

Тема 4. Прилади для вимірювання температури повітря і ґрунту

Мета роботи: ознайомитися з будовою та принципами дії приладів для вимірювання температури повітря і ґрунту, навчитися визначати (вимірювати) температуру повітря і ґрунту та виконати завдання.

4.1. Теоретичні відомості.

Визначення температури повітря. Зміни температури протягом доби та року зображують за допомогою графіків. На осі абсцис відкладають час, а на осі ординат — температуру.

Зміни температури повітря на одиницю відстані по вертикалі оцінюють за вертикальним градієнтом температури (ВГТ):

$$ВГТ = \frac{t_n - t_v}{z_v - z_n} \times 100, \text{ } ^\circ\text{C на } 100 \text{ м} \quad 4.1$$

де: t_n та t_v – температура на нижньому та верхньому рівнях, $^\circ\text{C}$; z_n та z_v – рівні, м.

Сума активних температур – це сума середньодобових температур повітря за період, коли вони перевищують значення температури вище $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ (біологічний мінімум). Значення температури $10 \text{ } ^\circ\text{C}$ і нижче в розрахунок не входять. Суми температур за декади або місяці отримують шляхом множення середньодекадної або середньомісячної температури на число днів декади або місяця.

Сума активних температур за неповні місяці розраховують за формулою:

$$\sum t = \frac{10,0 + t}{2} \times n \quad 4.2$$

де: $\sum t$ – сума температур за неповний місяць на початку вегетаційного періоду, $^\circ\text{C}$; $10,0$ – температура повітря ($^\circ\text{C}$) на дату переходу температури через $10 \text{ } ^\circ\text{C}$; t – температура на останній день місяця; n – період (число днів), за який підраховується сума.

Сума активних температур є показником наявних ресурсів тепла і визначає можливість досягання теплолюбних культур.

Сума ефективних температур – сума щоденних перевищень середньодобової температури повітря, що є вищою температури нижнього порогу початку вегетації. Суми ефективних температур для кожного виду організмів (рослин) різні. Так, для пшениці температурним порогом початку вегетації є $+5 \text{ } ^\circ\text{C}$, для кукурудзи – $+10 \text{ } ^\circ\text{C}$, для теплолюбних рослин, наприклад бавовник – $+14 - 15^\circ$. Так, сума ефективних температур для появи шести пагонів озимих культур ($> 5 \text{ } ^\circ\text{C}$) – $300 \text{ } ^\circ\text{C}$, для утворення трьох пагонів – $200 \text{ } ^\circ\text{C}$, для початку куціння озимої пшениці – $134 \text{ } ^\circ\text{C}$, озимого жита – $119 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Суму ефективних температур (X) розраховують за формулою:

$$X = (T - C)^\circ \times t \quad 4.3$$

де: T – температура повітря; C – температура порогу розвитку; t – кількість годин або днів з температурою, що перевищує поріг розвитку.

Тепловий баланс. Тепловий баланс – це рівновага/різниця між надходженням та витратами тепла. Основне джерело надходження тепла на земну поверхню – це потоки сонячної радіації. Основні складові витратної частини теплового балансу, це тепло, що витрачається на нагрівання ґрунту, повітря, та випаровування вологи є такі:

$$B = Q_n + P + EL \quad 4.4$$

де: Q_n – витрати тепла на нагрівання ґрунту; P – витрати тепла на турбулентний теплообмін з підстильною поверхнею; EL – тепло, що виділяється при конденсації водяної пари на поверхні ґрунту або поглинається в процесі випаровування: прихована теплота пароутворення ($L = 2,5$ кДж/г), та маса води, що випарувалася/сконденсувалася (E).

Внаслідок теплообміну тепло передається від одного тіла до іншого. Величина теплообміну визначається коефіцієнтом теплообміну (α):

$$\alpha = \frac{0,032 R_e^{0,8} \lambda}{L}, \text{ Вт/м}^2 \times \text{°C} \quad 4.5$$

де: R_e – число Рейнольдса ($R_e = vh/\gamma$); λ – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/м² · °C (при температурі повітря 20 °C, $\lambda = 0,0257$ Вт/м² · °C); L – довжина за напрямом вітру, м; h – висота, м; v – швидкість вітру, м/с; γ – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря ($1,45 \cdot 10^{-5}$ м²/с).

Тепловий потік (тепловіддачу, Q_{nv}), між поверхнею ґрунту та повітрям можна визначити так:

$$Q_{nv} = \alpha F (T_n - T_e), \text{ Вт} \quad 4.6$$

де: F – площа поперечного перерізу потоку, м²; T_n , T_e – температура поверхні ґрунту та на певній висоті, °C.

Потоки тепла в ґрунт можна визначити за таким рівнянням:

$$Q_n = -\lambda \frac{dt}{dZ}, \text{ Дж/см}^2 \times \text{с} \quad 4.7$$

де: λ – коефіцієнт теплопровідності ґрунту, Дж/см² · с · °C; $\frac{dt}{dZ}$ – градієнт температури ґрунту.

Турбулентні потоки тепла в атмосферу можна визначити за таким рівнянням:

$$Q_n = -\rho C_p \alpha_T K \frac{dT}{dZ}, \text{ Дж/см}^2 \times \text{с} \quad 4.8$$

де: ρ – густина повітря (при 20 °C = 1,164 кг/м³); C_p – теплоємність повітря, 1005 Дж/кг · °C; α_T – відношення коефіцієнтів теплової та динамічної турбулентності; K – коефіцієнт турбулентності (0,1–0,2 м²/с); $\frac{dT}{dZ}$ – градієнт температури, °C/см.

Температурні шкали. У метеорології застосовують дві температурні шкали: Цельсія та Фаренгейта.

Шкала Цельсія: температурна шкала, в якій 1 градус (1 °C) дорівнює 1/100 різниці температур кипіння води і танення льоду при стандартному атмосферному тиску. Точка танення льоду прийнята за 0 °C, кипіння води – за 100 °C.

