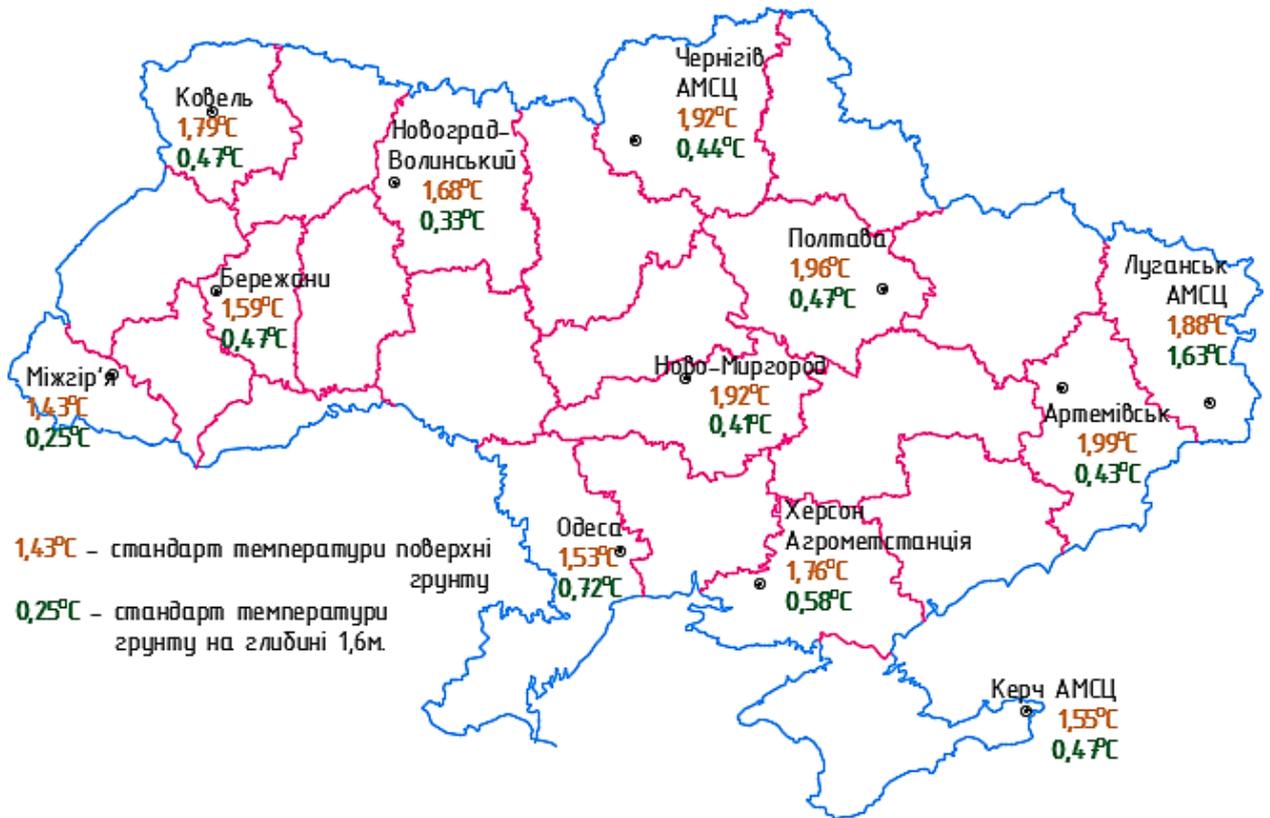


Рис.3.16 Стандарти температури поверхні ґрунту та на глибині 1,6 м по 12 метеостанціях

Виконаний аналіз показав, що зв'язати стандарти температури на глибинах з середніми значеннями або зі стандартами температури поверхні ґрунту не вдається. Територіальна мінливість стандартів також хаотична і не дозволяє відобразити її картою районування. Тому в передостанньому стовпчику таблиці 3.2 (стовпчик Р) обчислені середні по всіх 12-ти метеостанціях України значення стандартів температур на різних глибинах і на рисунку 3.17 наведена їх залежність від глибини. З рисунка видно, що середній стандарт температури за 12 місяців має значний скачок на глибині до 0,2 м, а з більшою глибиною зміни стандарту стають більш рівномірними.

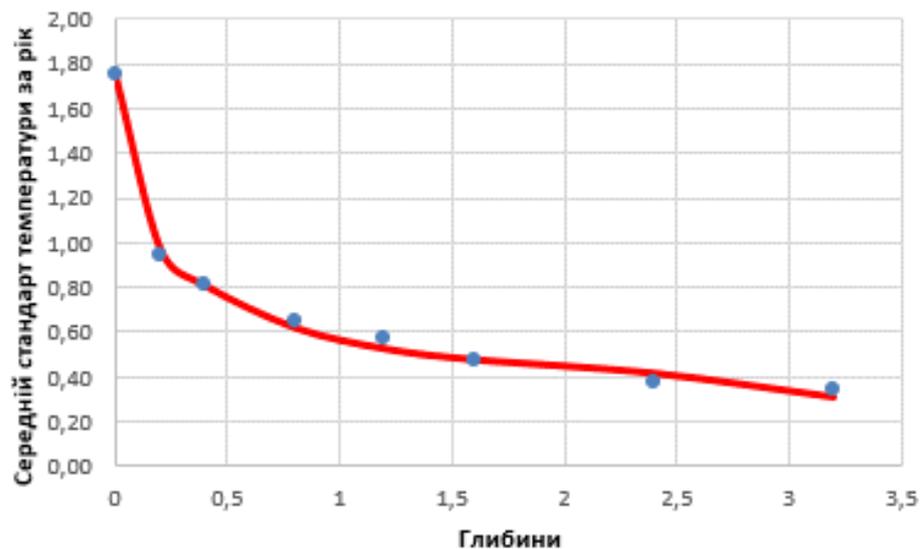


Рис. 3.17 Залежність середніх по території України стандартів температури ґрунту від глибини

Отримана залежність стандарту температури ґрунту  $S$  від глибини  $h$  описана аналітичним виразом

$$S = 1,21 e^{-0,091h} + 0,53 e^{-1,19h} , \quad (3.1)$$

коефіцієнти якого визначені відомим методом найменших квадратів з використанням функції Excel "Пошук рішення".

Теоретична залежність обчислена в останньому стовпчику таблиці 3.2 і зображена на рисунку 3.17 суцільною лінією. Візуально та з порівняння двох останніх стовпців таблиці 3.2 видно, що теоретичні значення (3.1) досить точно описують реальну залежність.

Формула (3.1) асимптотично наближає стандарт температури до нуля при зростанні глибини. Вже при глибині 5 м отримуємо  $S = 0,02^{\circ}\text{C}$ , а при подальшому зростанні глибини стандарт температури практично стає рівним нулю, що відповідає затуханню коливань температури на великих глибинах.

### 3.4 Середні мінімуми температури ґрунту

Отримані за наявною базою даних таблиці статистичних характеристик для 12-ти обраних метеостанцій містять також середні мінімуми температури повітря й ґрунту на поверхні й на усіх глибинах від 0,2 м до 3,2 м.

Дані про середні мінімуми температури проаналізовані за методикою, близькою до виконаного вище аналізу середніх значень температури. Збудований за даними метеостанції Ново-Миргород рисунок 3.18 показує, що амплітуда річного ходу з глибиною зменшується; а також екстремальні значення температури (максимальні й мінімальні) з глибиною зміщуються на більш пізній час, аналогічно з попереднім аналізом.

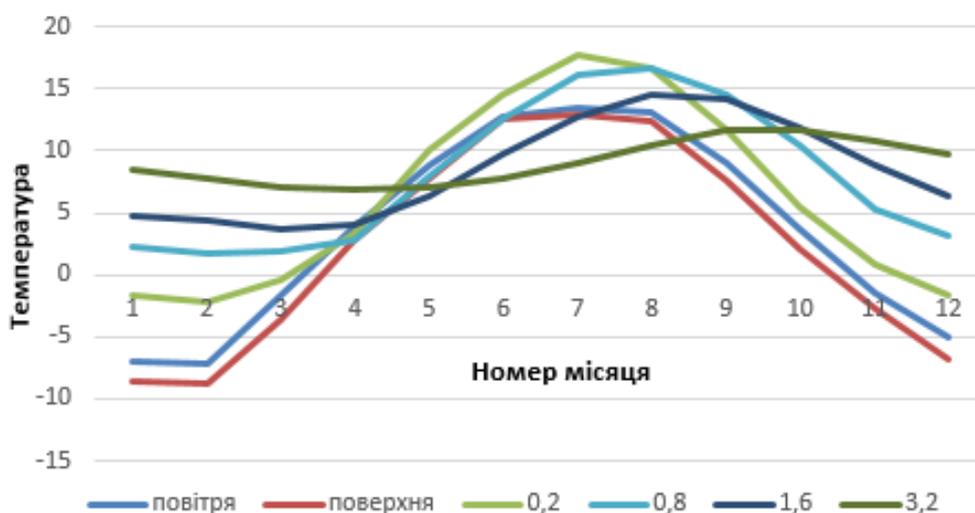


Рис. 3.18 Середній мінімум температури ґрунту в Ново-Миргороді на різній глибині

Зміни середніх мінімальних температур за глибиною відображені на рисунку 3.19 для чотирьох місяців, що відповідують сезонам року: зима, весна, літо та осінь. Аналогічно попереднім викладкам, з рисунка видно що висока липнева температура поверхні ґрунту падає з глибиною, а низька січнева температура поверхні з глибиною росте й зближується з липневою температурою.

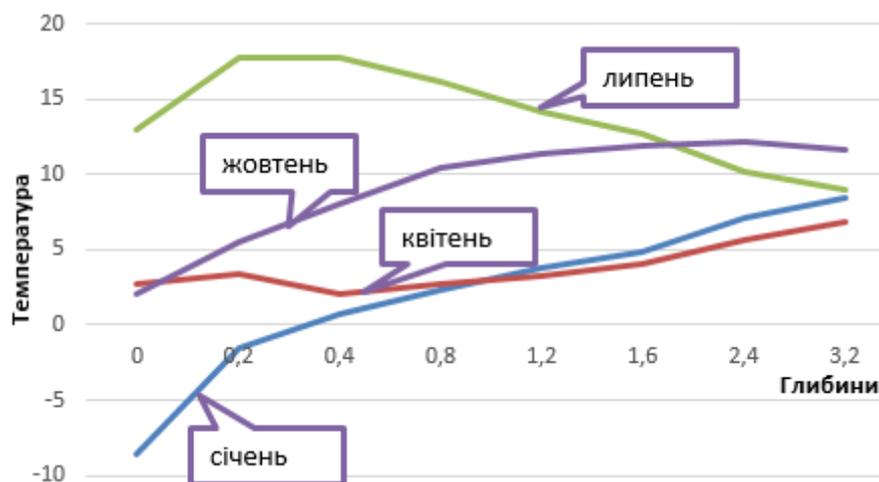


Рис. 3.19 Зміни середнього мінімуму температури ґрунту по глибині

За наявною базою даних складена таблиця 3.3, у якій для 12 метеостанцій наведені середні мінімуми температури ґрунту на усіх глибинах.

Таблиця 3.3

Середні мінімуми температури ґрунту

	Ковель	Артемі	Н. Воли	Міжгір'	Н. Мирі	Лугансь	Одеса	Полтава	Бережа	Херсон	Чернігі	Керч	Мін	Макс	Сер	Ампліт
пов	-6,2	-7,1	-6	-6,8	-7,1	-8	-2,9	-7,3	-5,9	-4,4	-8,2	-2,8	-8,2	-2,8	-6,06	5,4
0	-8,4	-9	-8,4	-8,1	-8,7	-9,6	-4,6	-9,7	-7,7	-5,6	-10,9	-4,3	-10,9	-4,3	-7,92	6,6
0,2	-2,2	-2,1	-0,1	0,6	-2,2	-3	0	-3,3	-1,7	-3	0,3	0,6	-3,3	0,6	-1,34	3,9
0,4	0,5	-0,1	0,3	1,1	-0,1	-0,9	1,2	-1,2	0,3	0,4	0,6	1,3	-1,2	1,3	0,28	2,5
0,8	1,6	1,8	1,4	2,4	1,7	1	2,8	0,9	1,5	2	1,3	3,1	0,9	3,1	1,79	2,2
1,2		3,1	1,4		2,8	2,8	4	2	2,5	2,9		4,1	1,4	4,1	2,84	2,7
1,6	3,2	4,1	3,5	4,8	3,7	4,1	5	3	3,4	4,2	2,3	6	2,3	6,0	3,94	3,7
2,4		5,6			5,6	5,8		4,9	5	6,2			4,9	6,2	5,52	1,3
3,2	4,3	6,9	4,1	6,2	6,9	7,4	8,7	5,7	6	7,6	4,8	9,3	4,1	9,3	6,49	5,2

За даними таблиці 3.3 на рисунку 3.20 зображені залежності середніх мінімумів температури від глибини для усіх 12-ти метеостанцій. Видно, що на поверхні ґрунту середня мінімальна температура істотно відрізняється у менший бік, а починаючи з глибини 0,2 м температура плавно збільшується до температури 10°. Як і для середніх температур, з ростом глибини амплітуди коливань температури по території зменшуються.

