

Міністерство освіти і науки України  
Житомирський державний технологічний університет  
Гірничо-екологічний факультет  
кафедра екології

Вінічук М.М.

«МЕТЕОРОЛОГІЯ ТА КЛІМАТОЛОГІЯ»

ПРАКТИКУМ

Житомир  
2019

Міністерство освіти і науки України  
Житомирський державний технологічний університет  
Гірничо-екологічний факультет  
кафедра екології

Вінічук М.М.

Практикум  
з  
метеорології та кліматології

для студентів освітнього рівня «БАКАЛАВР»  
денної форми навчання  
спеціальності 101 «Екологія» та  
183 “Технології захисту навколишнього середовища”

Розглянуто і рекомендовано  
на засіданні кафедри екології  
протокол № 1 від «26» 01 2019 р.

Затверджено Вченою радою ЖДТУ  
протокол № 3 від «25» 03 2019 р.

Рецензенти:

1. Федонюк Т.П., д.с.-г.н., доцент кафедри екології лісу та безпеки життєдіяльності Житомирського національного агроекологічного університету.
2. Коткова Т.М., к.с.-г.н., доцент кафедри геодезії та землеустрою Житомирського національного агроекологічного університету.
3. Толкач О.М., к.т.н., доцент кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. Бакка М.Т. Житомирського державного технологічного університету.

Практикум розроблено професором кафедри екології М.М. Вінічуком. При написанні практикуму були використані праці М.Д. Павлової (1984), А.П. Лосева (1988) та М.Й. Долгілевича (2002) та ін.

Зміст	Стор.
Вступ	1
Тема 1. Прилади для вимірювання характеристик вітру	2
Тема 2. Прилади для вимірювання атмосферного тиску	13
Тема 3. Прилади для актинометричних спостережень	22
Тема 4. Прилади для вимірювання температури повітря та ґрунту	33
Тема 5. Прилади для вимірювання вологості повітря	49
Тема 6. Прилади для вимірювання атмосферних опадів, вологості ґрунту та випаровування з ґрунту	60
Тема 7. Передбачення погоди синоптичним методом	70
Література	84
Додатки	85

## Вступ

Мета практикуму допомогти студентам екологічних спеціальностей краще засвоїти знання з курсу “Метеорологія та кліматологія”. У практикумі подано опис, будову, та принципи роботи ряду метеорологічних приладів, що використовуються для вимірювання параметрів основних метеорологічних величин, таких як швидкості та напрямку вітру, атмосферного тиску, потоків сонячної радіації, температури ґрунту та повітря, вологості повітря та ґрунту, атмосферних опадів тощо. Вимірювання параметрів метеорологічних величин необхідне для отримання інформації про стан атмосфери та педосфери, як основних екологічних середовищ. Практикум містить лабораторні та практичні роботи, а також містить матеріал, який буде корисним при самостійному вивченні дисципліни студентами.

## Тема 1. Прилади для вимірювання характеристик вітру

*Мета роботи: ознайомитися з будовою та принципом дії приладів для вимірювання характеристик вітру, навчитися визначати (вимірювати) характеристики вітру та виконати завдання.*

### 1.1. Теоретичні відомості.

Рух повітря щодо земної поверхні, в якому переважає горизонтальна складова називається вітром. Причина виникнення вітру – нерівномірність розподілу атмосферного тиску над поверхнею земної кулі через неоднакове прогрівання різних її ділянок. На метеорологічних станціях спостереження за вітром проводять за його напрямком і швидкістю. Напрямок вітру задається стороною горизонту, звідки дме вітер (румбом), або кутом, утвореним напрямком вітру з меридіаном місця. Під час спостереження за вітром у високих широтах атмосфери напрямок визначається в градусах (від півночі за годинниковою стрілкою), а при спостереженнях на наземних метеорологічних станціях – у румбах горизонту. Швидкість вітру виражається в метрах за секунду (м/с), кілометрах за годину (км/год.) та у вузлах (морських милях за годину). Співвідношення:  $1 \text{ м/с} = 3,6 \text{ км/год.}$

$1 \text{ м/с} = 2,24 \text{ миль/год.}$   $1 \text{ км/год.} = 0,62 \text{ миль/год.}$

### 1.2. Прилади для вимірювання характеристик вітру.

Для вимірювання характеристик вітру (напрямку та швидкості) використовують анемометри, анеморумбометри, анеморумбографи та флюгери. Усі прилади для вимірювання характеристик вітрового режиму умовно поділяють на три групи:

- прилади для вимірювання миттєвої та середньої швидкостей вітру (анемометр індукційний, анемометр чашковий і анемометр крильчастий);
- прилади, що визначають швидкість і напрямок вітру, але при обов'язковій участі спостерігача (флюгер Вільда, вітромір Третьякова);
- прилади для вимірювання напрямку і швидкості вітру в дистанційному режимі (анеморумбометри і анеморумбографи).

Анемометри (від гр. *anemos* – вітер) – це метеорологічні прилади для вимірювання елементів вітру. Повітряні потоки характеризуються швидкістю та напрямком. Анемометрами можна визначити один з цих елементів (зазвичай швидкість) або обидва.



Рис. 1.1. Анемометр ручний

Ручний анемометр МС-13 (рис. 1.1.) призначений для вимірювання середньої швидкості повітряного потоку за певний період часу з допомогою секундоміра на метеорологічних станціях. В метеорології використовується в основному для вимірювань швидкості вітру на відкритих ділянках.