Шкала Фаренгейта: температурна шкала, в якій 1 градус дорівнює 1/180 різниці температур кипіння води і танення льоду при нормальному атмосферному тиску, а точка танення льоду має температуру +32 °F.

Щоб перевести градус Цельсія в градус Фаренгейта, необхідно помножити його на 1,8 і додати 32; для переходу від Фаренгейта до Цельсія – від градуса Фаренгейта відняти 32 і результат поділити на 1,8.

4.2. Прилади для вимірювання температури ґрунту і повітря.

Для вимірювання температури ґрунту і повітря використовують рідинні, термоелектричні та деформаційні термометри і термометри опору. В основі принципу дії рідинних термометрів лежить властивість рідини змінювати свій об'єм залежно від зміни температури. Для метеорологічних термометрів найчастіше використовують як термометричну рідину ртуть, або етиловий спирт, рідше – толуол. Для вимірювання низьких температур застосовуються спиртові термометри, оскільки спирт замерзає при –117,3 °C (ртуть замерзає при –38,9 °C).

На метеорологічних станціях використовують такі види термометрів.

Рідинні, дія яких ґрунтується на зміні температури (підвищенні чи зниженні): складаються з скляного резервуара, наповненого ртуттю або спиртом, який переходить у капіляр; скляної шкали з поділками та скляної захисної трубки.

Деформаційні, дія яких ґрунтується на змінах лінійних розмірів твердих речовин через зміну температури. Це біметалічні термометри, в яких є біметалічна пластина, яка дуже чутлива до змін температури. При зміні температури пластина вигинається внаслідок розширення металів, які її утворюють.

Термометри опору, дія яких ґрунтується на зміні електричного опору матеріалів (провідності) зі зміною температури. Це переважно дротяні (платинові, мідні) і напівпровідникові терморезистори (оксиди марганцю, міді, заліза), які входять до складу вимірювальних схем як один із її елементів.

Для вимірювання температури повітря користуються переважно рідинними термометрами, які розміщують на метеомайданчику в психрометричній будці.

Для вимірювання температури повітря та ґрунту використовують термометр строковий, максимальний та мінімальний (рис. 4.1).

Термометр строковий ТМ-3 - це звичайний рідинний (ртутний) термометр із циліндричним резервуаром і шкалою, ціна поділки якої становить 0,5°C. Рідина знаходиться у скляному резервуарі та може рухатися вгору чи вниз по вузькому капіляру, за яким розміщена шкала температур. Межі шкали від +60, +70°C до –25, –35°C. Шкала і капіляр вміщені в захисну скляну трубку. Циліндрична форма резервуара забезпечує найбільшу площу контакту його з ґрунтом збільшуючи надійність показів термометра.

Термометр максимальний ТМ-1 також ртутний з циліндричним резервуаром і шкалою з поділками 0,5°C. Максимальне значення температури термометр зберігає завдяки тому, що в нижній частині капіляра за допомогою впаяного в дно резервуара скляного стрижня (штифта) створено кільцеподібне звуження. Із підвищенням температури ртуть у резервуарі розширюється і піднімається по капіляру, оскільки розширення ртуті більше, ніж сили тертя в місці звуження. Коли температура знижується, ртуть зменшується в об'ємі, але не повертається знову у резервуар, оскільки сили молекулярного зчеплення значно менші, ніж сили тертя в місці звуження. Тому в місці звуження капіляра ртуть “розривається”, штифт після зниження температури залишається на місці, показуючи найвищу температуру, яка спостерігалася з моменту попереднього рядка спостереження. До наступного вимірювання термометр готують шляхом струшування (тримаючи резервуаром вниз) кілька разів для переходу ртуті із капіляра в резервуар. Максимальний

термометр встановлюють на поверхні ґрунту горизонтально, трохи нахиленим у бік резервуара.

Термометр мінімальний ТМ-2 – це спиртовий термометр, з поділками на шкалі через 0,5°C. Резервуар термометра циліндричний, всередині капіляра (у спирті) є штифтик, який виготовлений з темного скла. Штифтик може вільно переміщуватися всередині капіляра не перешкоджаючи вільному переміщенню спирту, який його обтікає. При зниженні температури стовпчик спирту в капілярі зменшується, поверхнева плівка його наближається до штифтика, який буде переміщуватися разом із спиртом у бік резервуара. При незмінній температурі або її підвищенні, рух штифтика припиняється (з підвищенням температури спирт вільно обтікає штифт), а його положення дозволяє встановити мінімальну температуру. Для цього потрібно відрахувати положення відносно шкали більш віддаленого від резервуара кінця штифтика. Після цього термометр піднімають резервуаром уверх, штифтик підніметься до меніска спирту і зупиниться. Термометр готовий для використання.

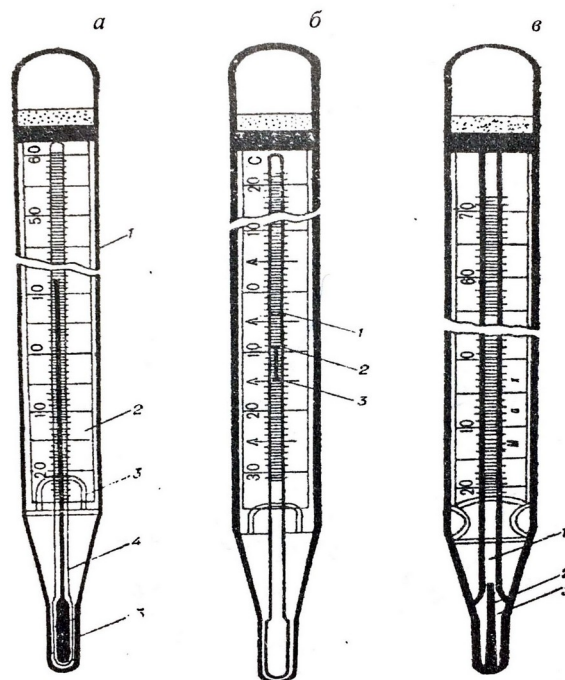


Рис. 4.1. Термометр строковий (а; 1 – корпус, 2 – шкала температур, 3 та 5 – скляний резервуар, 4 – капіляр), мінімальний (б; 1 – капіляр, 2 – рідина, 3 – штифт), та максимальний (в; 1 – капіляр, 2 – штифт, 3 – дно резервуара)