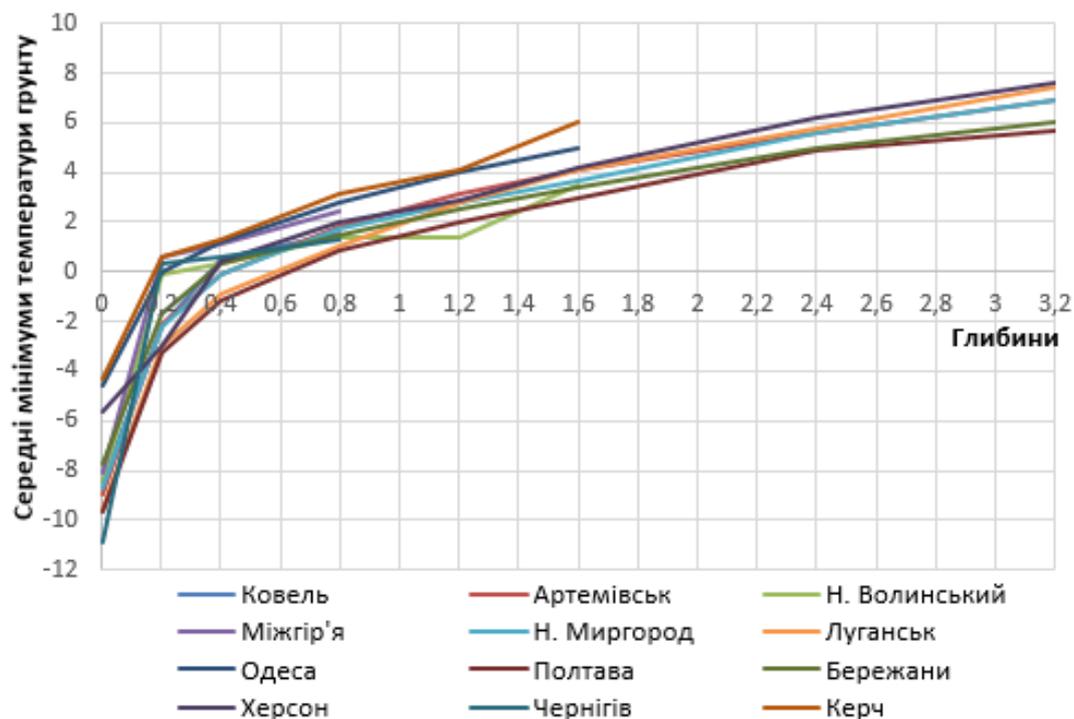


Рис. 3.20 Зміни середнього мінімуму температур ґрунту з глибиною

### 3.5 Стандарти середніх мінімумів температури ґрунту

Отримані за наявною базою заних таблиці статистичних характеристик для 12-ти обраних метеостанцій містять також стандарти середніх мінімумів температури повітря, поверхні ґрунту та на усіх досліджених глибинах від 0,2 м до 3,2 м.

Дані про стандарти температури проаналізовані за методикою аналізу стандартів середніх температур. Збудований за даними для Ново-Миргорода рисунок 3.21 показує, що вираженого річного ходу стандартів температури, такого як хід середніх значень, загалом немає, аналогічно з попереднім дослідом.



Рис. 3.21 Річний хід стандартів мінімальних температур на різних глибинах на метеостанції Ново-Миргород

На рисунку 3.22 показані аналогічні рисунку 3.12 залежності стандартів мінімальних температур від глибини для чотирьох пір року в Ново-Миргороді. З ростом глибини стандарти температури вирівнюються для усіх пір року та наближаються до нуля.



Рис. 3.22 Залежності середніх мінімумів стандарту температур від глибини

Зведена таблиця стандартів мінімальних температур ґрунту, осереднених протягом року, для усіх метеостанцій наведена в таблиці 3.4

## Мінімальні стандарти температур протягом року

	Ковель	Артемі	Н. Воли	Міжгір'	Н. Мирі	Лугансь	Одеса	Полтав	Бережа	Херсон	Чернігі	Керч	Мін	Макс	Сер	Ампліт
пов	1,625	1,7583	1,5167	1,4083	1,625	1,8083	1,2917	1,7083	1,5667	1,4167	1,75	1,1917	1,2	1,8	1,56	0,6167
0	1,9	1,8083	1,8417	1,425	1,7917	1,7333	1,2583	1,8	1,7083	1,4583	2,0417	1,175	1,2	2,0	1,66	0,8667
0,2	0,9583	1,4083	0,9583	0,6273	1,2833	1,5167	1,25	1,4833	1,2	1,3417	0,7333	1,0167	0,6	1,5	1,15	0,8894
0,4	0,7167	1,15	0,7167	0,6364	1,1	1,2417	1,15	1,25	0,925	1,0667	0,7417	0,925	0,6	1,3	0,97	0,6136
0,8	0,625	0,7083	0,6833	0,3667	0,6917	0,8917	0,8167	0,7917	0,6583	0,8583	0,6083	0,8083	0,4	0,9	0,71	0,525
1,2		0,4833	0,4167		0,5333	0,7333	0,8167	0,6	0,575	0,6917			0,4	0,8	0,61	0,4
1,6	0,5333	0,4333	0,3333	0,2545	0,475	0,6333	0,67	0,4833	0,4917	0,5917	0,45	0,525	0,3	0,7	0,49	0,4155
2,4		0,3917			0,3333	0,3833		0,375	0,3833	0,475			0,3	0,5	0,39	0,1417
3,2	0,2	0,3083	0,5167	0,1667	0,2583	0,4417	0,45	0,3417	0,4	0,4	0,325	0,3667	0,2	0,5	0,35	0,35

Із побудованого за даними таблиці 3.4 рисунка 3.23 видно, що від поверхні ґрунту до глибини 0,2 м може відбуватися різкий скачок, а потім стандарти починають плавно затухати з ростом глибини, аналогічно з попереднім дослідом

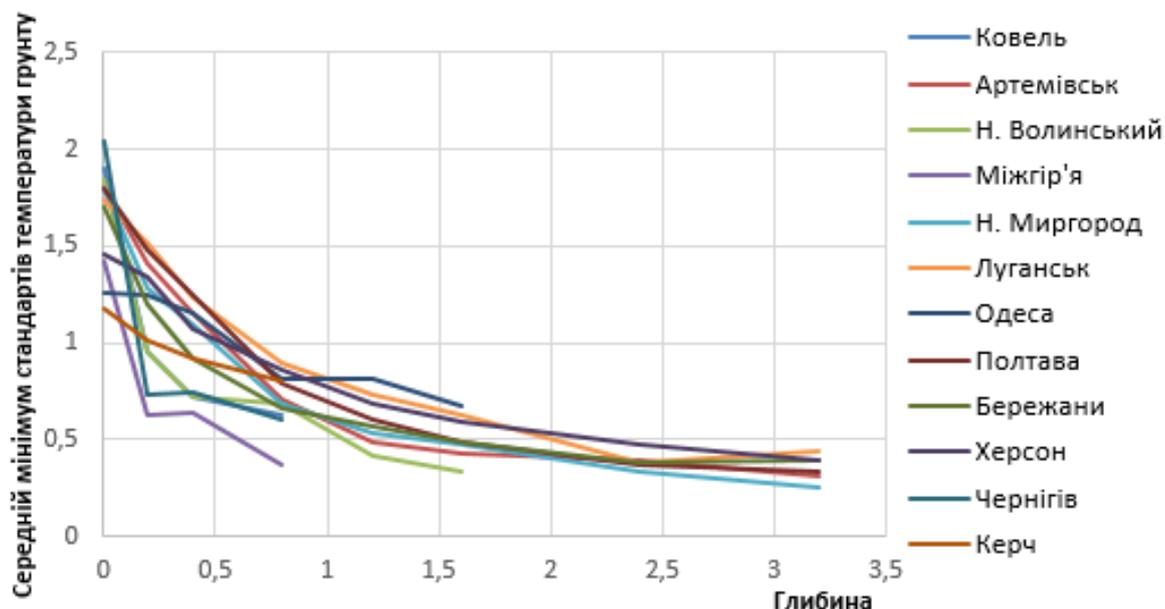


Рис. 3.23 Залежність мінімальних стандартів температури від глибини по 12 метеостанціях

### 3.6 Середні максимуми температури ґрунту

Отримані за наявною базою даних таблиці статистичних характеристик для 12-ти обраних метеостанцій містять також середні максимуми температури повітря й ґрунту на поверхні та на глибинах від 0,2 м до 3,2 м.

Дані про стандарти температури проаналізовані за методикою, близькою до виконаного вище аналізу середніх значень температури. Збудований за даними метеостанції Ново-Миргород рисунок 3.24 показує, що екстремальні значення мінімальної й максимальної температури з глибиною переміщуються на пізніший час, аналогічно з попереднім аналізом середніх мінімальних температур.

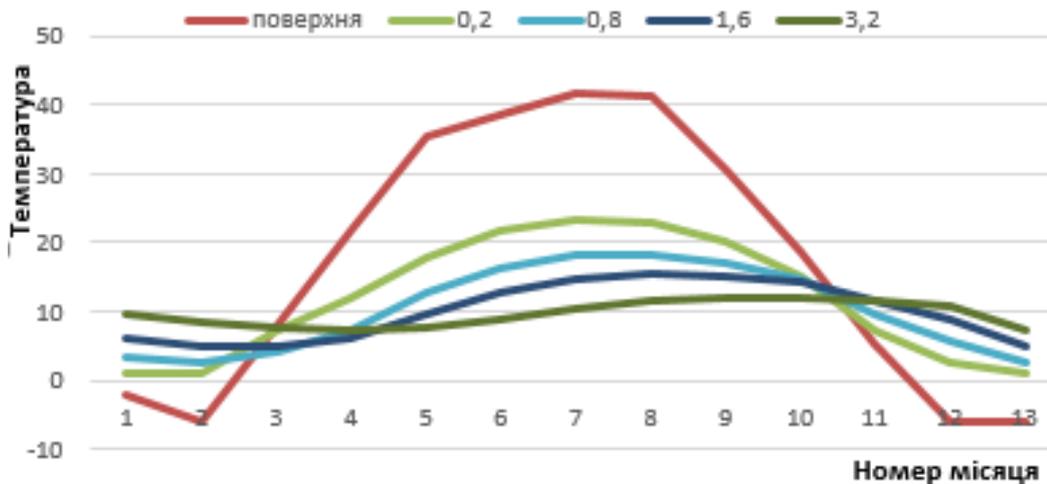


Рис. 3.24 Середній максимум температури ґрунту в Ново-Миргороді на різних глибинах

Зміни середніх мінімальних температур по глибині відображені на рисунку 3.25 для чотирьох місяців, що відповідають сезонам року: зима, весна, літо та осінь. Аналогічно попереднім дослідженням, видно, що висока липнева температура поверхні ґрунту з ростом глибини падає, а низька температура на поверхні ґрунту в січні з глибиною збільшується й наближається до липневої температури.

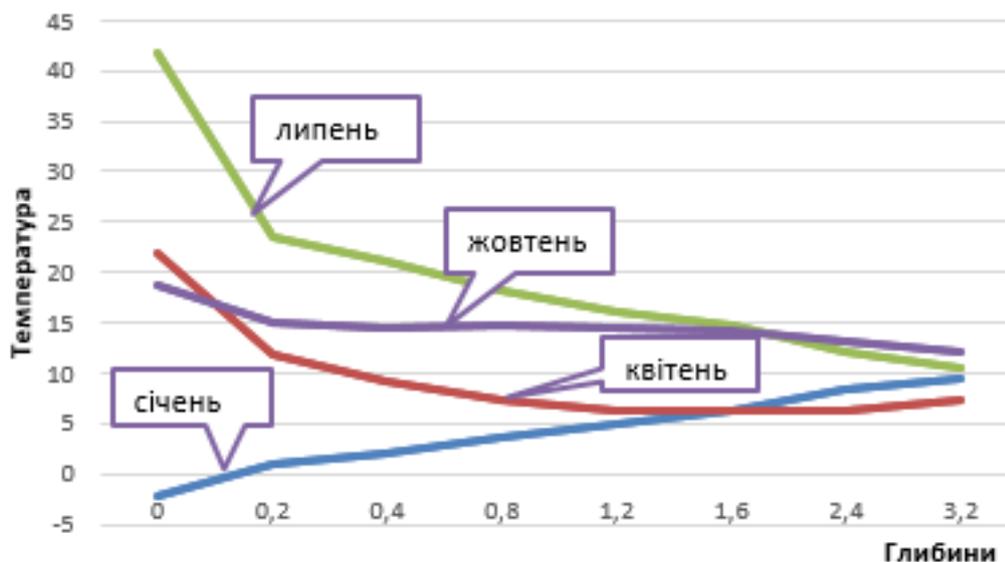


Рис. 3.25 Зміни середнього максимуму температури ґрунту за глибиною

За наявною базою даних складена таблиця 3.5, у якій для 12 метеостанцій наведені середні максимуми температури ґрунту на усіх глибинах.