Технічні характеристики приладу:

- діапазон вимірювання середньої швидкості повітряного потоку від 1 до 20 м/сек;
- чутливість не більше 0,8 м/сек;
- межа допустимої похибки не більше  $\pm (0,3 + 0,05 V)$  м/с, де  $V$  - вимірювана середня швидкість повітряного потоку, м/с;
- умови застосування анемометра: температура повітря від мінус 45 до плюс 50 °С;
- габаритні розміри не більше 170x70x70 мм;
- маса, не більше 0,25 кг.

Анемометр буває двох типів – чашковий і крильчастий. Приймальною частиною анемометра є хрестовина з чотирма порожнистими металевими півкулями (чашковий), або металевими крильцями (крильчастий), що обертаються у горизонтальній площині. Обертання чашок (крилець) передається на лічильник обертів. На анемометрах є три шкали, які поділені відповідно на тисячі, сотні, десятки та одиниці обертів.

### 1.3. Вимірювання швидкості руху повітря.

Записати початкові покази за шкалами лічильника. Виходять на місце проведення вимірювань, прилад піднімають у витягнутій руці (або закріплюють на жердині), орієнтуючи його в сторону вітру. Через 10–15 с, коли чашки/крильця почнуть обертатися з постійною швидкістю, одночасно вмикають анемометр та секундомір. Через 100 с анемометр вмикають і записують нові показники за шкалами лічильника. Визначають різницю в показах лічильника. Вимірювання повторюють 3 рази. Знаходять суму різниць показів лічильника і ділять її на сумарний час вимірів. Таким чином, дізнаються зміну показу лічильника за одну секунду. Під час замірів площина крильчатки повинна бути перпендикулярною до напрямку повітряного потоку. До кожного приладу додаються графіки для визначення дійсної швидкості руху повітря (рис.1.2).

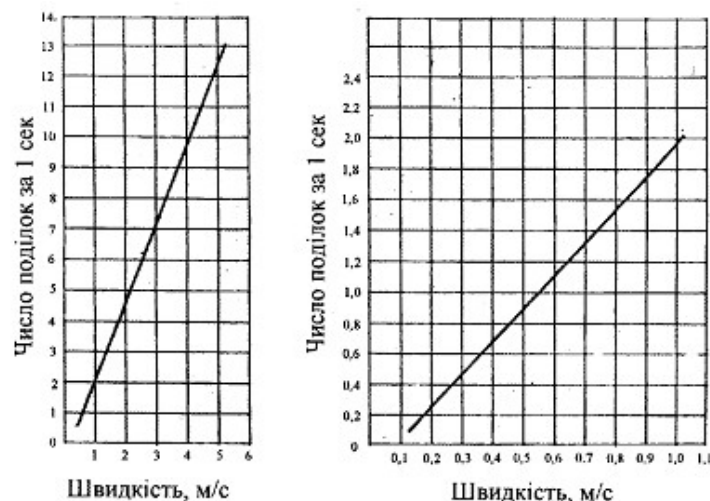


Рис. 1.2. Графіки для визначення дійсної швидкості руху повітря

Швидкість руху повітря знаходять розрахунковим способом користуючись графіками (рис. 1.2). Результати вимірювань та розрахунків вписують у таблицю 1.1.

Таблиця 1.1.

Визначення швидкості руху повітря. Місце ....., час....., номер анемометра				
№	Показники анемометра			Швидкість руху повітря, м/с
	початковий	кінцевий	різниця показників	
1				
2				
3				

Анемометр ручний індукційний АРІ-49 призначений для вимірювання усередненого значення швидкості вітру (середнє значення за 2–3 с) в наземних умовах (рис 1.3).

Технічні характеристики приладу:

- діапазон вимірювання швидкості вітру від 2,0 до 30 м/с;
- чутливість не більше 1,5 м/с; ціна поділки шкали 1,0 м/с;
- межа допустимої похибки не більше  $\pm 0,5$  м/с.
- анемометр розрахований для роботи в районах з помірним кліматом при температурі від мінус 40 до плюс 45 °С і відносній вологості повітря 80% при температурі 20 °С;
- габаритні розміри не більше: діаметр – 120 мм, висота – 200 мм;
- маса, не більше 0,35 кг.



Рис. 1.3. Анемометр ручний індукційний АРІ-49

Дія анемометра АРІ-49 заснована на вимірюванні кутової швидкості обертання трьохчашкової метеорологічної вертушки методом електричного індукційного тахометра. При користуванні приладом АРІ-49 перерахунки роботи немає потреби, швидкість вітру (м/с) вказано на шкалі анемометра.

Флюгер. Напрямок руху повітряних потоків найчастіше визначається флюгером – платівкою клиноподібної форми з противагою (рис. 1.4.). Основною частиною приладу є флюгарка (рис. 1.4), яка зазвичай складається з двох пластинок, розташованих під кутом 20°.