Для вимірювання температури поверхні ґрунту термометри (строковий, максимальний і мінімальний) встановлюють на відкритій площадці розміром 4х6 м, без рослинного покриву. Ґрунт на ній має бути розпушений і вирівняний граблями. Усі термометри розміщують посередині площадки резервуарами на схід на відстані 10–15 м один від одного. Усі три термометри мають бути розміщені так, щоб резервуар і зовнішня оболонка кожного термометра були занурені наполовину в ґрунт, але не покривалися землею, а резервуари щільно прилягали до ґрунту. Щоб не ущільнювати ґрунт біля термометрів, для підходу до них під час спостережень, з північної сторони кладуть невеликий дощаний настил.

Для вимірювання температури ґрунту або повітря, потрібно правильно спостерігати за показами термометрів, а саме правильно оцінювати положення кінця стовпчика рідини (ртуті або спирту) у капілярі відносно шкали. У ртутних термометрах (меніск випуклий) відлічують на шкалі положення уявної дотичної до випуклої частини меніска. У спиртових термометрах (меніск увігнутий) відлічують положення уявної дотичної до

ввігнутої частини меніска. Очі спостерігача мають бути на одному рівні з рідиною в капілярі.

Поправки до показань термометрів. Показання кожного термометра після його виготовлення порівнюються з контрольним (еталонним) термометром. В результаті цього визначаються поправки, які зазначаються у перевірочних свідоцтвах (сертифікатах) і враховуються для визначення істинного значення температури.

Термометри колінчасті ТМ-5 (Савінова) використовують для одночасного вимірювання температури орного шару ґрунту на глибинах 5, 10, 15 і 20 см. Це ртутні термометри, які мають шкалу з ціною поділки 0,5 °С. До складу комплекту входять чотири термометри, довжина яких змінюється від 290 до 500 мм. Захисна трубка і капіляр термометра трохи вище резервуара зігнуті під кутом 135°С (рис. 4.2).

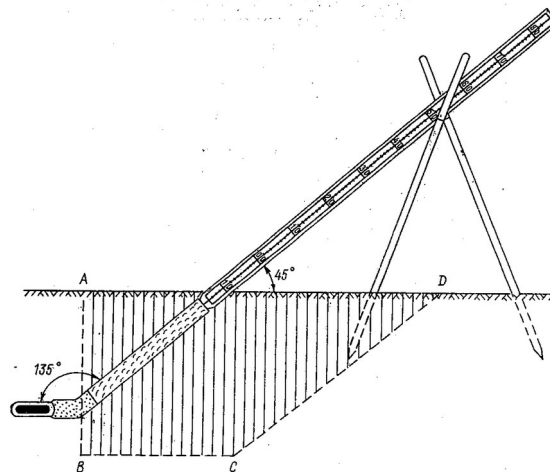
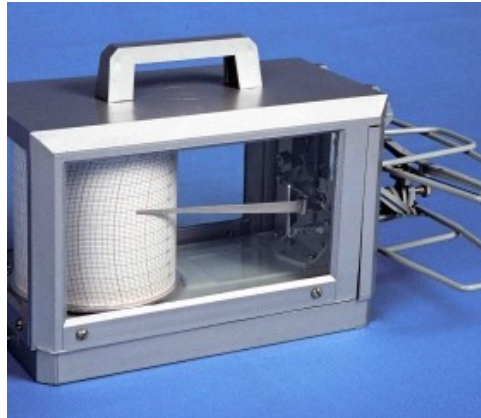


Рис. 4.2. Ґрунтовий термометр колінчастий ТМ-5 (Савінова)

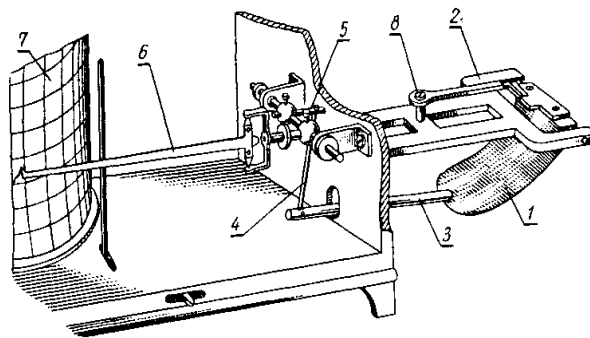
Для термоізоляції резервуара від верхньої частини термометра нижня частина скляної захисної оболонки від резервуара до початку шкали заповнена термоізоляційним порошком, а зверху над порошком – ватою.

Колінчасті термометри встановлюють рано навесні відразу після сходу снігового покриву, коли глибина талого ґрунту досягає 20–25 см. Установлюють їх на ділянці поруч із термометрами для визначення температури поверхні ґрунту, на відстані 10 см один від одного, резервуарами на північ на лінії в напрямі зі сходу на захід у порядку зростання глибини. Восени, коли температура ґрунту досягає 0 °С на глибині 5 см, термометри виймають з ґрунту.

Термограф метеорологічний М-16. Термограф М-16 (рис. 4.3) складається з чутливого елемента (біметалічна пластинка), передавальної системи, реєструвальної частини і корпусу. Принцип дії термографа М-16АН і термографа М-16АС заснований на властивості біметалічної пластинки змінювати радіус вигину зі зміною температури повітря. Деформація пластинки за допомогою передавального механізму перетворюється в переміщення стрілки з пером по діаграмній стрічці, закріпленої на барабані годинникового механізму. Обертання барабана здійснюється годинниковим механізмом. Залежно від тривалості одного обороту барабана годинникового механізму термографи виготовляються двох типів: добові М-16АС і тижневі М-16АН.