Таблиця 3.5

### Середні максимуми температури ґрунту

	Ковель	Артемі	Н. Воли	Міжгір'	Н. Мирі	Лугансь	Одеса	Полтава	Бережа	Херсон	Чернігі	Керч	Мін	Макс	Сер	Ампліт
пов	23,7	27,4	23,5	22,6	25,2	27,6	25,5	25,2	22,8	27,7	24,5	27	22,6	27,7	25,23	5,1
0	41,5	47,5	36,6	30,1	41,7	46,5	48,1	42,1	35,9	48,8	38,5	45,7	30,1	48,8	41,92	18,7
0,2	26,1	25,6	23,7	21,2	23,5	26,9	27	24,6	22,4	27,5	22,9	27,5	21,2	27,5	24,91	6,3
0,4	21,8	22,7	20	19,5	21,1	23,4	24,5	21,8	20	23,7	20,6	25,3	19,5	25,3	22,03	5,8
0,8	19,1	19,4	17,1	17,1	18,4	20,1	22,1	19,2	17,5	21,1	18,8	22,7	17,1	22,7	19,38	5,6
1,2		17,4	14,9		16,6	18,8	20,5	17,2	16,2	19,7		20,3	14,9	20,5	17,96	5,6
1,6	17,5	15,6	14,8	14,9	15,4	17,3	19,3	15,9	14,6	18,7	16,5	19,7	14,6	19,7	16,68	5,1
2,4		14,5			13,3	15,5		13,9	12,9	16,9			12,9	16,9	14,50	4
3,2	14,6	13,2	12	12,7	12	13,7	15,9	12,7	11,8	15,6	13,3	16,1	11,8	16,1	13,63	4,3

За даними таблиці 3.5 на рисунку 3.26 зображені залежності середніх мінімумів температури від глибини для усіх 12-ти метеостанцій. Видно, що на поверхні ґрунту середня максимальна температура істотно відрізняється у більший бік, а починаючи з глибини 0,2 м температура плавно зменшується до температури 10°. З ростом глибини спостерігається зменшення амплітуди коливань температури по території.

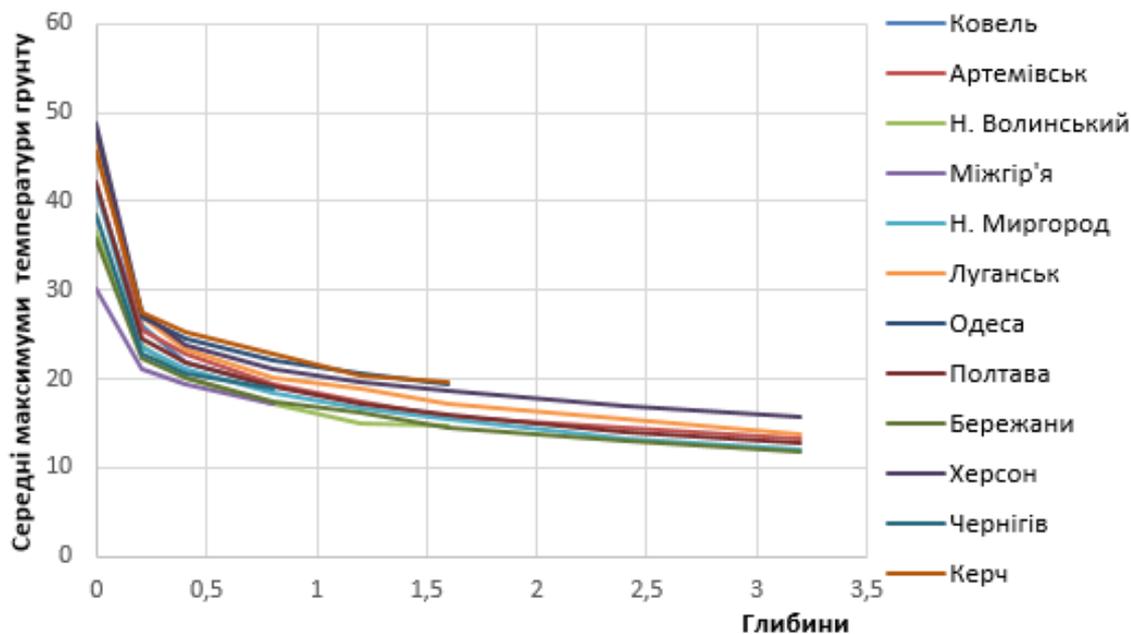


Рис. 3.26 Зміни середнього максимуму температур ґрунту з глибиною

### 3.7 Стандарти середніх максимумів температури ґрунту

Отримані за наявною базою заних таблиці статистичних характеристик для 12-ти обраних метеостанцій містять також стандарти середніх максимумів температури повітря й ґрунту на поверхні та на глибині від 0,2 м до 3,2 м.

Дані про стандарти максимумів температури проаналізовані за методикою аналізу стандартів середньої температури. Рисунок 3.27, побудований для метеостанції Ново-Миргород, показує, що вираженого річного ходу стандартів температури, такого як хід середніх значень, загалом немає, аналогічно з попереднім дослідом.

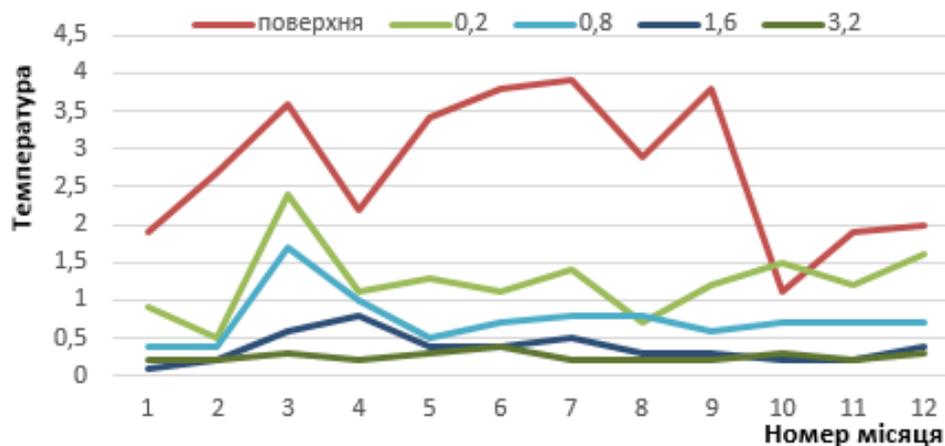


Рис. 3.27 Річний хід мінімальних стандартів температури на різних глибинах на метеостанції Ново-Миргород

На рисунку 3.28 показані аналогічні рисунку 3.22 залежності стандартів максимальних температур від глибини метеостанції Ново-Миргород для чотирьох пір року. З ростом глибини стандарти температури для усіх сезонів року асимптотично наближаються до нуля.

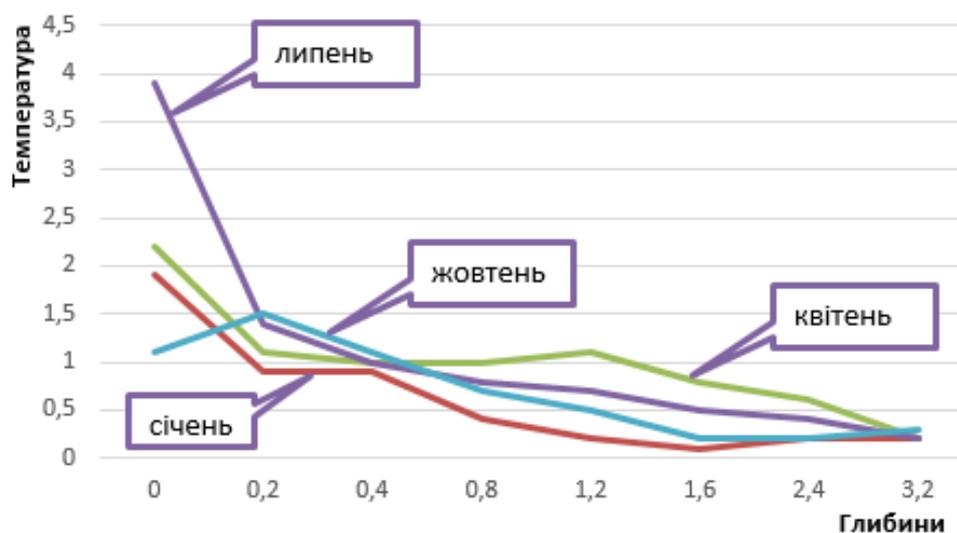


Рис. 3.28 Залежності середніх мінімумів стандарту температур від глибини

Зведена таблиця стандартів температури ґрунту, осереднених протягом року, для усіх метеостанцій наведена в таблиці 3.6

## Максимальні стандарти температур протягом року

	Ковель	Артемі	Н. Воли	Міжгір'	Н. Мир	Луганськ	Одеса	Полтава	Бережа	Херсон	Чернігів	Керч	Мін	Макс	Сер	Ампліт
пов	1,6917	1,7083	1,675	2,525	1,7667	1,6917	1,45	1,825	1,7167	1,6583	1,75	1,375	1,4	2,5	1,74	1,15
0	2,4917	2,6333	2,5917	2,0583	2,7667	2,6167	2,6583	2,575	2,675	2,7333	2,1917	2,3083	2,1	2,8	2,53	0,7083
0,2	1,1333	1,55	1,3	0,7545	1,2417	1,9083	1,45	1,4417	1,4	1,4833	1,0917	1,275	0,8	1,9	1,34	1,1538
0,4	0,8167	1,175	0,975	0,6833	1,1	1,5917	1,2833	1,2	1,0583	1,225	0,85	0,9917	0,7	1,6	1,08	0,9083
0,8	0,6333	0,725	0,7167	0,3917	0,75	1,0417	1,025	0,8583	0,7833	0,9167	0,6583	0,75	0,4	1,0	0,77	0,65
1,2		0,475	0,4833		0,55	0,725	0,8417	0,625	0,575	0,7833		0,64	0,5	0,8	0,63	0,3667
1,6	0,5	0,4417	0,3182	0,2667	0,3667	0,6417	0,7167	0,45	0,4583	0,6417	0,45	0,5083	0,3	0,7	0,48	0,45
2,4		0,3417			0,3167	0,3667		0,3667	0,4083	0,475			0,3	0,5	0,38	0,1583
3,2	0,2	0,2667	0,4333	0,1625	0,25	0,4333	0,425	0,3083	0,4083	0,4	0,3583	0,3	0,2	0,4	0,33	0,2708

Із побудованого за даними таблиці 3.6 рисунка 3.29 видно, що від поверхні ґрунту до глибини 0,2 м відбувається скачок, а потім стандарти починають плавно затухати з ростом глибини, аналогічно до поведінки стандартів середніх і мінімальних температур.

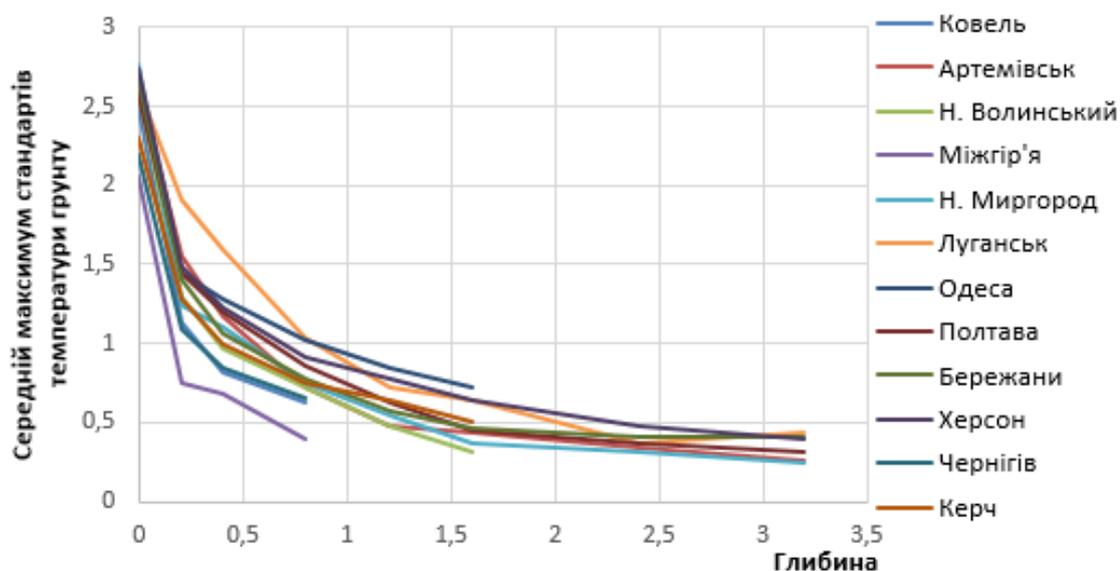


Рис. 3.29 Залежність мінімальних стандартів температури від глибини по 12 метеостанціях

### 3.8 Висновки з розділу

1. Середньомісячні температури повітря мають виражений річний хід та істотно залежать від глибини. На поверхні ґрунту найбільша температура спостерігається в липні, а найменша в січні. З ростом глибини екстремуми температури зміщуються на більш пізні терміни. При збільшенні глибини середньомісячні температури усіх місяців року зближуються між собою, асимптотично наближаючись до температури приблизно  $+10^{\circ}\text{C}$ .

2. Стандарти середньомісячних температур повітря та ґрунту не мають вираженого річного ходу, але зменшуються з ростом глибини, асимптотично наближаючись до  $0^{\circ}\text{C}$ . Це свідчить про стабільність та незмінність температур на великих глибинах. Територіальна мінливість стандартів є хаотичною, не маючи вираженої закономірності.

3. Середньорічна температура повітря, а також температура ґрунту на глибині понад 0,2 м є практично незмінними. Аналіз територіальної мінливості середньорічних температур ґрунту показав, що на всіх глибинах вони зростають з півночі на південь України.

4. Закономірності зміни середніх мінімумів і середніх максимумів температури близькі до характеру змін середньомісячних температур. З ростом глибини максимумами і мінімумами температури затримуються в часі порівняно з січнем та липнем для поверхні ґрунту. З ростом глибини середній максимум температури зменшується, а середній мінімум зростає, вони зближуються та асимптотично наближаються до температури близько  $+10^{\circ}\text{C}$ .

5. Стандарти мінімальної і максимальної температури, як і для середніх температур, не мають вираженої річної та територіальної мінливості. Прослідковується зменшення стандартів з глибиною та їх асимптотичне наближення до  $0^{\circ}\text{C}$ .