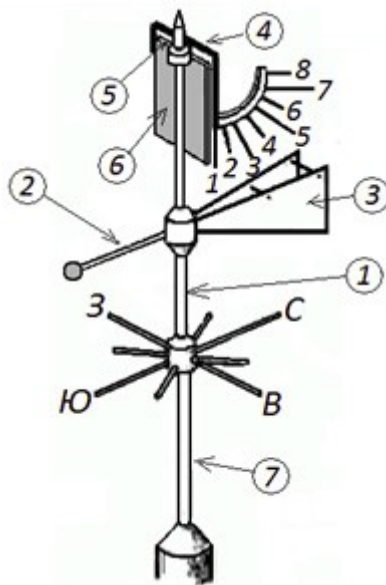


Рис. 1.4. Флюгер Вільда: вертикальна трубка (довжиною 600 мм) із завареним загостреним верхнім кінцем (1); передній горизонтальний стрижень флюгера з кулькою-вантажем противаги (2); крильчатка флюгера (3); верхня рамка (4); горизонтальна вісь шарніра дошки (5); вітровимірвальна дошка (6); нижній нерухомий вертикальний стрижень з укріпленими на ньому покажчиками сторін світу (7): С – північ, Ю – південь, З – захід, В – схід; № 1 - № 8 – штифти показника швидкості вітру

Флюгер Вільда призначений для визначення напрямку та швидкості вітру в стаціонарних умовах. Його встановлюють на висоті 10–12 м від поверхні Землі. Напрямок вітру визначають за положенням флюгарки на вертикальному стержні. Противага флюгарки під дією вітру завжди займає зустрічне положення, а сама флюгарка вказує напрямку вітру. На стержні нижче флюгарки закріплена муфта з восьми штифтами, орієнтованими за сторонами світу, на кінці північного штифта закріплені літери Пн (або N). Для визначення напрямку вітру спостерігач протягом 2 хв. стежить за коливанням флюгарки відносно штифтів, після чого записує її середнє положення. Показник швидкості вітру розташований у верхній частині флюгарки і обертається разом із нею. Це металева пластинка (“дошка”), яка вільно підвішена на горизонтальній осі рамки із сектором, на якому закріплено вісім штифтів, що показують швидкість вітру. “Дошка” орієнтована перпендикулярно напрямку вітру. Чим сильніший вітер, тим на більший кут він відхиляє пластинку від початкового положення. Спостерігаючи протягом 2 хв за коливанням її відносно штифтів на дузі показника, визначають середнє положення, яке потім переводять у метри за секунду (за таблицею, додаток 1). Швидкість вітру до 20 м/с визначають флюгером з легкою “дошкою” (200 грам), а понад 20 м/с – за важкою “дошкою” (800 грам).

Напрямок вітру позначається найменуванням сторін світу, звідки він дме; точки горизонту, звідки дме вітер, називаються румбами; горизонт поділяється на 8 або 16 румбів (рис. 1.5).

Для побудови рози вітрів від початку координат відкладають у масштабі повторюваності вітрів різних напрямків (у відсотках) і кінці цих відрізків з’єднують ламаною лінією. Повторюваність штилів вказують у відсотках у центрі діаграми. Це відсоток усіх випадків штилю по відношенню до усіх строків спостереження.



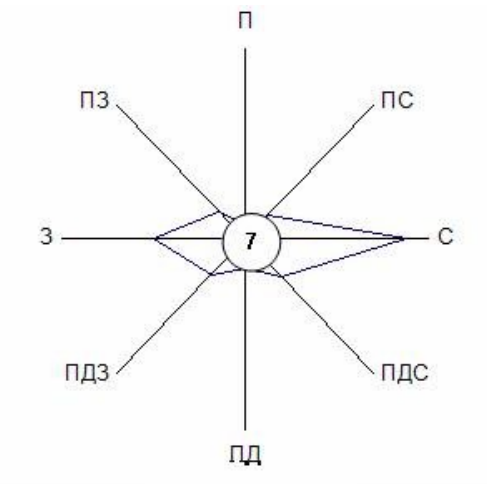


Рис. 1.5. Роза вітрів

Зазвичай враховують панівні (домінуючі) напрямки вітрів у даній місцевості, які визначаються шляхом тривалих (зазвичай протягом року) щодобових спостережень. На основі одержаних даних будується графік (роза вітрів) (рис. 1.5). Роза вітрів — це відсоткове співвідношення за рік (чи інший проміжок часу) повторюваності напрямку вітрів за кожен день за кожним з 8 румбів, а також днів штилю. Напрямок панівних вітрів має важливе гігієнічне значення: їх обов'язково враховують при плануванні будівництва, розміщенні промислових підприємств, спортивних споруд тощо.

Анеморумбометр М-47 призначений для дистанційного вимірювання швидкості і напрямку вітру на відстані від нього до 100 м (рис 1.6).



Рис. 1.6. Анеморумбометр М-47

Принцип дії приладу: використання залежностей між швидкістю вітру і частотою обертання вертушки та між напрямком вітру і вільно орієнтованою флюгаркою датчика

вітру. Швидкість і напрямок вітру перетворюються в електричні сигнали, які відлічують візуально за показами вимірювального пульта. Швидкість вітру від 1,5 до 50 м/с, напрямок – від 0 до 360 град. Живлення від 220 В і батареї 6 В.

Анеморумбограф М-63МР призначений для вимірювання і реєстрації середньої, миттєвої і максимальної швидкостей та напрямку вітру. Він виконаний на базі електронного автоматичного потенціометра КСП-4 (реєструючий пристрій) та анеморумбометра М-63М-1. Принцип його роботи аналогічний принципу роботи анеморумбометра М-63М-1.