а)



б)

Рис. 4.3. Термограф метеорологічний М-16: а – зовнішній вигляд; б – будова;
1 – біметалічна пластина, 2 – колодка, 3 – важіль, 4 – тяга, 5 – колінчастий вал, 6 – важіль з пером, 7 – барабан, 8 – регулювальний гвинт

Технічні характеристики термографа М-16:

- Тип термографа (залежно від тривалості одного обороту барабана годинникового механізму):
 - М-16АС добовий;
 - М-16АН тижневий.
- Діапазон реєстрованих температур, °С:
 - від -45 до +35;
 - від -35 до +45;
 - від -25 до +55.
- Абсолютна похибка реєстрації температури, °С:
 - ± 1.
- Похибка ходу годинникового механізму, хв.:
 - добового ± 5;
 - тижневого ± 30.
- Габаритні розміри М-16АС, М-16АН, мм: 130 × 330 × 180.
- Маса термографа, кг: 2.

Прилади для вимірювання температури ґрунту. Для вимірювання температури ґрунту застосовують поверхневі й глибинні термометри.

Поверхневі термометри: строковий (терміновий) ТМ-3; мінімальний ТМ-2 та максимальний ТМ-1.

Глибинні термометри: колінчасті (ТМ-5, термометри Савінова) – для визначення температури на глибинах 5, 10, 15 і 20 см; витяжні (ТПВ-50) – для визначення температури на глибинах 20, 40, 80, 160 і 320 см; термометр – щуп (АМ-6) – для визначення температури в польових умовах на глибині від 3 до 30 см; електротермометри

(АМ-2М) – для визначення температури на глибині вузла кушення та максимально-мінімальний термометр (АМ-17) – для визначення максимальної та мінімальної температури на різних глибинах орного шару.

Колінчасті термометри (рис. 4.2) встановлюють на тій же ділянці, що й поверхневі, на глибинах 5, 10, 15 і 20 см, горизонтально резервуарами на північ, на одній лінії в напрямку зі сходу на захід у порядку зростання глибини від 5 до 20 см. Відстань між термометрами \approx 10 см.

Витяжні (глибинні) термометри типу ТМ-10 (рис. 4.4) встановлюють на ділянці з природним покривом у ряд на відстані 50 см один від одного по лінії на схід – захід у порядку зростання глибин 20, 40, 80, 160, 320 см.

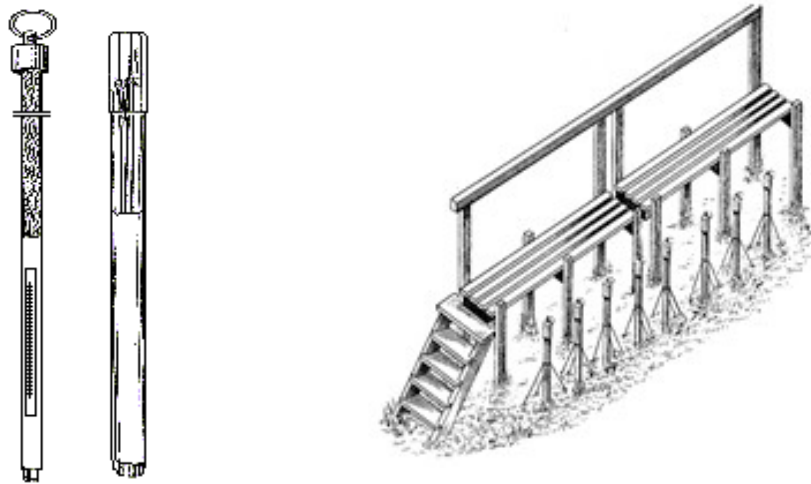


Рис. 4.4. Витяжні (глибинні) термометри типу ТМ-10 та їх встановлення

Термометр – щуп (рис. 4.5.) – вдавлюють вертикально у ґрунт на відповідну глибину згідно з позначками на зворотному боці щупа. Через 10–15 хв після встановлення термометра знімають покази температури ґрунту. Використовують термометр у теплий і холодний періоди року.



Рис. 4.5. Термометр – щуп

Електротермометр АМ-2М використовують для дистанційного вимірювання температури ґрунту на глибині 2–5 см (переважно – на глибині залягання вузла кущіння). Він забезпечує вимірювання температури від -30 до $+45$ °С з точністю ± 1 °С. Це термометр опору, головними частинами якого є датчик і пульта. Вимірювальний пульт складається з корпусу та ручки реостата.

Прилади для вимірювання глибини промерзання ґрунту. Мерзлотомір Даниліна (рис. 4.6) призначений для визначення глибини промерзання ґрунту. Прилад складається з порожнистої ебонітової трубки, яку вміщують у ґрунт восени на глибину близько 1,5 м. У трубку, опускають тонку гумову трубочку, всередину якої залита дистильована вода, прикріплену до дерев'яної штанги і закрити з обох кінців. Для визначення глибини промерзання ґрунту, гумову трубочку із замерзлою дистильованою водою виймають.

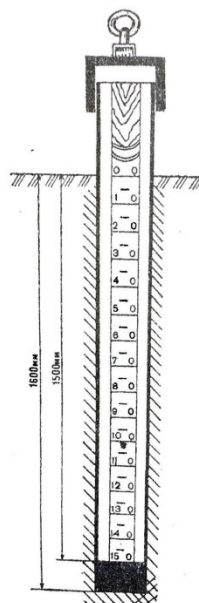


Рис. 4.6. Мерзлотомір Даниліна

Промацують верхній край стовпчика льоду і за поділками на гумовій трубочці визначають його висоту, що відповідає глибині промерзання ґрунту. Встановлюють мерзлотомір в ґрунт на 2–3 тижні до початку приморозків на площадці неподалік від витяжних термометрів. У підготовлену свердловину опускають мерзлотомір так, щоб нульовий відлік співпав із поверхнею ґрунту.