## Розділ 4

### РОЗРАХУНКОВІ ЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ҐРУНТУ

#### 4.1 Методика визначення екстремальних розрахункових значень температури ґрунту

Для аналізу температури в масиві ґрунту створена база даних, до якої включені результати спостережень на 12 метеостанціях України. Метеостанції з різних регіонів України відображають мінливість температури ґрунту по території. На відміну від стандарту [16], який містить лише середні та розрахункові значення температури повітря й ґрунту для декількох десятків міст, у використаному для створення бази даних довіднику [8] більш детально наведені статистичні характеристики температури для 207 метеостанцій України.

По кожній з 12-ти обраних метеостанцій для усіх місяців року вказані характеристики температури повітря, а також характеристики температури ґрунту на поверхні та на глибинах 0,2, 0,4, 0,8, 1,2, 1,6, 2,4 і 3,2 м: середньомісячні температури; середні мінімуми температури; середні максимуми температури. За даними 12-ти обраних метеостанцій побудовані зведені таблиці, де для кожного місяця року вказані середні та стандарти екстремумів температури.

Наявні дані дозволяють визначити тривалість перебування мінімальної температури нижче розрахункового значення  $X$  на протязі  $i$ -того місяця обчислюється за формулою

$$T_{min,i} = 30 \cdot F(X, M_{min}, S_{min}) \quad (4.1)$$

де 30 – кількість днів на місяць;

$F$  – нормальна функція розподілу;

$X$  – мінімальне розрахункове значення температури;

$M_{min}$  – середнє значення мінімальної температури;

$S_{min}$  – стандарт мінімальної температури.

Сумарна тривалість перебування мінімальної температури нижче розрахункового значення  $X$  протягом року дорівнює

$$T_{min} = \sum_{i=1}^{12} T_{min,i} \quad (4.2)$$

Підставивши (1) до (2) і прирівнявши отриманий вираз до допустимої тривалості (1 день за строк служби) виходу мінімальної температури ґрунту за розрахункове значення  $X$ , отримуємо нелінійне рівняння

$$30 \sum_{i=1}^{12} (F \cdot (X, M_{min} S_{min})) - \frac{1}{T} = 0 \quad (4.3)$$

розв'язок якого відносно  $X$  дає мінімальне розрахункове значення температури.

Тривалість перевищення розрахункового значення  $X$  максимальної температури ґрунту протягом  $i$ -того місяця обчислюється за формулою

$$T_{max,i} = 30 \cdot (1 - F(X, M_{max} S_{max})) \quad (4.4)$$

В цьому випадку  $1 - F$  – імовірність того, що температура буде нижчою за  $X$

Сумарна тривалість перевищення протягом року дорівнює

$$T_{max} = \sum_{i=1}^{12} T_{max,i} \quad (4.5)$$

По аналогії з (3) отримуємо рівняння для визначення розрахункового значення максимальної температури ґрунту

$$30 \sum_{i=1}^{12} (1 - F(X, M_{max} S_{max})) - \frac{1}{T} = 0 \quad (4.6)$$

у якому на відміну від (4.3) і (4.4) позначено:

$M_{min}$  – середнє максимальної температури;

$S_{min}$  – стандарт максимальної температури.

В цьому випадку  $1 - F$  – імовірність того що температура буде вищою за  $X$ .

Розрахункові значення екстремальних температур визначаються шляхом розв'язання рівнянь (4.3) і (4.6) відносно  $X$  в середовищі Excel з використанням функції «Пошук рішення».

Функція "Пошук рішення" працює з групою комірок, званих комірками змінних рішення або просто комірками змінних, які використовуються при обчисленні цільової функції за заданим алгоритмом. Надбудова "Пошук рішення" змінює значення в комірках змінних таким чином, щоб отримати необхідне значення цільової функції (найменше, найбільше чи нульове).

У нашому випадку цільовою функцією є ліві частини рівнянь (4.3) чи (4.6). Excel змінює розрахункове значення  $X$  таким чином, щоб цільова функція стала рівною нулю. Задавши період повторюваності  $T$ , маючи значення  $M$  і  $S$  із зведених таблиць для усіх місяців року, для кожної глибини окремо розв'язуємо вказані рівняння (4.3) і (4.6) і таким чином отримуємо розрахункові значення мінімальної та максимальної температури.

На рисунку 4.1 наведено приклад розрахункової таблиці для м. Ново-Миргород. Стівпчики наведеного розрахункового аркуша містять такі дані:  $A$  – глибини замірів температури,  $B...M$  – тривалості перевищень (4.1) та (4.4) для усіх місяців року,  $P$  – цільова функція за (4.3) чи (4.6),  $O$  – розрахункові значення, обчислені з використанням функції «Пошук рішення». Комірки  $K 158$  і  $K 170$  містять період повторюваності, для якого обчислюються розрахункові значення температур. Необхідні для розрахунків середні значення і стандарти температур наведені в попередніх рядках розрахункової таблиці.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
156	Ново-Миргород, Кіровоградська обл., висота 179 м (434)																
157																	
158	РОЗРАХУНКОВІ МІНІМАЛЬНІ ТЕМПЕРАТУРИ												T=	200			
159	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Розр	Ціл			
160	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-18,7	-5,24E-10		
161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-21,6	-5,46E-10		
162	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8,5	-1,04E-09		
163	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6,5	-1,63E-09		
164	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-4,1	-7,12E-10		
165	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1,0	-4,47E-10		
166	1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	-3,36E-09		
167	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,8	-1,22E-09		
168	3,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,8	9,06E-10		
169																	
170	РОЗРАХУНКОВІ МАКСИМАЛЬНІ ТЕМПЕРАТУРИ												T=	200			
171	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Розр	Ціл			
172	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31,6	-9,16E-10		
173	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55,7	-1,44E-09		
174	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28,5	-1,31E-09		
175	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24,7	-4,91E-10		
176	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,3	-5,55E-07		
177	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18,7	-4,92E-05		
178	1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16,6	-1,17E-09		
179	2,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14,8	-7,47E-10		
180	3,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,1	-1,46E-04		

Рис. 4.1 – Обчислення розрахункових значень температури ґрунту

Змінюючи період повторюваності і повторюючи розрахунки в усіх рядках, отримуємо необхідні розрахункові значення екстремальних температур ґрунту, які копіюються в зведену таблицю з рисунка 4.2. За цими даними побудовані графіки залежності розрахункових значень температури від глибини й періоду повторюваності, наведені на рисунках 4.3, 4.4 і 4.5.

З рисунків 4.2 і 4.3 видно, що характеристичні значення мінімальної (холодної) та максимальної (теплої) температури на поверхні ґрунту відрізняються на 75°C. Великі коливання температури поверхні обумовлені нагріванням ґрунту від сонячної радіації, яка має зробити температуру поверхні ґрунту набагато вищою, ніж літня температура повітря. З ростом відстані від поверхні мінімальна та максимальна температури наближаються приблизно до +10°C. Різкий скачок температур від поверхні ґрунту до глибини 0,2 м пояснюється тим, що теплоізоляційна здатність ґрунту нівелює скачки температури його поверхні.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
181													
182		РОЗРАХУНКОВІ МІНІМАЛЬНІ						РОЗРАХУНКОВІ МАКСИМАЛЬНІ					
183	T=	20	50	100	150	200		20	50	100	150	200	
184		-2	-16,7	-17,5	-18,1	-18,4		30,4	30,9	31,2	31,4	31,6	
185		0	-19,4	-20,3	-21,0	-21,3		53,2	54,2	55,0	55,4	55,7	
186		0,2	-7,3	-7,8	-8,2	-8,4		27,6	28,0	28,3	28,4	28,5	
187		0,4	-5,0	-5,6	-6,1	-6,3		24,0	24,3	24,5	24,6	24,7	
188		0,8	-2,9	-3,4	-3,8	-4,0		20,8	21,0	21,2	21,3	21,3	
189		1,2	-0,2	-0,6	-0,8	-0,9		18,3	18,5	18,6	18,7	18,7	
190		1,6	1,5	1,2	1,0	0,9		16,3	16,4	16,5	16,5	16,6	
191		2,4	4,1	4,0	3,9	3,8		14,5	14,6	14,7	14,8	14,8	
192		3,2	6,1	6,0	5,9	5,8		12,9	13,0	13,0	13,1	13,1	

Рис. 4.2 – Результати обчислення розрахункових значень температури

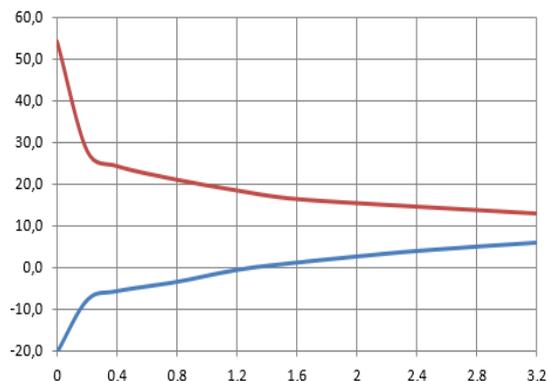


Рис. 4.3 – Характеристичні значення температури на глибині

Залежності отриманих розрахункових температур ґрунту від їх середнього періоду повторюваності зображені на рисунках 4.4 і 4.5. Якщо розрахункові значення температури на глибині 0,2 м помітно змінюються залежно від періоду повторюваності, то з ростом глибини ці зміни зменшуються. На глибині 3,2 м розрахункові значення температури практично не залежать від періоду повторюваності, що також свідчить про стабілізацію температур ґрунту на великій глибині.

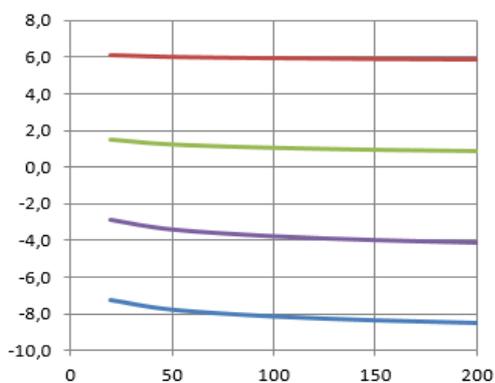


Рис. 4.4 – Зміни розрахункових значень мінімальних температур

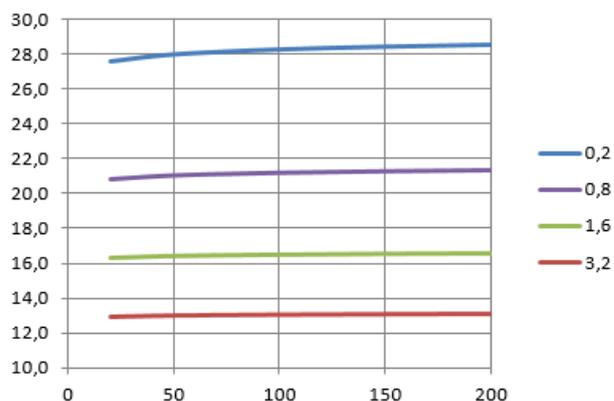


Рис. 4.5 – Зміни розрахункових значень максимальних температур

Розроблена методика дозволяє встановити розрахункові температури для усіх 12 обраних метеостанцій, а також проаналізувати й узагальнити закономірності змін температури у глибині ґрунтових масивів в межах території України.

## 4.2 Результати оцінювання розрахункових значень температури ґрунту

За методикою, описаною у попередньому підрозділі, для всіх 12 метеостанцій обчислені розрахункові значення теплої та холодної температури повітря та ґрунту на всіх глибинах, які розглядалися вище. Виходячи з можливих термінів експлуатації постійних будівель та споруд, які встановлені в нормах [23], для обчислень розрахункових температур прийняті періоди повторюваності  $T = 20, 50, 100, 150, 200$  років. Результати виконаних обчислень викладені в таблицях 4.1...4.12.