Анемометр АСО-3 призначений для вимірювання середньої швидкості направлено повітряного потоку в промислових умовах (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Анемометр АСО-3

Швидкість потоку визначається за градувальним графіком, що додається до анемометра. До анемометра АСО-3 додається два графіки, один з яких застосовується при швидкості направлено потоку до 1 м/с, а другий – при швидкості від 1 до 5 м/с. Ці анемометри є більш чутливими і здатні вимірювати швидкості від 0,1 м/с. Приймальний пристрій має вигляд крильчатки, яка приводиться в рух потоком повітря.

Технічні характеристики приладу:

- діапазон вимірювання середньої швидкості направлено повітряного потоку від 0,3 до 5,0 м/с;
- чутливість, не більше 0,2 м/с;
- межа допустимої похибки, не більше  $(0,1 + 0,5 V)$  м/с ( $V$  – вимірювана середня швидкість потоку, м/с);
  - час вимірювання – 5 с;
  - час індикації показань – 3 с;
- габаритні розміри зі знятою ручкою, не більше 110x110x105 мм;
- вага, не більше 0,45 кг.

Серед сучасних приладів варто назвати термоанемометри та ультразвукові анемометри. Принцип дії термоанемометрів ґрунтується на реєстрації впливу повітряного потоку на температуру нагрітого провідника або тіла.

Анемометри цього типу чутливі до зміни як швидкості вітру, так і температури. В ультразвукових анемометрах використовують звук (ультразвук), який поширюється швидше у напрямку, в якому дме вітер. Такі прилади можуть вимірювати швидкості вітру до 30 м/с. Точність вимірювання ультразвукових анемометрів залежить від температури

повітря, його вологості та атмосферного тиску, що потребує відповідного калібрування приладів. Крім того, електронне обладнання підвищує вартість приладів цього типу.

Щогла метеорологічна ММ-49. Щогла має “стовбур”, що складається з чотирьох трубчастих металевих секцій, з'єднаних між собою (рис. 1.8). “Стовбур” встановлений на металевій шарнірній підставі і закріплюється у вертикальному положенні тросовими розтяжками, що прикріплені до підстави трьома анкерними плитам. У секціях “ствола” вмонтовані оголовки для кріплення датчиків приладів дистанційної метеорологічної станції типу М-49, анеморумба М-47 та ін. приладів.

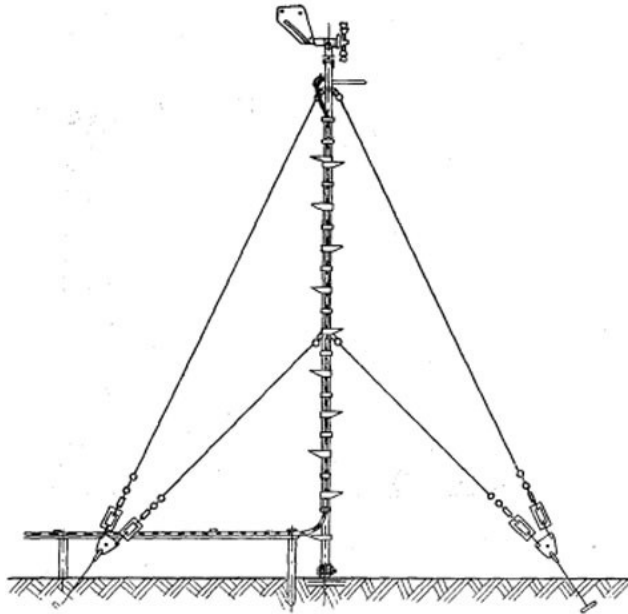


Рис. 1.8. Щогла метеорологічна ММ-49

#### 1.4. Визначення швидкості та напрямку вітру.

Прилади та обладнання.

Анемометр ручний, вентилятор, секундомір (або годинник із секундною стрілкою), довідковий матеріал.

#### 1.5. Завдання.

1. Визначити швидкість повітряного потоку.

Хід роботи

1. Вивчити будову ручного анемометра МС-13.
2. Встановити вентилятор на лабораторному столі біля розетки.
3. Закріпити на горизонтальній рейці анемометр на відстані 100 см від вентилятора.
4. Зробити відлік початкових показів за шкалами анемометра, тобто по шкалі тисяч, сотень, і десятків (великій шкалі). Після всіх відліків отримаємо чотиризначні числа, напр., 6710 або 0344.
5. Увімкнути вентилятор.
6. Після того як вентилятор працюватиме на повну потужність, одночасно увімкнути анемометр і секундомір (або засікти положення секундної стрілки на годиннику).
7. Через 100 секунд вимкнути анемометр, зробити відлік і записати.
8. Повторити вимірювання швидкості вітру на відкритій місцевості.
9. Обчислити швидкість повітряного потоку у приміщенні (аудиторії) та на відкритій місцевості. Одержані дані занести в таблицю за формою:

Таблиця 1.2.

## Результати вимірювання швидкості вітру.

Місце проведення вимірювання ....., дата ....., час доби .....

№ приладу	Кількість поділок			Експозиція, с	Кількість поділок за 1 с	Швидкість вітру, м/с
	початкові покази	кінцеві покази	різниця			

2. За даними таблиці 1.3. побудувати розу вітрів та зробити висновок про те, де краще розташовувати промислові підприємства від населених пунктів? Який напрямок повинні мати лісові смуги?

Таблиця 1.3.