Термоізоплети. Результати багаторічних спостережень за температурою ґрунту на різних глибинах можуть бути представлені графічно (рис. 4.7). На такому графіку поєднують температуру ґрунту, глибина та час. Для цього на осі ординат відкладають глибину, а на осі абсцис – час, зазвичай місяці. На графіку наносять середньомісячну температуру ґрунту на різних глибинах, а потім точки з однаковою температурою з'єднують між собою кривими лініями – термоізоплетами. Термоізоплети дають уявлення про температуру активного шару ґрунту на різних глибинах за кожен місяць. Дані графіки використовують для визначення глибини проникнення критичних температур, які пошкоджують кореневу систему плодкових дерев, в комунальному господарстві, в промисловому та дорожньому будівництві, при меліорації.

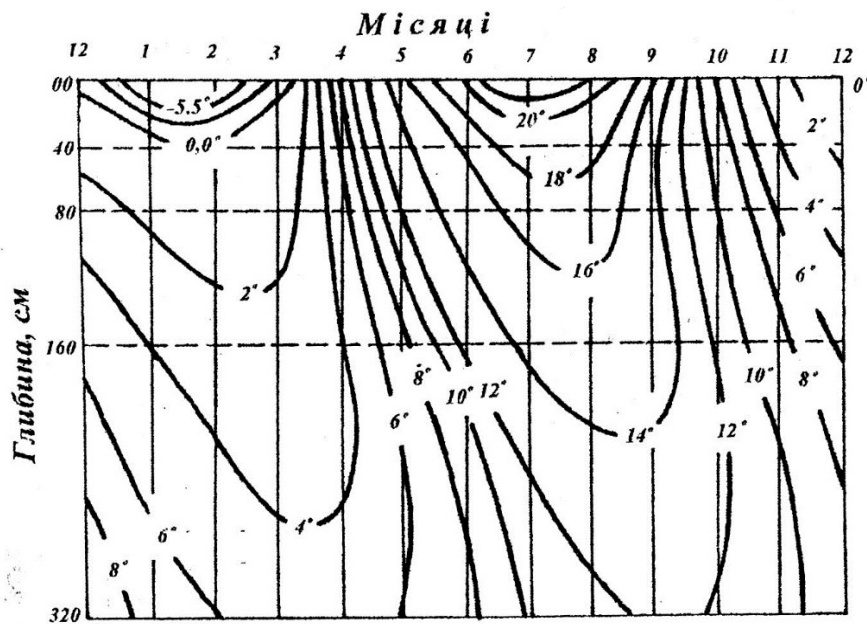


Рис. 4.7. Ізоплети температури ґрунту на глибинах

4.3. Визначити температуру повітря, побудувати графіки добового та річного ходу температури повітря, виконати завдання.

4.4. Завдання.

1. За даними таблиці 4.1. побудувати і проаналізувати графік добового ходу температури повітря на різних висотах.

Розрахувати вертикальний температурний градієнт для кожного шару повітря.

Визначити амплітуду добового ходу температури повітря на кожній висоті.

Таблиця 4.1.

Температура повітря у шарі 103 м, °С

Години	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Висота 0,5 м									
06-00	11,4	12,3	12,0	13,4	11,7	10,6	12,8	13,3	12,9	11,7
09-00	15,7	19,3	15,7	17,3	16,9	14,7	18,4	17,6	18,7	16,4
12-00	20,3	21,3	22,4	19,8	20,2	21,4	22,1	23,5	24,0	19,5
15-00	19,4	20,6	21,8	22,1	23,3	22,5	21,7	22,6	24,6	19,9
18-00	16,0	18,5	19,2	18,9	18,6	17,4	17,3	18,2	18,5	17,6
21-00	14,7	15,7	17,3	15,4	14,3	13,3	14,0	15,2	14,3	16,0
	Висота 20 м									
06-00	11,4	12,3	12,0	13,4	11,7	10,6	12,8	13,3	12,9	11,7
09-00	15,7	19,3	15,7	17,3	16,9	14,7	18,4	17,6	18,7	16,4
12-00	19,4	20,3	20,1	18,7	19,3	20,5	19,4	20,5	20,1	18,1
15-00	18,1	18,6	19,8	17,2	18,3	19,3	18,6	19,6	18,6	17,6
18-00	16,0	18,5	19,2	18,9	18,6	17,4	17,3	18,2	18,5	17,6

21-00	14,7	15,7	17,3	15,4	14,3	13,3	14,0	15,2	14,3	16,0
	Висота 103 м									
06-00	14,3	14,1	13,6	15,4	12,8	13,7	14,9	13,3	14,6	14,7
09-00	16,7	18,3	15,7	17,3	16,9	14,7	18,4	17,6	18,7	16,4
12-00	19,4	20,5	19,1	18,7	19,3	20,2	19,4	20,5	19,1	18,1
15-00	18,1	18,6	17,7	17,2	18,3	18,3	18,6	19,6	18,6	17,6
18-00	16,0	17,7	16,2	16,9	17,6	17,4	17,3	17,2	17,5	16,6
21-00	15,7	16,1	15,1	15,7	16,1	15,2	16,2	15,1	16,0	15,1

2. Розрахувати суму активних та ефективних температур за таких середньодобових температур (°C):