Таблиця 4.1

Розрахункові значення температур в Ново-Миргороді

Гли- бина	Мінімальні при $T=$					Максимальні при $T=$				
	20	50	100	150	200	20	50	100	150	200
Пов	-16,7	-17,5	-18,1	-18,4	-18,7	30,4	30,9	31,2	31,4	31,6
0,0	-19,4	-20,3	-21,0	-21,3	-21,6	53,2	54,2	55,0	55,4	55,7
0,2	-7,3	-7,8	-8,2	-8,4	-8,5	27,6	28,0	28,3	28,4	28,5
0,4	-5,0	-5,6	-6,1	-6,3	-6,5	24,0	24,3	24,5	24,6	24,7
0,8	-2,9	-3,4	-3,8	-4,0	-4,1	20,8	21,0	21,2	21,3	21,3
1,2	-0,2	-0,6	-0,8	-0,9	-1,0	18,3	18,5	18,6	18,7	18,7
1,6	1,5	1,2	1,0	0,9	0,9	16,3	16,4	16,5	16,5	16,6
2,4	4,1	4,0	3,9	3,8	3,8	14,5	14,6	14,7	14,8	14,8
3,2	6,1	6,0	5,9	5,9	5,8	12,9	13,0	13,0	13,1	13,1

Таблиця 4.2

Розрахункові значення температур в Ковелі

Гли- бина	Мінімальні при $T=$					Максимальні при $T=$				
	20	50	100	150	200	20	50	100	150	200
Пов	-18,1	-19,1	-19,8	-20,2	-20,5	27,7	28,1	28,4	28,6	28,7
0,0	-23,1	-24,3	-25,2	-25,7	-26,1	50,6	51,5	52,1	52,4	52,6
0,2	-7,5	-8,0	-8,3	-8,5	-8,7	29,6	30,1	30,4	30,6	30,7
0,4	-1,6	-1,8	-1,9	-2,0	-2,0	25,0	25,3	25,5	25,7	25,7
0,8	-0,7	-1,0	-1,2	-1,3	-1,3	21,4	21,7	21,8	21,9	22,0
1,2										
1,6	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	18,7	18,8	18,9	18,9	18,9
2,4										
3,2										

## Розрахункові значення температур на Артемівську

Гли- бина	Мінімальні при T=					Максимальні при T=				
	20	50	100	150	200	20	50	100	150	200
Пов	-17,2	-18,0	-18,6	-18,9	-19,1	31,6	31,9	32,2	32,3	32,5
0,0	-20,0	-21,0	-21,6	-22,0	-22,3	56,9	57,7	58,3	58,6	58,8
0,2	-6,8	-7,2	-7,4	-7,6	-7,7	29,3	29,7	29,9	30,1	30,2
0,4	-3,5	-3,8	-4,0	-4,1	-4,2	25,1	25,3	25,5	25,5	25,6
0,8	-0,8	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6	20,6	20,7	20,8	20,9	20,9
1,2	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	18,3	18,4	18,5	18,5	18,6
1,6	2,6	2,5	2,4	2,3	2,3	17,3	17,4	17,5	17,6	17,6
2,4	4,3	4,2	4,2	4,1	4,1	15,1	15,2	15,2	15,2	15,2
3,2	5,8	5,7	5,7	5,6	5,6	13,8	13,9	13,9	13,9	13,9

Таблиця 4.4

## Розрахункові значення температур у Новоград-Волинському

Гли- бина	Мінімальні при T=					Максимальні при T=				
	20	50	100	150	200	20	50	100	150	200
Пов	-16,6	-17,6	-18,3	-18,6	-18,9	28,4	28,9	29,2	29,4	29,5
0,0	-21,0	-22,1	-22,9	-23,3	-23,7	50,6	51,9	52,8	53,4	53,7
0,2	-2,2	-2,4	-2,5	-2,6	-2,6	27,8	28,3	28,6	28,8	28,9
0,4	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0	-1,0	22,5	22,8	23,0	23,1	23,2
0,8	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	19,7	20,0	20,2	20,3	20,3
1,2										
1,6	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	15,4	15,4	15,5	15,5	15,5
2,4										
3,2	2,2	1,9	1,8	1,7	1,6	14,1	14,2	14,4	14,5	14,5

Таблиця 4.5

## Розрахункові значення температур у Міжгір'ї

Гли- бина	Мінімальні при T=					Максимальні при T=				
	20	50	100	150	200	20	50	100	150	200
Пов	-15,6	-16,4	-17,0	-17,3	-17,6	27,3	27,7	28,0	28,2	28,3
0,0	-18,4	-19,3	-20,0	-20,4	-20,7	37,8	38,5	39,0	39,2	39,4
0,2	-10,1	-1,3	-1,6	-1,7	-1,8	23,3	23,4	23,6	23,7	23,7
0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	-0,03	22,4	22,7	22,9	23,0	23,1
0,8	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	18,3	18,4	18,5	18,5	18,5
1,2										
1,6	3,7	3,6	3,5	3,5	3,5	15,5	15,6	15,6	15,6	15,6
2,4										
3,2										

Таблиця 4.6

## Розрахункові значення температур в Луганську

Гли- бина	Мінімальні при T=					Максимальні при T=				
	20	50	100	150	200	20	50	100	150	200
Пов	-17,1	-17,9	-18,5	-18,9	-19,1	32,2	32,6	32,9	33,0	33,1
0,0	-18,4	-19,2	-19,8	-20,1	-20,4	57,4	58,4	59,1	59,5	59,8
0,2	-9,4	-9,9	-10,3	-10,6	-10,7	33,3	33,9	34,3	34,6	34,7
0,4	-5,2	-5,5	-5,8	-5,9	-6,0	29,4	29,9	30,3	30,5	30,6
0,8	-1,7	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	24,3	24,7	24,9	25,1	25,2
1,2	-0,1	-0,3	-0,6	-0,7	-0,8	21,6	21,8	22,0	22,1	22,2
1,6	2,0	1,8	1,7	1,6	1,6	19,6	19,8	19,9	20,0	20,0
2,4	4,8	4,7	4,6	4,5	4,4	17,1	17,3	17,4	17,4	17,5
3,2	6,2	6,1	6,0	6,0	6,0	15,2	15,3	15,4	15,5	15,5

Таблиця 4.7

## Розрахункові значення температур в Одесі

Гли- бина	Мінімальні при T=					Максимальні при T=				
	20	50	100	150	200	20	50	100	150	200
Пов	-8,6	-9,1	-9,4	-9,6	-9,8	29,9	30,3	30,6	30,8	30,9
0,0	-9,0	-9,4	-9,7	-9,8	-9,9	56,1	56,8	57,3	57,6	57,8
0,2	-4,5	-5,0	-5,4	-5,6	-5,8	30,0	30,2	30,4	30,5	30,6
0,4	-3,4	-3,9	-4,2	-4,4	-4,6	27,2	27,4	27,6	27,7	27,7
0,8	-1,1	-1,5	-1,8	-1,9	-2,0	24,5	24,7	24,8	24,9	25,0
1,2	1,0	0,7	0,5	0,4	0,3	22,9	23,1	23,3	23,4	23,4
1,6	1,1	-0,03	-0,8	-1,2	-1,6	21,5	21,6	21,8	21,8	21,9
3,2	7,2	7,1	7,0	6,9	6,9	17,1	17,2	17,3	17,3	17,4

Таблиця 4.8

## Розрахункові значення температур у Полтаві

Гли- бина	Мінімальні при T=					Максимальні при T=				
	20	50	100	150	200	20	50	100	150	200
Пов	-17,4	-18,3	-18,9	-19,3	-19,6	29,7	30,1	30,4	30,6	30,7
0,0	-21,5	-22,5	-23,2	-23,6	-23,9	52,7	53,7	54,5	54,9	55,2
0,2	-9,5	-10,1	-10,5	-10,7	-10,9	28,3	28,7	29,1	29,3	29,4
0,4	-5,4	-5,8	-6,1	-6,3	-6,4	24,4	24,7	24,9	25,1	25,2
0,8	-3,0	-3,5	-3,8	-4,0	-4,2	21,3	21,4	21,6	21,7	21,7
1,2	-0,6	-1,0	-1,2	-1,3	-1,4	18,5	18,7	18,8	18,8	18,8
1,6	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	17,2	17,3	17,3	17,4	17,4
2,4	3,7	3,6	3,5	3,4	3,4	15,1	15,2	15,3	15,3	15,3
3,2	4,4	4,3	4,2	4,2	4,2	13,9	14,0	14,1	14,1	14,1

## Розрахункові значення температур у Бережанах

Гли- бина	Мінімальні при T=					Максимальні при T=				
	20	50	100	150	200	20	50	100	150	200
Пов	-16,8	-17,8	-18,5	-18,9	-19,2	27,0	27,4	27,7	27,9	28,0
0,0	-19,6	-20,7	-21,5	-21,9	-22,2	45,1	45,9	46,5	46,8	47,1
0,2	-6,1	-6,5	-6,7	-6,9	-7,0	26,2	26,6	26,8	27,0	27,1
0,4	-2,6	-3,0	-3,3	-3,5	-3,6	22,6	22,8	23,0	23,1	23,1
0,8	-1,4	-1,8	-2,1	-2,3	-2,4	19,5	19,6	19,8	19,9	19,9
1,2	-0,02	-0,4	-0,6	-0,7	-0,8	17,7	17,8	17,9	18,0	18,0
1,6	0,9	0,6	0,4	0,3	0,2	16,0	16,1	16,2	16,3	16,3
2,4	3,5	3,4	3,3	3,2	3,2	14,4	14,6	14,6	14,7	14,7
3,2	4,6	4,5	4,4	4,4	4,3	13,0	13,1	13,2	13,2	13,3

Таблиця 4.10

## Розрахункові значення температур в Херсоні

Гли- бина	Мінімальні при T=					Максимальні при T=				
	20	50	100	150	200	20	50	100	150	200
Пов	-11,4	-12,0	-12,4	-12,7	-12,8	32,5	32,9	33,2	33,4	33,5
0,0	-13,1	-13,7	-14,2	-14,4	-14,6	56,7	57,4	57,9	58,1	58,3
0,2	-6,1	-6,5	-6,8	-7,0	-7,1	31,8	32,2	32,4	32,6	32,7
0,4	-2,5	-2,8	-3,0	-3,1	-3,1	26,8	27,1	27,3	27,4	27,5
0,8	-0,6	-0,9	-1,1	-1,2	-1,3	23,5	23,7	23,9	24,0	24,1
1,2	0,5	0,2	-0,03	-0,2	-0,3	22,2	22,5	22,7	22,8	22,8
1,6	2,0	1,7	1,5	1,4	1,3	20,8	20,9	21,1	21,2	21,2
2,4	4,4	4,2	4,1	4,0	4,0	18,4	18,5	18,6	18,7	18,7
3,2	6,1	6,0	5,9	5,8	5,8	17,1	17,2	17,3	17,4	17,4

Таблиця 4.11

## Розрахункові значення температур в Чернігові

Гли- бина	Мінімальні при T=					Максимальні при T=				
	20	50	100	150	200	20	50	100	150	200
Пов	-20,3	-21,3	-22,1	-22,5	-22,8	28,4	28,7	29,0	29,1	29,2
0,0	-26,3	-27,6	-28,5	-29,0	-29,4	46,4	47,2	47,7	48,0	48,2
0,2	-1,6	-1,7	-1,9	-2,0	-2,0	25,8	26,1	26,3	26,5	26,6
0,4	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	23,0	23,2	23,3	23,4	23,5
0,8	-0,4	-0,7	-0,9	-1,0	-1,1	20,5	20,6	20,7	20,8	20,9
1,2										
1,6	-0,9	-1,0	-1,0	-1,1	-1,1	17,7	17,8	17,9	17,9	17,9
3,2	4,2	4,1	4,1	4,1	4,1	14,8	14,9	15,0	15,1	15,1

## Розрахункові значення температур в Керчі

Гли- бина	Мінімальні при T=					Максимальні при T=				
	20	50	100	150	200	20	50	100	150	200
Пов	-8,1	-8,6	-8,9	-9,1	-9,3	30,8	31,2	31,4	31,5	31,6
0,0	-8,7	-9,1	-9,4	-9,6	-9,7	53,9	54,7	55,2	55,5	55,7
0,2	-1,6	-1,8	-2,0	-2,0	-2,1	31,5	31,9	32,2	32,3	32,4
0,4	-0,7	-0,9	-1,1	-1,2	-1,2	28,5	28,8	29,0	29,2	29,2
0,8	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	24,5	24,6	24,8	24,8	24,9
1,2										
1,6	4,5	4,4	4,3	4,2	4,2	21,3	21,4	21,5	21,5	21,6
2,4										
3,2	8,0	7,9	7,8	7,8	7,8	17,0	17,1	17,1	17,2	17,2

Кожна з таблиць 4.1-4.12 містить мінімальні і максимальні розрахункові температури при періодах повторюваності 20...200 років на усіх досліджених глибинах. Перший рядок – температура повітря, 2 рядок – температура поверхні ґрунту, далі наведені температури на глибинах від 0.2 м до 3.2 м. Незаповнені комірки відповідають відсутнім значенням результатів вимірювання в базі даних.

Загалом можна сказати, що екстремуми температури повітря змінюються по території України; з ростом періоду повторюваності максимальні температури зростають, а мінімальні значення температур зростають за абсолютною величиною. З ростом глибини мінімальні розрахункові температури зростають з '-' на '+', а максимальні зменшуються, подібно максимальним і мінімальним значенням температур з попереднього розділу. Різко виділяється температура повітря та поверхні ґрунту. На усіх метеостанціях спостерігається різкий перепад температур від температури поверхні ґрунту до температури на глибині 0.2 м, аналогічно виявленому в попередньому розділі. Отримані дані дозволяють проаналізувати територіальну мінливість мінімальних і максимальних розрахункових значень температур по

території України, а також проаналізувати залежності цих температур від періоду повторюваності та глибини.

### 4.3 Залежності розрахункових температур від періоду повторюваності

З таблиць 4.1 - 4.12 видно, що на всіх глибинах розрахункові температури ґрунту, починаючи з глибини 0.4 м, практично на залежать від періоду повторюваності. В якості прикладу на рисунках 4.6 – 4.9 наведені графіки залежності розрахункових температур від періоду повторюваності в Ново-Миргороді.

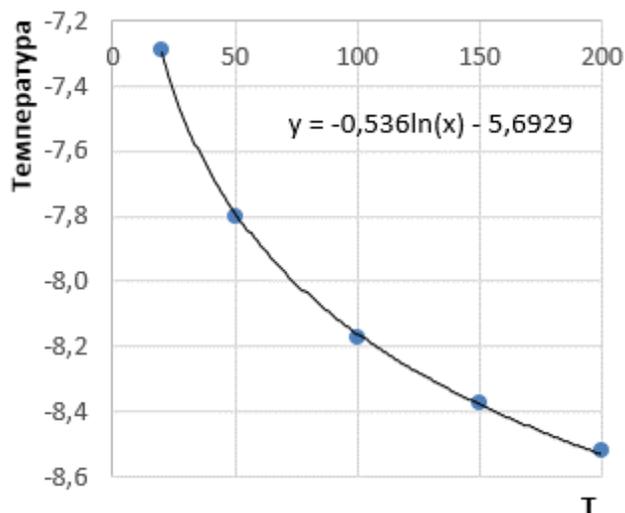


Рис. 4.6 – Залежність мінімальної температури від періоду повторюваності на глибині 0,2 м.