## Повторюваність напрямків вітру, %

Варіанти	Місто	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗх	Зх	ПнЗх	Штиль
1	Вінниця	12	13	7	11	15	14	14	14	7
2	Луцьк	4	4	8	13	18	14	23	16	7
3	Дніпро	9	13	10	15	15	13	9	16	12
4	Донецьк	7	13	16	26	5	13	12	8	4
5	Житомир	8	12	16	13	14	15	18	14	6
6	Ужгород	10	10	14	40	8	2	4	12	39
7	Івано-Франківськ	5	1	8	27	4	7	25	23	33
8	Запоріжжя	13	17	14	12	13	13	10	8	7
9	Київ	11	10	11	12	9	11	20	16	8
10	Кропивницький	14	10	8	16	12	12	14	14	8
11	Луганськ	5	10	27	15	5	12	17	9	19
12	Львів	4	6	9	16	12	18	23	12	16
13	Миколаїв	15	21	12	11	10	10	8	13	16
14	Одеса	19	15	11	5	8	11	14	17	1
15	Полтава	8	13	14	14	11	16	14	10	2
16	Рівне	7	5	8	13	14	14	27	12	7
17	Суми	7	9	10	19	13	16	14	12	6
18	Тернопіль	7	5	10	19	14	8	18	19	7
19	Харків	9	12	17	16	10	12	13	11	8
20	Херсон	16	23	17	12	7	7	8	10	12
21	Хмельницький	5	5	7	21	14	10	18	20	13
22	Черкаси	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	Чернігів	10	10	11	12	14	14	16	13	6
24	Чернівці	3	2	19	20	4	6	10	36	17

3. Розрахувати швидкості вітру на різних висотах. Для визначення швидкості вітру на певній висоті ( $U_z$ ) використовують апроксимаційну формулу, в яку входить значення швидкості вітру для даної місцевості на висоті 10 м ( $U_{10}$ ):

$$U_z = U_{10} \left( \frac{z}{10} \right)^b \quad 1.1$$

де  $z$  – висота, м;  $b$  – параметр для відкритих місць (0,14).

Значення параметра  $b$  різні в різну пору року і протягом однієї доби. Тому приведеною вище формулою варто користуватися лише для висот до 50 м. Вихідні дані для розрахунків наведені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4.

Швидкість вітру на різних висотах, м/с

Варіанти	$U_z$	$U_{10}$	$z$ , м	Варіанти	$U_z$	$U_{10}$	$z$ , м
1	12	—	13	13	-	15	14
2	-	4	4	14	13	-	14
3	15	-	13	15	-	15	13
4	-	7	13	16	26	-	13
5	3	-	12	17	-	14	15
6	-	10	10	18	40	-	2
7	17	-	1	19	-	4	7
8	-	13	17	2	12	-	13
9	14	-	10	21	-	9	11
10	-	12	15	22	16	-	12
11	18	-	20	23	-	21	16
12	7	-	9	24	14	-	19

За результатами розрахунків зробити висновки.

4. Розрахувати середню швидкість вітру ( $U_{cp}$ ) за вибраний проміжок часу ( $T = t_2 - t_1$ ). Середня швидкість вітру за вибраний проміжок часу визначається відношенням суми вимірних значень миттєвої швидкості  $U$  до числа вимірювань  $n$ :

$$U_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n} \quad 1.2$$

Вихідні дані для розрахунків приведені у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5.

Середньо-годинні швидкості вітру, м/с

Варіанти	Місто	Години спостереження						
		24-00	03-00	06-00	09-00	12-00	15-00	18-00

1	Вінниця	1,1	1,3	1,8	2,4	3,5	3,4	2,4	1,4
2	Луцьк	1,7	1,9	2,8	2,7	4,5	3,8	3,1	1,0
3	Дніпро	2,0	3,3	3,7	2,9	3,6	4,1	4,0	2,2
4	Донецьк	2,1	3,5	2,9	2,9	3,7	4,4	3,0	1,2
5	Житомир	1,8	2,1	3,5	3,7	2,9	3,9	2,8	1,5
6	Ужгород	1,0	1,6	2,4	3,9	4,1	3,3	2,9	1,0
7	Івано-Франківськ	1,5	1,9	2,7	2,8	3,5	4,4	4,4	2,4
8	Запоріжжя	1,2	2,2	2,6	3,0	4,7	3,8	2,2	1,6
9	Київ	1,1	1,0	2,1	2,9	3,9	2,7	2,0	1,6
10	Кропивницький	1,4	2,0	3,8	4,6	3,2	4,2	1,4	1,4
11	Луганськ	1,5	1,0	2,7	3,5	5,0	2,9	1,7	0,9
12	Львів	1,4	2,6	2,9	4,6	2,6	2,8	2,3	1,2
13	Миколаїв	1,5	2,1	2,9	4,8	5,0	4,0	3,8	1,3
14	Одеса	1,9	2,5	3,1	3,5	3,8	4,1	2,4	1,7
15	Полтава	1,8	1,3	1,4	3,4	4,1	4,6	4,4	1,0
16	Рівне	1,7	2,5	2,8	3,3	3,4	1,4	2,7	1,2
17	Суми	1,7	1,9	2,0	2,9	3,3	3,6	2,4	1,2
18	Тернопіль	1,7	1,5	1,0	3,9	2,4	2,8	1,8	1,9
19	Харків	1,9	3,2	4,7	4,6	3,0	3,2	3,4	1,1
20	Херсон	1,6	2,5	1,7	2,9	2,7	2,7	1,8	1,0
21	Хмельницький	1,5	1,5	4,7	4,2	1,4	1,0	1,8	2,0
22	Черкаси	-	-	-	-	-	-	-	-
23	Чернігів	1,0	3,0	3,1	3,2	4,4	1,4	1,6	1,3
24	Чернівці	1,3	2,9	2,9	2,0	4,0	3,6	1,0	3,6

Середньодобову швидкість знаходять розподілом на 24 суми середньо-годинних швидкостей вітру, а середньорічну – діленням на 365 сум усіх середньодобових швидкостей за рік.