Дати	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01/07	21,3	19,3	21,0	19,4	11,7	13,6	16,8	13,3	12,9	11,7
02/07	20,7	18,6	19,7	17,3	16,9	17,7	18,4	17,6	18,7	16,4
03/07	23,4	21,3	22,4	19,8	21,2	21,5	22,1	23,5	24,0	19,5
04/07	19,3	20,6	22,8	22,1	24,3	21,7	21,8	22,6	24,6	19,9
05/07	16,0	18,5	19,2	18,7	18,6	18,4	17,5	18,2	18,5	17,6
06/07	19,7	19,7	18,3	15,4	17,3	19,5	19,0	15,2	14,3	16,0
07/07	23,5	21,5	19,6	19,7	20,6	21,7	22,5	23,9	21,0	19,9
08/07	18,4	21,4	18,7	21,9	19,7	25,9	22,4	21,2	19,7	18,7
09/07	19,7	19,6	21,4	20,2	24,5	20,2	19,3	23,4	22,4	21,3
10/07	22,0	21,0	22,5	23,4	19,3	24,3	23,4	19,6	23,8	22,6
11/07	22,6	20,6	19,4	18,6	18,4	19,6	19,3	19,4	19,9	19,5
12/07	19,4	19,7	18,3	19,3	23,3	19,3	23,8	19,7	18,5	19,7
13/07	18,3	21,8	17,4	19,7	23,7	21,7	22,1	17,9	19,6	23,5
14/07	19,8	20,8	19,3	16,9	24,7	26,9	20,9	25,1	18,9	22,4
15/07	22,1	23,1	19,8	25,2	20,2	24,3	20,5	23,3	21,3	19,6
16/07	18,9	19,7	22,1	23,3	19,3	22,3	19,6	22,7	21,5	24,0
17/07	19,4	19,1	19,9	22,6	19,1	19,6	18,7	24,3	19,4	23,6
18/07	19,3	19,0	20,4	24,3	25,2	19,3	21,3	21,6	20,3	19,9
19/07	21,6	20,7	19,6	20,6	21,6	22,0	22,8	24,7	19,4	21,7
20/07	22,5	21,5	17,7	24,7	19,7	22,6	20,6	22,4	22,3	23,9
21/07	23,6	22,4	21,4	25,4	24,4	24,4	24,7	21,6	21,8	21,2
22/07	19,2	19,3	22,5	22,5	19,7	19,3	24,5	19,5	22,1	25,3
23/07	18,3	21,3	19,4	19,4	23,4	19,8	19,3	21,3	20,9	19,8
24/07	21,7	24,3	19,3	23,3	22,3	24,1	19,4	22,7	20,4	19,1
25/07	19,4	19,7	21,3	22,8	25,7	19,9	19,3	19,3	23,6	21,7
26/07	20,5	21,5	23,6	19,4	24,3	19,1	19,7	20,1	24,7	23,5

27/07	19,9	20,8	21,5	22,1	22,2	24,3	22,4	25,7	24,4	24,1
28/07	23,6	20,7	19,6	24,7	19,3	21,6	24,1	22,3	22,5	22,9
29/07	20,0	22,0	17,2	15,3	19,4	22,5	21,6	20,5	20,4	21,4
30/07	21,8	20,7	22,4	20,5	22,2	23,4	20,5	21,9	24,3	20,7

3. Визначити вертикальний температурний градієнт за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура повітря на висоті 220 м, °С	28,4	29,1	27,1	27,9	23,3	26,7	19,8	19,0	24,9	23,0
Температура повітря на висоті 2034 м, °С	21,1	21,3	19,0	19,0	15,8	18,5	11,4	11,0	16,3	15,1

4. Визначити температуру повітря на висоті 50 м, якщо:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура повітря біля земної поверхні у липні, °С	38,5	39,1	36,3	37,4	33,1	36,5	29,1	29,5	29,9	28,2
Вертикальний температурний градієнт, °С/100 м	0,60	0,55	0,51	0,61	0,63	0,60	0,55	0,53	0,61	0,61

5. Визначити висоту, на якій температура повітря становить 10 °С, якщо на висоті 2,5 м умови були такими:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура повітря на висоті 2,5 м, °С	16,5	19,1	17,3	17,4	19,0	20,4	19,3	19,1	19,8	20,3
Вертикальний температурний градієнт, °С/100 м	0,60	0,55	0,51	0,61	0,63	0,60	0,55	0,53	0,61	0,61

6. Для проходження фази цвітіння яблуні сорту Антонівка звичайно потрібно 120 °С ефективних температур понад +5 °С. Визначити середню добову температуру повітря за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тривалість періоду цвітіння, діб	12	11	13	14	10	15	10	9	11	12

7. Визначити амплітуду добового коливання температури поверхні ґрунту за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Покази максимального	30,1	29,9	32,4	31,8	30,6	28,2	33,0	31,9	28,7	29,0

термометра, °С										
Покази мінімального термометра, °С	16,5	19,1	17,3	17,4	19,0	20,4	19,3	19,1	19,8	20,3

8. Побудувати графік і проаналізувати криві добового ходу температури поверхні ґрунту. Пояснити відмінності кривих добового ходу температури за таких умов:

Години доби	Варіанти*									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
00-00	10,1/ 11,0	10,1/ 10,0	11,0/ 11,0	10,0/ 11,0	9,4/ 9,0	8,9/ 9,0	10,0/ 10,0	11,0/ 11,0	8,7/ 8,6	9,1/ 9,3
02-00	11,2/ 10,5	11,3/ 12,5	11,7/ 13,0	11,3/ 11,5	11,9/ 10,5	11,2/ 10,5	11,3/ 12,5	12,4/ 13,1	11,3/ 11,5	11,9/ 10,5
04-00	11,5/ 12,5	12,3/ 12,9	12,3/ 13,9	12,5/ 12,1	11,7/ 14,5	11,5/ 12,5	12,3/ 13,9	12,5/ 13,9	12,0/ 12,6	11,7/ 14,5
06-00	12,1/ 18,5	13,4/ 20,3	13,5/ 20,9	12,9/ 17,5	12,4/ 18,1	12,1/ 18,5	13,4/ 20,3	13,5/ 20,9	12,9/ 17,5	12,9/ 19,0
08-00	14,0/ 22,8	14,9/ 24,2	15,9/ 24,1	14,5/ 22,5	15,0/ 24,8	14,0/ 22,8	14,9/ 24,2	15,7/ 24,1	15,7/ 22,8	15,0/ 24,8
10-00	16,7/ 25,6	18,5/ 27,4	18,2/ 29,4	17,7/ 27,6	16,8/ 25,5	16,7/ 25,7	18,5/ 27,4	19,1/ 29,1	17,7/ 27,6	16,8/ 25,5
12-00	19,4/ 29,4	20,3/ 31,5	20,9/ 33,4	19,8/ 29,4	21,5/ 31,5	19,4/ 29,4	20,4/ 32,4	20,9/ 35,4	19,8/ 29,4	23,5/ 31,5
14-00	20,5/ 34,9	23,7/ 36,0	23,5/ 37,0	21,5/ 34,5	22,5/ 30,9	20,5/ 34,9	23,8/ 36,0	23,1/ 37,0	21,5/ 34,5	22,5/ 30,9
16-00	21,4/ 33,5	22,4/ 34,5	21,4/ 33,5	21,6/ 31,5	21,9/ 30,1	21,4/ 33,7	22,4/ 34,5	21,4/ 33,9	21,6/ 31,5	21,9/ 30,1
18-00	20,7/ 27,5	21,5/ 29,3	20,5/ 29,6	19,7/ 27,5	21,7/ 26,5	20,3/ 27,1	21,5/ 29,3	20,5/ 29,6	20,4/ 29,0	21,7/ 26,5
20-00	19,0/ 23,4	18,0/ 24,8	18,9/ 24,3	19,2/ 21,4	15,4/ 23,0	19,0/ 23,4	18,1/ 24,7	18,9/ 24,3	19,2/ 21,4	16,0/ 22,8
22-00	15,3/ 13,2	14,3/ 19,1	15,3/ 18,1	16,3/ 13,1	11,3/ 19,2	15,3/ 13,2	14,3/ 19,6	15,4/ 18,3	16,3/ 13,1	10,3/ 19,8
24-00	10,1/ 11,0	10,1/ 10,0	11,1/ 11,0	10,1 /11,0	9,3/ 9,0	8,8/ 9,0	10,0/ 10,0	11,0/ 11,0	8,7/ 8,7	9,1/ 9,2