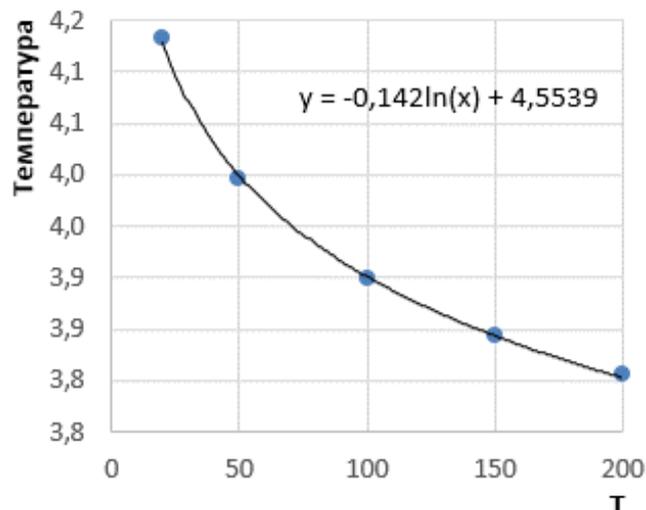


Рис. 4.7 – Залежність мінімальної температури від періоду повторюваності на глибині 2,4 м.

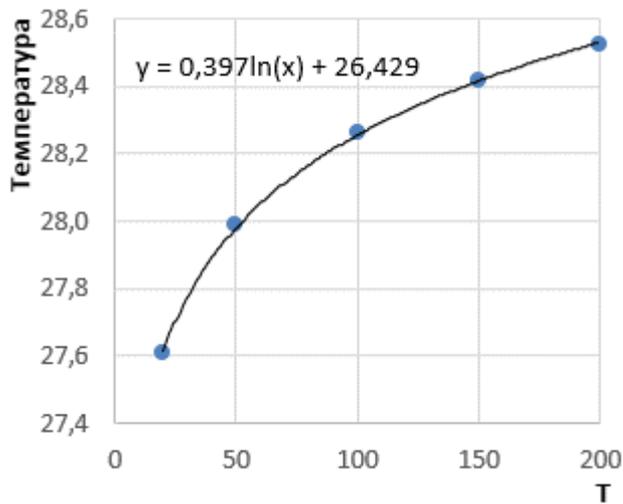


Рис. 4.8 – Залежність максимальної температури від періода повторюваності на глибині 0,2 м.

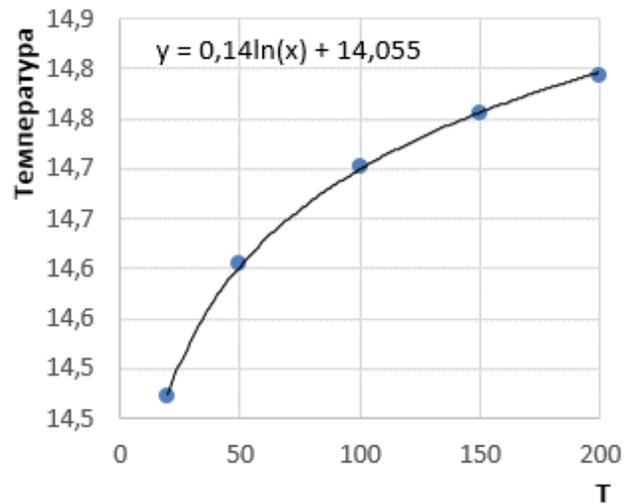


Рис. 4.9 – Залежність максимальної температури від періода повторюваності на глибині 2,4 м.

З рисунків видно, що при зміні періоду повторюваності розрахункові значення температури ґрунту змінюється не більше, ніж на 2°C. Характер цих залежностей цілком відповідає відомій залежності розрахункових значень кліматичних навантажень (наприклад сніг, вітер) від періоду повторюваності, яка добре описується логарифмічним рівнянням типу  $Y = A \ln(X) + B$ .

На рисунках 4.6 – 4.9 зображені залежності розрахункових значень від періоду повторюваності для двох різних глибин. Наведені також лінії тренду, збудовані в середовищі Excel у вигляді логарифмічної залежності. З рисунків видно, що експериментальні залежності обчислених розрахункових значень від періоду повторюваності дуже точно описується логарифмічними формулами. Не дивлячись на можливість використання логарифмічної залежності, встановлювати залежності розрахункових температур від періоду повторюваності недоцільно, бо зміни температур є невеликими. На глибині 0,2 м. зміни цих температур відчутні, а на більших глибинах температури міняються в межах 1°C. Тому пропонується описані залежності від періоду повторюваності не враховувати, а в якості єдиного розрахункового значення прийняти температуру, яка відповідає періоду повторюваності 100 років. Ця температура досить близька до максимальної температури і відповідає

найбільшому строковій службі експлуатації будівель і споруд встановлених в ДБН В.1.2-2:2006 [2]: 100 років для житлових і громадських будівель та 120 років для тунелів та гребель. Далі аналізуються мінімальні та максимальні розрахункові температури з єдиним періодом повторюваності 100 років.

#### 4.4 Залежність розрахункових температур від глибини

З глибиною температури стабілізуються, тому мінімальна температура стає вищою (теплішою), а максимальна температура стає меншою (холоднішею). На прикладі м. Ново-Миргород на рисунках 4.10...4.11 показані залежності розрахункових температур від глибини для всіх періодів повторюваності. Графіки дуже близькі між собою внаслідок слабкої залежності від періоду повторюваності. Наведені графіки мають експоненціальний характер, але з різким переломом від температури поверхні ґрунту до температури на глибині 0,2 м.

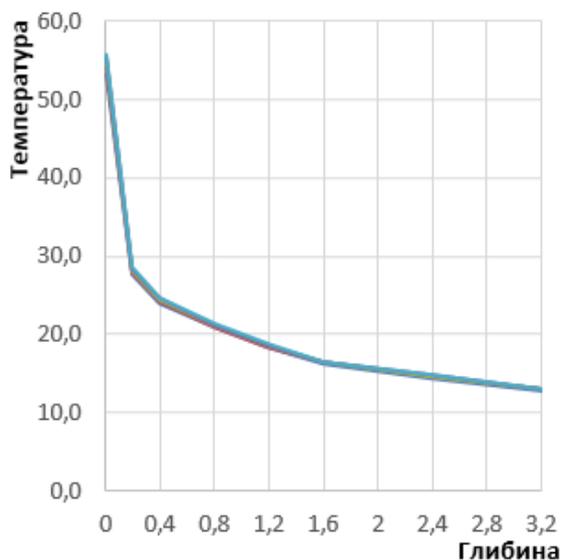


Рис. 4.10 – Залежність максимальної температури від глибини для всіх періодів повторюваності

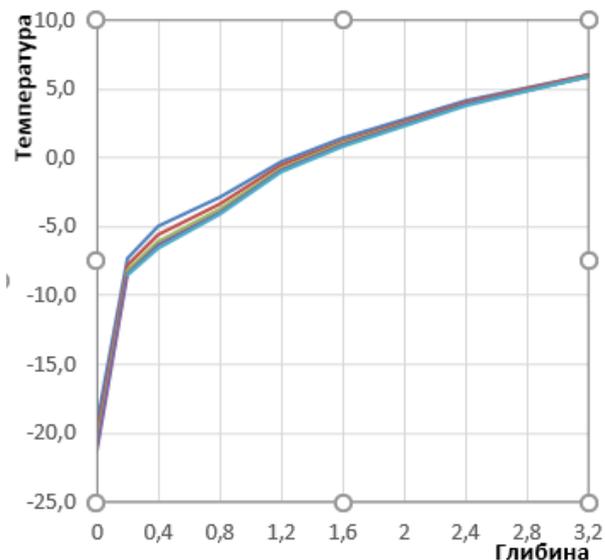


Рис. 4.11 – Залежність мінімальної температури від глибини для всіх періодів повторюваності

Залежністю розрахункових температур від глибини для усіх 12 метеостанцій аналізувалися, як сказано вище, при періоді повторюваності  $T = 100$  років. Порядок аналізу для прикладу показано в таблиці 4.13 для м. Ново-Миргород і в таблиці 4.14 – для м. Херсон.

Таблиця 4.13

Порядок аналізу температур на метеостанції Ново-Миргород

	<b>Sum</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
	1,437	-21,8	-0,40	18,68	-0,92	12,2
<b>Глиб.</b>	<b>Фактичні</b>		<b>Формула</b>		<b>Відхилення</b>	
	мін.	макс.	мін.	макс.	мін.	макс.
0	-21,0	55,0	-9,56	30,89		
0,2	-8,2	28,3	-7,88	27,78	0,3	-0,5
0,4	-6,1	24,5	-6,31	25,18	-0,2	0,7
0,8	-3,8	21,2	-3,54	21,21	0,2	0,0
1,2	-0,8	18,6	-1,18	18,45	-0,4	-0,1
1,6	1,0	16,5	0,822	16,54	-0,2	0,1
2,4	3,9	14,7	3,977	14,3	0,1	-0,4
3,2	5,9	13,0	6,259	13,22	0,3	0,2

Вибірка фактичних значень обиралась із попередніх таблиць 4.1...4.10. Аналогічні таблиці по типу 4.13 і 4.14 сформовані для усіх 12-ти метеостанцій. За ними побудовані графіки залежності мінімальної та максимальної розрахункової температури від глибини, які для метеостанцій Ново-Миргород і Херсон наведені на рисунках 4.12 і 4.13.

Таблиця 4.14

Порядок аналізу температур на метеостанції Херсон

	<b>Sum</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
	9,926	-23,4	-0,24	17,6	-1,09	17,2
<b>Глиб.</b>	<b>Фактичні</b>		<b>Формула</b>		<b>Відхилення</b>	
	мін.	макс.	мін.	макс.	мін.	макс.
0	-14,2	57,9	-6,19	34,85		
0,2	-6,8	32,4	-5,08	31,4	1,7	-1,0
0,4	-3,0	27,3	-4,01	28,62	-1,1	1,3

0,8	-1,1	23,9	-2,04	24,6	-0,9	0,7
1,2	0,0	22,7	-0,24	22	-0,2	-0,7
1,6	1,5	21,1	1,384	20,32	-0,2	-0,8
2,4	4,1	18,6	4,197	18,53	0,1	-0,1
3,2	5,9	17,3	6,512	17,78	0,6	0,5

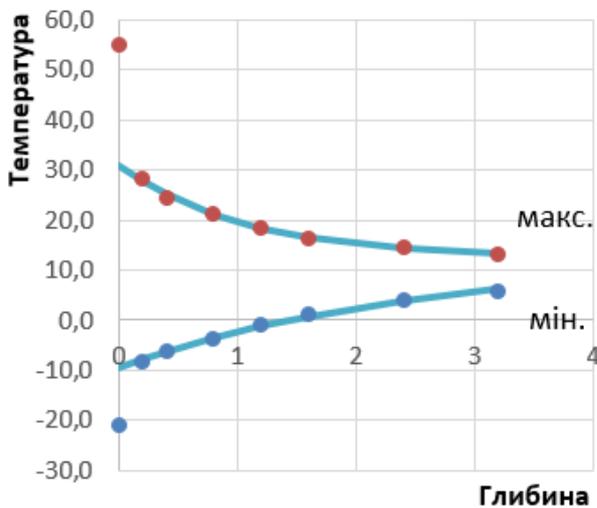


Рис. 4.12 – Залежність від глибини мінімальної та максимальної розрахункових температури метеостанції Ново-Миргород

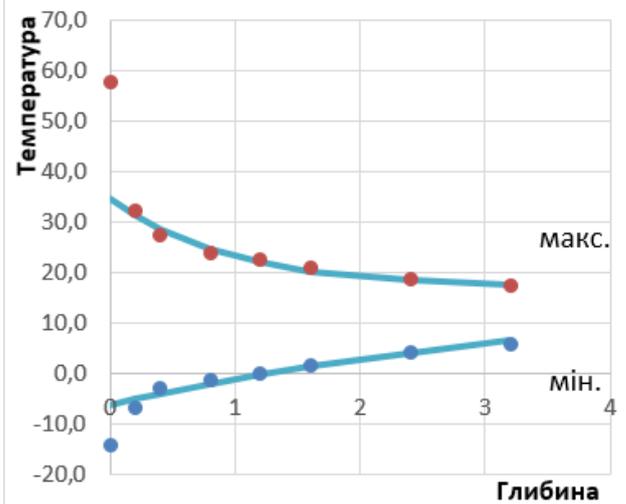


Рис. 4.13 – Залежність від глибини мінімальної та максимальної розрахункових температур метеостанції Херсон

Якщо не враховувати температуру на поверхні ґрунту, то ці залежності мають експотенціальний характер, і з ростом глибини асимптотично наближаються приблизно до  $+10^{\circ}\text{C}$ . Аналогічно. є виявлена раніше поведінка середніх температур.

Для того щоб і максимальна і мінімальна температура асимптотично наближалася до одного й того ж значення, будемо описувати їх такими формулами 4.7 для мінімуму та 4.8 для максимуму

$$t_{min} = Ae^{Bh} + E \quad (4.7)$$

$$t_{max} = Ce^{Dh} + E \quad (4.8)$$

Пошук параметрів A, B, C, D, E виконуємо в середовищі Excel шляхом використання функції ”пошук рішення“ для цього ці значення параметрів температур записані в 2 рядку в таблицях 4.13, 4.14. В першій комірці записано

цільова функція, рівна сумі квадратів відхилень температур, розрахованих за формулами (4.7) і (4.8) від фактичних розрахункових значень. Столпчик В і С для мінімальних і максимальних температур порашований по формулах 4.7 і 4.8. В столпчику "глибина" записані глибини вимірювання в метрах. Відхилення – це різниця столпчиків А і С.