5. За результатами розрахунків та виконання завдань зробити висновки.

Питання для самоконтролю та обговорення.

1. Що таке вітер, як визначаються швидкість і напрямок вітру?
2. Як змінюється градієнтний вітер з висотою у вільній атмосфері?
3. Охарактеризуйте добовий хід швидкості вітру в граничному шарі атмосфери.
4. Як впливають перешкоди на вітер?
5. Що таке місцеві вітри, чому вони виникають?
6. Причини виникнення бризів.
7. Що таке фен, та які причини його виникнення?
8. Бора та причини його виникнення.
9. Вітер. Шкала Бофорта.

10. Прилади для вимірювання сили й напрямку вітру.
11. Що таке роза вітрів і як вона будується?
12. Як визначається річний хід швидкості вітру.

## Тема 2. Прилади для вимірювання атмосферного тиску

*Мета роботи: ознайомитися з будовою та принципом дії приладів для вимірювання атмосферного тиску, навчитися визначати (вимірювати) атмосферний тиск та виконати завдання.*

### 2.1. Теоретичні відомості.

Атмосферний тиск є однією з найважливіших характеристик стану атмосфери, який залежить від щільності повітря та його температури. Так, 1 м<sup>3</sup> повітря при температурі 0 °С та нормальному тиску має масу 1,293 кг, що  $\approx$  у 800 разів менше щільності води.

Атмосферний тиск – це сила, з якою атмосфера (умовний стовп повітря, що розташований між поверхнею Землі та верхньою границею атмосфери) діє (тисне) на одиницю площі земної поверхні.

В метеорології атмосферний тиск розраховують так:

$$P = \rho \times g \times h \quad 2.1$$

де:  $\rho$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – прискорення вільного падіння (9,8 м/с<sup>2</sup>);  $h$  – висота, м.

Існує зв'язок між масою і прискоренням тіла та силою, що діє на нього. Ньютон визначається як сила, яка надає тілу масою 1 кг прискорення 1 м/с<sup>2</sup>:

$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2$$

Формула для розрахунку сили в Ньютонах (F):

$$F = m \times a \quad 2.2$$

де:  $m$  – маса, кг;  $a$  – прискорення (м/с<sup>2</sup>).

Отже, на тіло масою 1 кг, що знаходиться у вільному падінні ( $a = 9,8 \text{ м/с}^2$ ), діє сила 9,8 Н. Ваговий тиск рідини (ртуті) у системних одиницях тиску – паскалях<sup>1</sup> можна розрахувати так: густина ртуті становить  $13,6 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$ , висота стовпчика ртуті становить 760 мм (нормальний атмосферний тиск), а отже згідно з формулою (2.1) отримаємо:

$$P = (13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3) \times (9,8 \text{ Н/кг}) \times (0,76 \text{ м}) = 101292,8 \text{ Па} = 1012,9 \text{ гПа} \approx 1013 \text{ гПа}.$$

Атмосферний тиск тривалий час вимірювали в міліметрах ртутного стовпчика (мм.рт.ст). Крім мм.рт.ст. атмосферний тиск також може бути виміряний у інших міжнародних одиницях: бар (на практиці використовують мбар, позасистемна одиниця) та паскаль (на практиці – гПа, система СІ). Співвідношення між ними таке (додаток 2):

$$1 \text{ гПа} = 1 \text{ мбар} = 0,750062 \text{ мм рт.ст.};$$

$$1 \text{ мм рт.ст.} = 1,33322 \text{ гПа} = 1,33322 \text{ мбар};$$

$$1 \text{ мбар} = 0,001 \text{ бара};$$

$$1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па};$$

$$1 \text{ бар} = 10^6 \text{ дин/см}^2;$$

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2.$$

<sup>1</sup> на честь французького фізика та математика Блеза Паскаля (*Blaise Pascal*, 1623-1662).

<sup>2</sup> позасистемна одиниця сили – надає тілу з масою 1 г прискорення 1 см/с<sup>2</sup>.



Нехай маємо тиск стовпчика ртуті висотою 760 мм. При площі поперечного перерізу цього стовпа 1 см<sup>2</sup>, об'єм ртуті у ньому дорівнюватиме 76 см<sup>3</sup>. При питомій масі ртуті 13,6 г/см<sup>3</sup>, маса ртутного стовпчика з поперечним перерізом 1 см<sup>2</sup> складатиме 1,0336 кг (13,6 г/см<sup>3</sup> × 76 г/см<sup>3</sup>) або 1033,6 г (іноді такий тиск наз. фізичною атмосферою, атм). Відповідно, атмосферний тиск врівноважується стовпчиком ртуті з перерізом 1 см<sup>2</sup> та вагою 1,034 кг. Таким чином, над рівнем моря тиск становитиме 1,034 кг/см<sup>2</sup>.