* 12.07, хмарно / 15.07 ясно

9. Розрахувати річну амплітуду коливання температури поверхні ґрунту (°С) при таких їх середньомісячних температурах:

Місяці	Варіанти / метеостанція									
	Київ	Житомир	Чернігів	Суми	Луцьк	Рівне	Хмельницький	Полтава	Харків	Тернопіль
I	-5,7	-5,9	-8,0	-8,1	-5,1	-5,5	-5,6	-7,0	-7,3	-6,0
II	2,0	-4,6	-7,5	-7,0	-3,8	-4,4	-4,3	-6,2	-6,1	-4,3
III	3,9	0	-2,5	-2,0	0,3	-0,3	0,0	-1,1	-1,2	-0,6

IV	12,4	8,1	6,4	7,5	7,8	7,5	7,6	7,9	8,3	7,2
V	15,5	15,3	13,6	14,5	13,5	13,4	13,6	15,0	15,3	13,0
VI	23,6	19,6	19,1	19,1	19,1	18,9	19,1	19,4	20,2	17,5
VII	27,4	23,7	24,6	24,7	25,4	23,1	24,6	25,5	25,9	22,8
VIII	24,1	19,0	19,6	19,4	18,5	18,4	18,2	21,6	20,8	18,6
IX	16,1	14,7	12,5	12,9	13,4	13,2	13,1	14,3	14,2	12,9
X	6,5	7,8	6,2	6,3	7,6	7,3	7,1	7,4	6,9	7,3
XI	1,2	1,9	0,4	0,4	2,7	2,2	2,3	0,9	1,3	2,2
XII	-1,5	-2,6	-4,7	-4,1	-2,0	-2,5	-2,6	-4,2	-3,6	-2,7

10. Побудувати графік термоізоплет ґрунту використовуючи наступні дані:

Місяці	Глибина, м									
	0,0	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	
	Варіант 1									
I	-6,0	-0,2	0,6	2,3	1,4	3,0	4,4	4,7	5,2	
II	-1,0	0,3	1,0	2,1	2,0	2,4	3,5	4,4	4,1	
III	2,0	2,0	2,1	2,6	3,3	1,7	2,8	4,0	3,9	
IV	12,0	8,4	7,6	6,5	4,1	2,9	3,0	4,0	3,5	
V	19,0	14,6	13,8	12,1	5,0	4,6	4,4	4,3	4,3	
VI	29,0	21,0	19,7	17,1	7,1	8,1	7,2	5,8	5,7	
VII	28,0	22,9	22,2	20,2	10,6	10,5	9,7	9,0	7,9	
VIII	23,0	19,6	19,7	19,2	9,1	11,5	11,3	10,4	9,6	
IX	19,0	17,1	17,3	17,3	8,6	10,8	10,6	9,8	9,5	
X	9,0	10,8	11,5	12,8	9,1	8,6	8,8	8,8	8,5	
XI	4,0	5,5	6,1	7,8	2,4	6,3	6,9	7,2	7,4	
XII	-5,0	1,9	2,9	4,8	2,6	4,3	4,8	5,1	5,8	
	Варіант 2									
I	-6,5	-0,3	0,7	2,1	1,4	3,2	4,4	4,7	5,2	
II	-1,5	0,4	1,0	2,1	2,1	2,4	3,7	4,4	4,1	
III	1,5	2,2	2,2	2,5	3,3	1,6	2,8	4,4	3,9	
IV	11,5	8,1	8,7	6,5	4,1	2,9	3,1	4,0	3,8	
V	18,5	13,6	12,8	13,1	5,0	4,6	4,4	4,7	4,3	
VI	28,4	20,4	19,1	17,1	8,1	8,1	7,4	5,8	5,8	
VII	27,3	23,1	23,2	20,2	10,6	9,9	9,7	9,1	7,9	
VIII	22,6	19,7	19,4	19,2	10,0	11,5	11,7	10,4	9,6	
IX	19,6	16,1	17,3	16,5	8,6	10,4	10,6	9,8	9,5	
X	9,3	11,0	11,5	12,8	9,1	7,6	8,8	8,8	8,5	
XI	4,5	6,5	6,3	7,8	3,4	6,3	6,9	7,2	7,4	
XII	-5,3	1,7	2,8	4,4	2,5	4,2	4,6	5,0	5,7	