Цільова функція дорівнює сумі квадратів усіх відхилень і максимальної і мінімальної температур разом починаючи з глибини 0,2 м. Виходить, що цільова функція мінімізується одночасно для обох формул, таким чином ми забезпечуємо одне й те саме значення Е, до якого асимптотично наближаються ці функції як показано на рисунках 4.12, 4.13. Наприклад для метеостанції Ново-Миргород реально отримали такі формули:

$$t_{min} = -21,8e^{-0,40h} + 12,2 \quad (4.9)$$

$$t_{max} = 18,7e^{-0,92h} + 12,2 \quad (4.10)$$

Із графіків 4.12, 4.13 видно, що суцільна лінія, яка відповідає цим формулам, досить добре описує дослідні дані з глибини 0,2 м. На поверхні ґрунту спостерігається виявлений раніше скачок температури. Візуально здається, що апроксимуючі лінії наближаються до 10°C, але при обчисленні отримане значення Е = 12,2°C. Це пояснюється тим, що плюсова температура змінюється різкіше, ніж мінусова.

Таким же чином виконані обчислення для всіх 12 метеостанцій і сформована зведена таблиця 4.15. В цій таблиці наведені фактичні значення на поверхні ґрунту (2 і 3 столпчик), фактичні значення на глибині 0,2 м (4 і 5 столпчик) та коефіцієнти А, В, С, D, Е, які були отримані в середовищі Excel з таблиць, схожих на 4.13, 4.14. Також підраховані й наведені в трьох останніх рядках мінімальні, максимальні та середні значення усіх параметрів по 11 метеостанціям. Не врахована метеостанція Міжгір'я, дані якої різко виділяються тому, що вона знаходиться гірській місцевості. Ці коефіцієнти формул (4.7) і (4.8) мають досить великий розкид по території України. В усіх випадках

коефіцієнт В отриманий меншим, ніж коефіцієнт D, тобто плюсова температура швидше спадає, ніж мінусова зростає.

Спроба встановити залежності між мінімальною та максимальною температурами на поверхні ґрунту і на глибині 0,2 м показав, що такі залежності практично не існують. Це не дозволяє узагальнити зміни по глибині залежно від якихось територіальних параметрів, що піддаються районуванню, наприклад – від розрахункової температури на поверхні ґрунту, для якої можна розробити карту районування. Такий перехід встановити не вдалося і тому рекомендується використовувати для проаналізованих метеостанцій дані з таблиці 4.15. Глибина, на якій мінімальні та максимальні температури наближаються до однакового асимптотичного значення, обчислена в таблиці 4.16. З аналізу рівнянь (4.7) і (4.8) з відповідними параметрами з таблиці 4.15 знайдені значення глибини стабілізації температури ґрунту, на якій різниця між мінімальною та максимальною температурами складає від 20% до 3%.

Таблиця 4.15

Зведена таблиця для всіх 12 метеостанцій

	Поверхня ґрунту		Глибина 0,2 м		А	В	С	D	Е
Ново-Миргород	-21,0	55,0	-8,2	28,3	-21,8	-0,40	18,7	-0,92	12,2
Ковель	-25,2	52,1	-8,3	30,4	-25,4	-0,25	18,5	-2,27	18,5
Артемівськ	-21,6	58,3	-7,4	29,9	-21,0	-0,35	19,8	-1,20	13,8
Новоград-Волинський	-22,9	52,8	-2,5	28,6	-16,1	-0,09	19,3	-1,70	14,4
Міжгір'я	-20,0	39,0	-1,6	23,6	-7,9	-1,63	21,2	-0,41	4,2
Луганськ	-19,8	59,1	-10,3	34,3	-24,3	-0,40	23,7	-0,90	14,1
Одеса	-9,7	57,3	-5,4	30,4	-22,1	-0,27	16,3	-0,66	15,6
Полтава	-23,2	54,5	-10,5	29,1	-23,5	-0,36	18,6	-0,98	13,2
Бережани	-21,5	46,5	-6,7	26,8	-19,4	-0,28	16,4	-1,05	13,0
Херсон	-14,2	57,9	-6,8	32,4	-23,4	-0,24	17,6	-1,09	17,2
Чернігів	-28,5	47,7	-1,9	26,3	-17,4	-0,13	13,8	-1,01	14,7
Керч	-9,4	55,2	-2,0	32,2	-19,1	-0,27	18,6	-0,89	16,2
<b>Мінімум</b>	<b>-28,5</b>	<b>46,5</b>	<b>-10,5</b>	<b>26,3</b>	<b>-25,4</b>	<b>-0,40</b>	<b>13,8</b>	<b>-2,27</b>	<b>12,2</b>
<b>Максимум</b>	<b>-9,4</b>	<b>59,1</b>	<b>-1,9</b>	<b>34,3</b>	<b>-16,1</b>	<b>-0,09</b>	<b>23,7</b>	<b>-0,66</b>	<b>18,5</b>
<b>Середнє</b>	<b>-19,7</b>	<b>54,2</b>	<b>-6,4</b>	<b>29,9</b>	<b>-21,2</b>	<b>-0,28</b>	<b>18,3</b>	<b>-1,15</b>	<b>14,8</b>

## Глибина стабілізації температури ґрунту

Метеостанції	20%	10%	5%	3%
Ново-Миргород	5,50	7,16	8,848	10,10
Ковель	7,58	10,31	13,03	15,04
Артемівськ	5,86	7,84	9,837	11,31
Новоград-Волинський	18,18	25,49	32,79	38,17
Міжгір'я	7,34	9,32	11,14	12,43
Луганськ	5,47	7,13	8,813	10,07
Одеса	7,42	9,94	12,5	14,40
Полтава	6,05	7,93	9,818	11,22
Бережани	7,21	9,69	12,17	14,00
Херсон	7,86	10,69	13,53	15,63
Чернігів	13,69	19,03	24,37	28,30
Керч	6,61	9,15	11,71	13,60

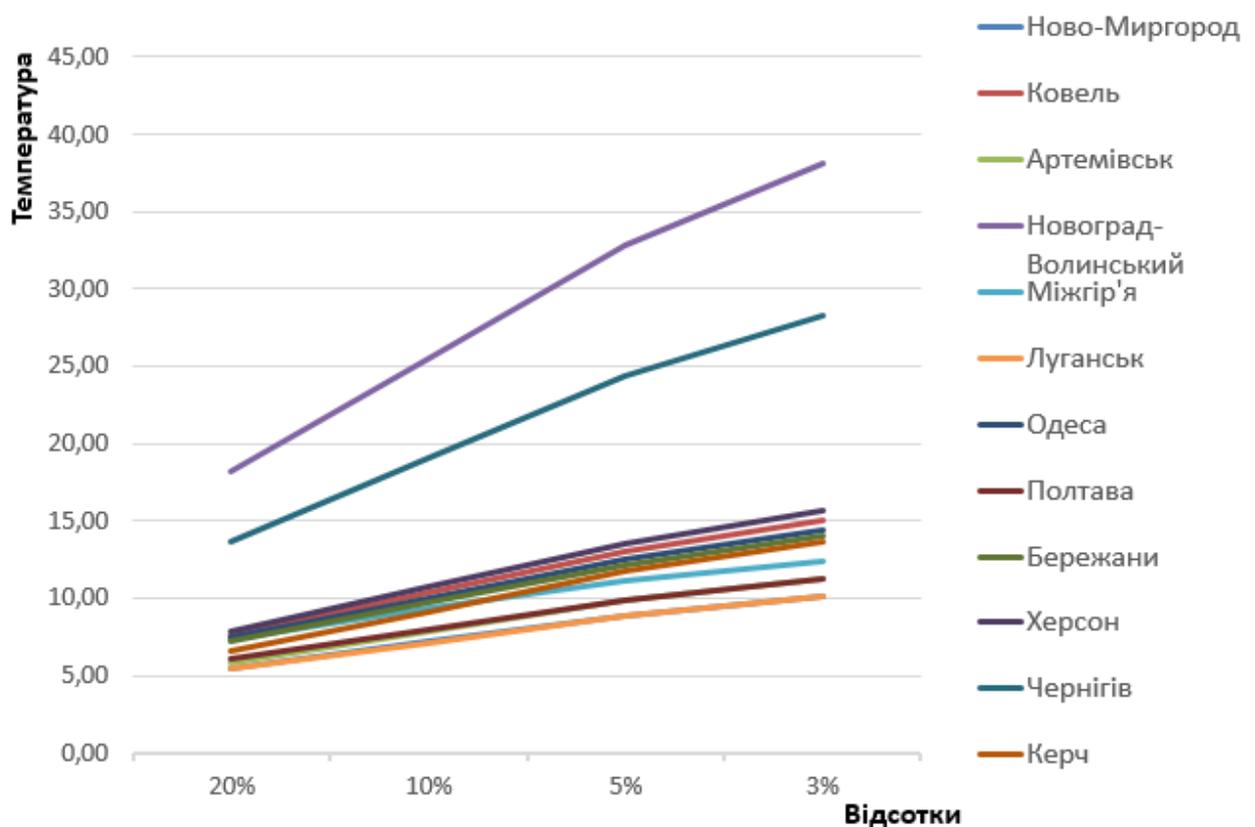


Рис. 4.14 – Залежність глибини стабілізації температури ґрунту від заданої різниці максимальної та мінімальної температури

За даними таблиці 4.16 побудований графік 4.14 залежності глибини стабілізації температури від заданих відсотків відхилення для 12-ти метеостанцій. З таблиці 4.16 та графіка 4.14 видно, що на більшості метеостанцій температура ґрунту стабілізується з точністю 10% на глибині 7...12 м, а з точністю 3% - на глибині 10...16 м.

Особливо виділяються міста Новоград Волинський та Чернігів, для яких глибина стабілізації є значно більшою. Це може бути пояснено більшими сезонними перепадами температур повітря й поверхні ґрунту (літо – зима) на північних метеостанціях, а також можливо – більшою теплопровідністю ґрунтів (наприклад – скельні масиви), які краще передають коливання температури з поверхні в глибину ґрунтового масиву.

#### **4.5 Приклад використання результатів дослідження**

В будівлях часто використовуються підземні поверхи для розміщення приміщень різного призначення. В якості прикладу розглянемо підземний поверх з приміщенням торговельного призначення в якому потрібно витримувати температуру повітря 20°C, для цього необхідно виконати теплоізоляцію стін підвалу.

Вважаємо, що тепла ізоляція виконується пінобетонними блоками або плитами розміщеними з зовнішньої сторони стін, при звичайному проектуванні в якості розрахункові температури приймаємо середнє значення між температурою поверхні ґрунту та температурою на глибині 20 см, яка є достатньо досліджена і може бути визначена за довідниковою літературою. Для умов міста Кропивницький отримуємо найнижчу температуру на поверхні ґрунту -0,1°C з таблиці 3.3, та розрахункову температуру -21°C з таблиці 4.1 і розрахункову температуру на глибині 20 см -8,2°C з таблиці 4.1. Для розрахунку приймаємо середнє значення -14,6°C. Для уточненого варіанту при відомому

розподілі температури по глибині за даними таблиці 4.1 отримуємо, що на поверхні ґрунту температура дорівнює  $-9,6^{\circ}\text{C}$ , на глибині 1м температура  $-2,4^{\circ}\text{C}$ , на глибині 2м температура  $2,4^{\circ}\text{C}$ , на глибині 3м температура  $+5,6^{\circ}\text{C}$ . На ці розрахункові значення температури необхідно проектувати теплоізоляцію

Згідно з ДБН В.2.6-31:2021 [3] та ДСТУ 9191:2022 [22], опір теплопередачі стіни визначається за формулою:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_з} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{\delta_y}{\lambda_y} + \frac{1}{\alpha_в} \quad (5.1)$$

де  $\alpha_з, \alpha_в$  – коефіцієнти тепловіддачі і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$\lambda_c, \lambda_y$  – теплопровідність стіни та утеплювача в розрахункових умовах експлуатації,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

$\delta_c, \delta_y$  - товщина стіни та утеплювача

$\frac{1}{\alpha_з}$  – приймаємо рівним 0 тому, що там безпосередній контакт з ґрунтом і не має опору теплопередачі на зовнішню поверхню.

$\frac{1}{\alpha_в}$  – приймаємо 8.7, так як і при розрахунку звичайних стін.

Із цієї формули можна знайти необхідну товщину утеплювача:

$$\delta_y = \left( \frac{(t_в - t_з) R_в}{t_в - t_з} - \frac{\delta_c}{\lambda_c} - 0,115 \right) \cdot \lambda_y \quad (5.2)$$

Виконуємо розрахунки товщини утеплення за базовим варіантом і за варіантом змінної температури ґрунту 0, 1м, 2м, 3м, при цьому прийнято пінобетон марки D 500 для нього  $\lambda_y = 0,16 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ . Бетонні блоки товщиною 500 мм  $\lambda_y = 1,86 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ . З урахуванням цих даних виконані розрахунки, результати яких зведені в таблицю 5.1.