Баричний ступінь. Баричний ступінь – це висота, на яку потрібно піднятися чи опуститися щоб атмосферний тиск змінився на одиницю:

$$h = \frac{8000}{P(1+\alpha t)}, \text{ м/гПа} \quad 2.3$$

Приведення атмосферного тиску до тиску на рівні моря. Атмосферний тиск на рівні моря (P<sub>м</sub>) можна визначити так:

$$P_m = P_{m/c} + \Delta P, \text{ гПа} \quad 2.4$$

де: P<sub>м/с</sub> – атмосферний тиск виміряний на метеостанції; ΔP – поправка на атмосферний тиск, що враховує висоту (H) метеостанції над рівнем моря:

ΔP = H/h, де h – баричний ступінь.

Отже:

$$P_m = P_{m/c} + H/h, \text{ гПа} \quad 2.5$$

## 2.2. Прилади для вимірювання атмосферного тиску.

Для вимірювання атмосферного тиску використовують ртутні барометри, барометри-анероїди (металеві, БАММ-1) та барографи (М-22АС або М-22АН).

Усі ці прилади, за сучасною термінологією, називаються засобами вимірювальної техніки (ЗВТ).

Ртутні барометри (рис. 2.1.) призначені для вимірювання атмосферного тиску на метеорологічних станціях. Атмосферний тиск даним ЗВТ визначається як еквівалент висоти ртутного стовпа. Прилад досить точний, встановлюють його у приміщеннях. Ртутний барометр – це пара сполучених посудин, всередині – ртуть, верх однієї скляної трубки довжиною приблизно 90 см – закритий, там немає повітря. Залежно від змін тиску ртуть під впливом повітря піднімається або опускається в скляній трубці, а невеликий поплавець показує рух ртутної маси і зупиняється на позначці, яка відповідає її рівню в міліметрах. Нормальним тиском є такий, при якому ртуть знаходиться на позначці 760 мм рт. ст. Ртутні барометри використовуються рідко (ртуть є отруйною речовиною), переважно в лабораторних умовах, на метеорологічних станціях і в промисловості там, де важлива точність передачі даних.

Барометр-анероїд БААМ-1 (рис. 2.2.) – це менш точний, але зручний у користуванні ЗВТ, який є основним приладом для вимірювання атмосферного тиску. У даному засобі вимірювальної техніки коливання атмосферного тиску сприймаються герметичними мембранними барокоробками (анероїдами), з яких відкачане повітря і передаються на стрілку барометра. Барометр-анероїд БАММ-1 призначений для вимірювання атмосферного тиску в наземних умовах при температурі від 0 до + 40°C і відносній вологості повітря до 80 %.

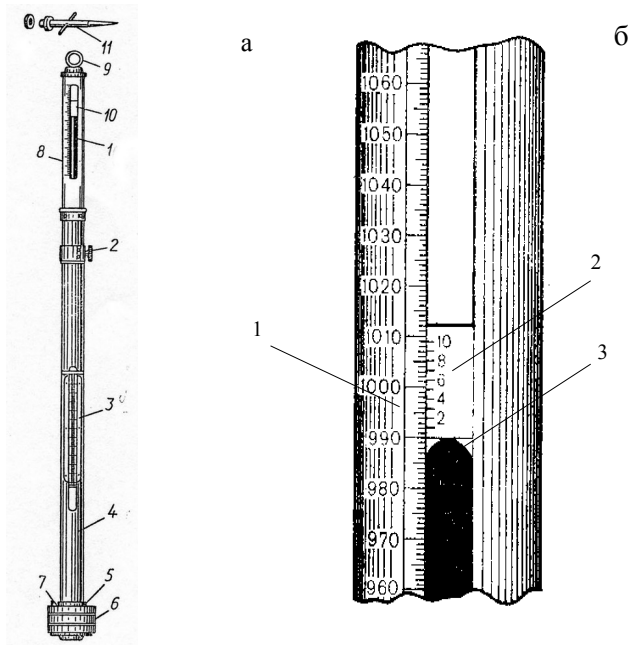


Рис. 2.1. Ртутний чашковий барометр (а): 1 – скляна трубка з ртуттю; 2 – кремальєра<sup>3</sup>; 3 – термометр; 4 – захисна оправа; 5 – гвинт із шкіряною шайбою; 6 – пластмасова чашка; 7 – верхня частина чашки з отвором для сполучення ртуті з повітрям; 8 – шкала з поділками; 9 – кільце для підвішування; 10 – верньєр<sup>4</sup> для наведення на меніск ртутного стовпчика; 11 – штифт для підвішування приладу. Розміщення ноніуса при вимірюванні тиску за ртутним барометром (б): 1 – основна шкала; 2 – ноніус; 3 – меніск ртуті



Рис. 2.2. Барометр-анероїд БАММ-1

<sup>3</sup> механізм (зубчасте колесо і рейка) для плавного переміщення рухомих частин в оптичних і вимірювальних інструментах.

<sup>4</sup> або ноніус - додаткова шкала у вимірювальних приладах для відліку часток поділок основної шкали.