	Варіант 3								
I	-6,3	-0,3	0,7	2,1	2,2	3,2	4,4	4,7	5,2
II	-1,5	0,5	1,4	2,1	2,9	2,4	3,7	4,4	4,1
III	1,5	2,3	2,1	3,4	3,3	1,6	2,8	4,4	3,9
IV	10,5	8,1	8,9	6,3	4,1	2,9	3,1	4,0	3,8
V	18,5	13,2	12,8	13,1	5,7	4,6	4,4	4,7	4,3
VI	28,4	21,4	19,7	17,1	8,1	8,8	7,4	5,8	5,8
VII	29,9	23,1	23,2	20,1	10,6	9,9	9,3	9,1	7,9
VIII	23,5	19,9	19,4	19,2	11,0	11,5	11,7	10,9	9,6
IX	19,6	16,1	16,3	16,5	8,6	10,3	10,6	9,8	9,6
X	9,5	11,0	11,5	12,9	9,1	7,6	8,8	8,9	8,5
XI	4,5	6,5	6,3	7,8	3,5	6,4	7,8	7,1	7,4
XII	-5,5	1,7	2,6	4,1	2,7	4,0	4,4	5,0	5,2
	Варіант 4								
I	-7,7	-0,5	0,6	2,4	2,3	3,9	4,1	4,6	5,0
II	-1,3	0,7	1,4	2,7	2,9	2,5	3,7	4,6	4,1
III	1,5	2,5	2,1	3,7	3,3	1,8	2,8	4,5	3,9
IV	10,5	8,4	8,9	6,5	4,1	2,8	3,3	4,0	3,6
V	18,9	13,2	13,7	13,1	5,4	4,3	4,4	4,5	4,3
VI	28,4	21,6	19,2	17,1	8,6	8,8	7,1	5,8	5,9
VII	27,4	23,1	23,6	21,1	10,6	10,9	9,7	9,1	8,5
VIII	23,5	18,8	19,3	19,2	11,8	11,0	11,7	10,4	9,6
IX	19,4	16,1	15,1	16,5	9,1	10,4	10,6	9,9	9,7
X	9,5	11,3	11,5	13,2	9,4	7,6	8,6	8,9	8,8
XI	5,5	6,5	6,6	7,8	3,9	6,1	7,8	7,0	7,4
XII	-5,3	1,3	2,7	4,0	2,9	4,1	4,5	5,0	5,5
	Варіант 5								
I	-7,9	-1,5	0,6	3,5	2,3	3,8	4,1	4,6	5,0
II	-2,5	0,7	3,4	2,8	2,9	2,6	3,7	4,6	4,1
III	1,7	4,5	2,1	4,8	4,3	1,9	2,8	4,5	3,9
IV	11,7	8,4	9,9	6,6	4,1	3,9	3,3	4,0	3,6
V	18,8	14,2	13,7	14,3	5,4	4,4	5,4	4,5	4,5
VI	28,6	21,6	20,2	17,2	9,6	8,9	7,1	6,8	5,9
VII	27,6	23,1	23,6	22,2	10,6	11,8	9,7	9,1	7,5
VIII	23,7	18,8	19,3	19,3	12,8	11,1	12,7	11,4	9,6
IX	19,6	16,1	15,1	16,6	9,1	11,5	11,6	10,9	9,2
X	9,7	11,3	11,5	13,3	9,4	8,7	9,6	8,9	9,8
XI	5,7	6,5	6,6	7,9	4,9	6,2	7,8	8,0	7,4
XII	-5,5	1,3	2,7	5,1	2,9	4,3	4,5	5,0	6,5

11. Користуючись графіком термоізоплет температури ґрунту визначити, коли на глибині 25 см настане період з температурою вище 10 °С?

12. Розрахувати коефіцієнт теплообміну (α) за такими даними ($L = 100$ м):

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Швидкість вітру (v), м/с	2,1	2,9	3,4	3,8	3,6	2,8	3,3	3,9	4,7	5,0
Висота вимірювання (h), м	0,5	0,3	0,7	0,4	0,9	1,4	1,3	2,1	1,8	2,3

13. Розрахувати тепловіддачу між поверхнею ґрунту та повітрям за такими даними*:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура (T_n), °С	22,0	18,9	23,5	23,4	19,6	16,8	15,4	14,9	19,7	21,2
Температура (T_b), °С	21,5	19,3	20,6	22,4	18,7	15,1	14,5	15,8	18,0	20,5

* $F = 12$ м²; α та h – з попереднього завдання.

14. Розрахувати тепловий баланс (B , Дж/см² · хв) підстильної поверхні за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Потоки тепла на турбулентний теплообмін (P)	1,20	1,71	1,34	1,42	1,91	1,60	1,55	1,92	1,65	1,17
Потоки тепла в ґрунт (Q_n)	42,4	39,1	40,5	42,3	19,7	25,1	35,1	35,9	31,7	30,4
Потоки тепла на випаровування води (EL)	1,26	1,19	1,20	1,27	1,89	1,51	1,42	1,18	1,05	1,25

15. Розрахувати витрати тепла на випаровування води (EL , Дж/см² · хв) за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тепловий баланс (B)	13,4	19,2	20,7	12,1	19,0	15,6	17,4	18,1	11,9	10,5
Потоки тепла в ґрунт (Q_n)	0,12	0,17	0,15	0,14	0,18	0,16	0,25	0,20	0,06	0,17
Потоки тепла на турбулентний теплообмін (P)	0,95	1,10	0,44	0,73	0,99	1,13	1,26	1,12	0,78	0,65

Питання для самоконтролю та обговорення.

1. Які шкали температур використовують у метеорології? Який між ними зв'язок?
2. Які особливості будови мінімального і максимального термометрів?
3. Чим викликана необхідність використання двох рідин для наповнення резервуарів термометрів?
4. Чому поверхня великих водосховищ вдень (влітку) менше нагрівається, а вночі (взимку) менше охолоджується порівняно з сушею?
5. Чому на глибині ґрунту температура влітку нижча, ніж на поверхні, а взимку навпаки?
6. Як варто розуміти тепловий баланс?