## Конфігурація варіантів утеплення

Варіант	Глибина	Зовнішня температура ґрунту	Товщина утеплення
Базовий	0-3м	-7,9°C	0,07 м
Новий	0-1м	-9,6	0,06 м
	1-2м	-2,4°C	0,03 м
	2-3м	2,4°C	0 м

За результатами теплотехнічних розрахунків отримуємо такі конструктивні рішення стіни рисунок 5.1

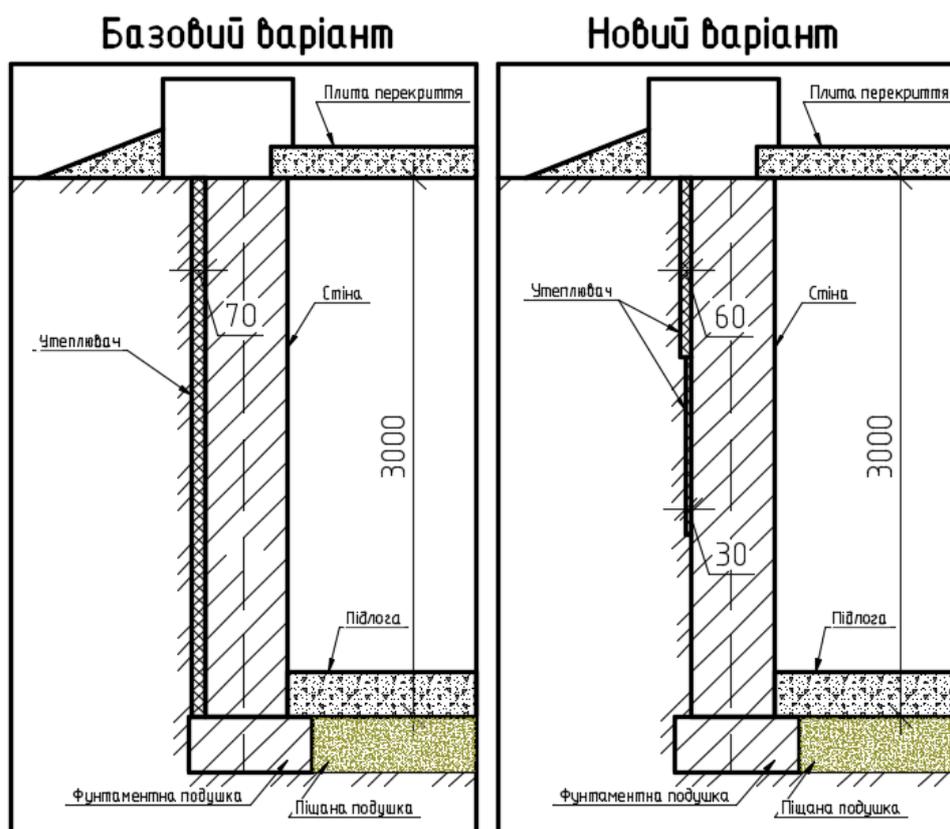


Рис. 5.1 – Конструктивні рішення стіни

Згідно з схемою на рисунку 5.1 розрахунки ведем на довжину 1м стіни розраховуємо для базового варіанту площа утеплення:

$$1 \cdot 3 = 3 \text{ м}^2$$

в новому варіанті:

$$1 \cdot 2 = 2 \text{ м}^2,$$

необхідний об'єм пінобетона базовий варіант:

$$3 \cdot 0,07 = 0,21 \text{ м}^3$$

в новому варіанті:

$$1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,03 = 0,09 \text{ м}^3,$$

Отже, використання уточнених значень температури ґрунті дозволило зменшити об'єм утеплювача з пінобетонних плит у 2,3 разу, що повинно дати значний економічний ефект при зведенні стін підвального приміщення.

## 4.6 Висновки з розділу

1. Розроблена й реалізована в середовищі Microsoft Excel чисельна методика визначення розрахункових значень температури ґрунту, яка враховує статистичні характеристики температур, а також задані періоди повторюваності розрахункових значень.

2. З ростом глибини мінімальні (холодні) розрахункові температури ґрунту зростають, а максимальні (теплі) зменшуються, наближаючись на великій глибині до температур  $+12\dots+18^{\circ}\text{C}$ .

3. Аналіз розрахункових температур для періодів повторюваності від 20...200 років та глибини 0,2...3,2 м показав, що на глибині понад 0,2 м їх різниця не перевищує  $1^{\circ}\text{C}$ . В зв'язку з цим прийняте рішення нормувати температуру ґрунту для єдиного періоду повторюваності 100 років, який відповідає найбільшим термінам експлуатації будівель.

4. Залежності температури від глибини понад 0,2 м, мають експонентноподібний характер, а між глибиною 0,2 м і поверхнею ґрунту спостерігаються різкий скачок. Залежності розрахункових мінімальних і максимальних температур від глибини 0,2 м і глибше описані експотенціальними функціями, які асимптотично наближаються до одного і того ж рівноважного значення температури.

5. Результати обчислень для 12 метеостанцій показали, що за винятком метеостанції Міжгір'я, яка розміщена в гірській місцевості і її дані сильно відрізняються від інших, коефіцієнти отриманих формул загалом близькі між собою і рівноважна температура ґрунту на великій глибині змінюється в основному від  $12^{\circ}\text{C}$  до  $18^{\circ}\text{C}$ .

6. Аналіз різниць між мінімальним та максимальним розрахунковими значеннями температури на різних глибинах показав, що температура ґрунту

стабілізується з точністю до 10% на глибині 7...12 м,  
а з точністю до 3% - на глибині 10...16 м.

7. Виконаний приклад проектування теплового захисту стін підвалу показав, що використання результатів виконаного дослідження температури ґрунту може дати істотний економічний ефект при проектуванні й зведенні заглиблених споруд.

## ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Виконані дослідження змін температури на різних глибинах ґрунтових масивів дозволяють зробити такі висновки:

1. Виконаний огляд літературних джерел показав, що температура ґрунту виявляє істотний вплив на підземні споруди, що належать до транспортної інфраструктури, та підтвердив необхідність дослідження й нормування температури ґрунтових масивів на різній глибині та в різних місцевостях.
2. Для дослідження температури повітря та ґрунту обрано 12 метеостанцій, розташованих у різних регіонах України на висоті від 42 м до 456 м над рівнем моря. Вибіркова мережа метеостанцій охоплює усю територію України, що дозволяє проаналізувати територіальну мінливість температури повітря та ґрунту.
3. В середовищі Microsoft Excel сформована електронна база даних, яка містить середньомісячні значення та стандарти середньої, мінімальної та максимальної температури повітря й ґрунту на глибинах від нуля до 3,2 м. Виражений річний хід та істотна територіальна мінливість температур спонукають до детального аналізу закономірностей зміни показників температурного режиму ґрунту на різних глибинах.
4. Розроблена методика статистичного аналізу метеорологічних даних, яка забезпечує аналіз мінливості статистичних характеристик температури ґрунту по глибині та по території України, а також нормування розрахункових значень температури ґрунту.
5. Середньомісячні температури ґрунту мають виражений річний хід та істотно залежать від глибини. На поверхні ґрунту найвища температура реалізується в липні, а найнижча в січні. З ростом глибини екстремуми температури зміщуються на більш пізні терміни, а середньомісячні температури для усіх місяців року зближуються між собою, асимптотично наближаючись до температури близько  $+10^{\circ}\text{C}$ . Стандарти середньомісячних температур ґрунту зменшуються з ростом глибини і не мають вираженого річного ходу.

6. Середньорічна температура ґрунту на глибинах понад 0,2 м, є практично незмінною і зростає з півночі на південь України. Закономірності зміни мінімумів і максимумів температури близькі до закономірностей зміни середньомісячних температур. Стандарти мінімальної і максимальної температури не мають вираженої річної та територіальної мінливості, але зменшуються з глибиною.
7. Мінімальні розрахункові значення температури ґрунту зростають, а максимальні - зменшуються з ростом глибини, наближаючись на великій глибині до температур +12...+18°C.
8. Розрахункові значення температури ґрунту на усіх глибинах мало залежать від періоду повторюваності в межах 20...200 років, що дозволило встановити єдині розрахункові значення, що відповідають періоду повторюваності 100 років.
9. Починаючи з глибини 0,2 м, залежності розрахункових температур від глибини описані експоненціальними функціями, які асимптотично наближаються до одного і того ж рівноважного значення температури, котре на різних метеостанціях змінюється від +12°C до +18°C. Температура ґрунту стабілізується з точністю до 10% на глибині 7...12 м, а з точністю до 3% – на глибині 10...16 м. Між глибиною 0,2 м і поверхнею ґрунту спостерігаються різкий скачок температур.
10. Виконаний приклад проектування теплової ізоляції стін підвального приміщення показав, що використання результатів виконаного дослідження температури ґрунту може дати істотний економічний ефект при проектуванні й зведенні заглиблених споруд транспортної інфраструктури.

## Література

1. Грунтознавство – Назаренко І.І., Польчина С.М. Нікорич В.А. – 2014р. м. Чернівці
2. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі змінами № 1 та № 2
3. ДБН В.2.6-31:2021. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. -К.: Мінбуд України, 2021.
4. С.Й. Цимбал Підземне будівництво: Навчальний посібник. –К.:КНУБА, 2004. -148с.
5. Технологія будівельного виробництва. Підручник для вузів / С.С. Атаєв, М.М. Данилов, Б.В. Прыкин та ін. «Стройиздат», 1984
6. Землеробство з основами грунтознавства і агрохімії / В. П. Гудзь, А. П. Лісовал В. О. Андрієнко, М. Ф. Рибак
7. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам Випуск 3 / В.С. Максимов, Н.І. Швень, Л.Г. Ковальська – 2011р. М. Київ
8. Кінаш Р.І. Температурний режим повітря і ґрунту в Україні. / Кінаш Р.І., Бурнаєв О.М./ Львів, 2001
9. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Навантаження та впливи. Мости та труби
10. Теплостійкість огорожувальних конструкцій [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://helpiks.org/3-15064.html>
11. Зовнішній клімат і мікроклімат будівлі [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://msk.edu.ua/s-k/downloads/bud\\_fiz/uk/tema4.pdf](http://msk.edu.ua/s-k/downloads/bud_fiz/uk/tema4.pdf)
12. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія
13. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування.
14. Рішення від 04.02.1980 № 125 Рішення КМР Про порядок виконання робіт по підземних спорудах та надземному інженерному обладнанню міста

- 15.Мінливість температури [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
<http://www.geograf.com.ua/meteorology/885-neperiodichni-zmini-temperaturi-povitrya-mizhdobova-minlivist-temperaturi>
- 16.Будівництво підземних споруд [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
[https://buduemo.com/ua/news/building\\_materials/construction-of-tunnels-and-underground-structures.html](https://buduemo.com/ua/news/building_materials/construction-of-tunnels-and-underground-structures.html)
- 17.ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення
- 18.ДБН А.3.2-2-2009 Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення (НПАОП 45.2-7.02-12)
- 19.ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель – К.: 2013 – 52 с.
- 20.Анапольская Л.Е. Метеорологические факторы теплового режима зданий /Л.Е. Анапольская, Л.С. Гандин. –Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 235 с.
- 21.Самедов А. М., Кравець В. Г. Будівництво міських підземних споруд. Київ : Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2011. 400 с.
22. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель
- 23.Вентцель Е.С. Теория ймовірності / Е.С. Вентцель. – М.: Физматгиз, 1969. – 564 с.
- 24.ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ
- 25.Карюк А.М. Метеорологічні дані для нормування впливу температури атмосферного повітря /А.М. Карюк Н.В.Пушкар, // Вісник державної

академії будівництва та архітектури. – Одеса: ТОВ ”Зовнішрекламсервіс”, 2011. –Вип. 41. – С. 267 – 271

- 26.Карюк А.М. Розрахункові значення температури повітря на території України / А.М. Карюк // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – Вип. 15. – С. 49 – 53.
- 27.Карюк А.М. Порівняльний аналіз розрахункових значень температури повітря / А.М. Карюк // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2011.
- 28.Кендалл М.Дж. Теорія розподілу / М.Дж. Кендалл, А. Стьюарт. – М.: Наука, 1996. – 588 с.
- 29.Гетун Г.В. Архітектура будівель та споруд. Книга 1. Основи проектування. –К.: Кондор, 2012. – 380 с.
- 30.Гмурман В.Е. Теорія ймовірності і математична статистика. К.: 2007.
- 31.Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти: Підручник / М. Л. Зоценко, В. І. Коваленко, А. В. Яковлев, О. О. Петраков, В. Б. Швець, О. В. Школа, С. В. Біда, Ю. Л. Винников. – Полтава: ПНТУ, 2003. – 446 с.
- 32.Костюченко М.М., Шебатин В.С. Гідрогеологія та інженерна геологія. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2005.
- 33.Механіка ґрунтів. Основи та фундаменти: Підручник / В.Б. Швець, І.П. Бойко, Ю.Л. Винников, М.Л. Зоценко, О.О. Петраков, О.В. Солодянкін, В.Г. Шаповал, О.М. Шашенко, С.В. Біда. – Дніпропетровськ: «Пороги», 2014. – 231 с., видання друге, перероблене і доповнене.
- 34.Більченко А. В. Будівництво транспортних тунелів і метрополітенів. Харків : Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2012. 183 с.

35. Gilbert P., Magsino S., Ariaratnam S. et al. Underground Engineering for Sustainable Urban Development. Washington : The National Academies Press, 2013. 246 p.
36. Гайко Г. І. Будівельні матеріали і конструкції підземних споруд. Конструкції кріплення. Київ : Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2019. 134 с.
37. Панкратова Н. Д., Гайко Г. І., Савченко І. О. Розвиток підземної урбаністики як системи альтернативних проектних конфігурацій. Київ : Наукова думка, 2020. 136 с.