Принцип дії даного ЗВТ заснований на властивості пружних тіл змінювати свою форму залежно від величини тиску. Всередині ЗВТ розташовується коробка з тонкими гофрованими стінками з металу (рис 2.3). При тиску повітря на її зовнішні стінки, коробка або стискається, або розпрямляється, важіль повертає стрілку в ту чи іншу сторону, яка і показує значення тиску. Величина деформації коробки при зміні тиску дуже мала (0,3 мм рт. ст.), але за допомогою системи важелів ці коробки збільшуються у 200 і 800 разів і передаються на стрілку – показчик, розташовану уздовж градуйованої шкали. Барометри бувають як настінного, так і настільного типу.

Технічні характеристики барометра БАММ-1:

- діапазон вимірюваного тиску, кПа: 80-106;
- межі допустимої похибки: основної, кПа:  $\pm 0,2$ ; додаткової, кПа:  $\pm 0,5$ ;
- ціна поділки шкали тиску, кПа: 0,1;
- маса приладу з футляром, кг: 1.

Порядок вимірювання атмосферного тиску барометром-анероїдом БАММ-1. Робоче положення барометра БАММ-1 - горизонтальне, шкалою догори. Барометр повинен бути захищений від впливів прямого сонячного випромінювання, різких коливань температур, потрапляння вологи в корпус, ударів і різких струсів. Відлік показань потрібно проводити з точністю до 0,05 кПа (0,5 мм рт.ст.).

Обрахування тиску за показаннями анероїда. Для отримання істинних величин тиску за показаннями анероїда, останні коригують трьома поправками: шкаловою (на тиск), температурною, і додатковою (постійна для кожного приладу), які приведені у перевірному свідоцтві (сертифікаті), що додається до анероїда.

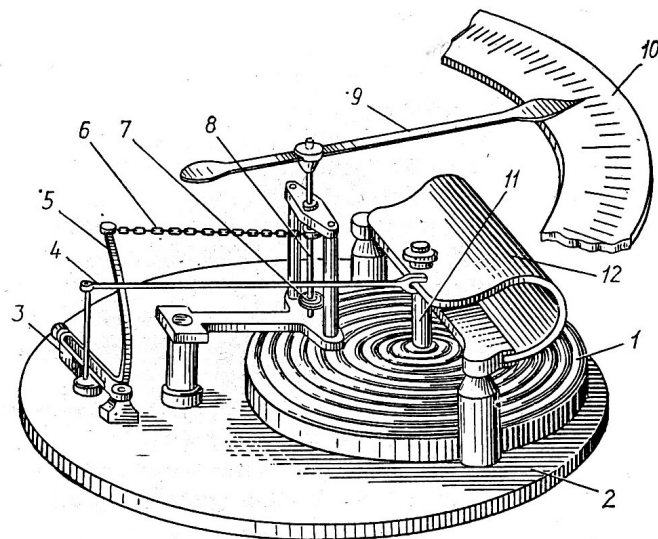


Рис. 2.3. Механізм барометра-анероїда БАММ-1: 1 – анероїдна коробка; 2 – металеве плато; колінчастий вал; 4 – стрижень; 5 – важіль; 6 – ланцюг; 7 – пружина; 8 – вісь; 9 – стрілка; 10 – шкала; 11 – ніжки; 12 – пружина

Шкалова поправка (поправка на тиск). У кожного анероїда є інструментальні поправки (в передавальному механізмі), які можуть спричинити розбіжності між показаннями анероїда та істинним тиском. Величина розбіжностей може бути неоднаковою в різних ділянках шкали.

Похибки у показаннях анероїда виявляють шляхом вимірювання ними тиску, створюваному в штучних умовах, та порівняння їх з показаннями ртутного барометра.

Поправки на проміжні значення тиску знаходяться шляхом інтерполяції між двома сусідніми значеннями.

Температурна поправка. При зміні температури показання анероїда змінюються внаслідок того, що пружність мембранної коробки і пружність пружини не залишаються постійною. При підвищенні температури їх пружність зменшується в силу того, що коробка стискається більше і анероїд дає завищені показання, хоча в дійсності тиск повітря не змінюється. Отже, при одному і тому ж атмосферному тиску показання анероїда можуть бути різними залежно від його температури. Щоб виключити вплив температури, показання анероїда приводять до температури при 0 °С. З цією метою, для кожного анероїда визначають температурний коефіцієнт, який зазначається у сертифікаті. Величина температурної поправки для приведення показань анероїда до температури 0 °С обчислюється за формулою:

$$\pm \Delta P_t = c \times t \quad 2.6$$

де  $t$  – відлік температури за термометром анероїда;  $c$  – температурний коефіцієнт, що враховує величину зміни тиску при зміні температури на 1 °С.

При значенні коефіцієнта температурного розширення газів  $\alpha = 0,0036$  (1 / 273 °С) температурна поправка становитиме:

$$\Delta P_t = \pm \alpha \times t \quad 2.7$$

Додаткова поправка. Дана поправка зумовлена змінами пружності пружини та коробки внаслідок зміни структури металу.Dodatkowa поправка змінюється з часом, тому анероїди періодично перевіряють шляхом співставлення показань анероїда з ртутним барометром.

Усі три поправки алгебраїчно підсумовують (з урахуванням знака “+” чи “-”) згідно з показаннями анероїда, в результаті чого отримують істинне значення атмосферного тиску.

Барограф метеорологічний анероїдний М-22А (рис. 2.4) призначений для графічної реєстрації величин атмосферного тиску протягом заданого інтервалу часу всередині приміщення або зовні.



Рис. 2.4. Барограф метеорологічний анероїдний М-22А

Даний ЗВТ розміщений у пластмасовому або дерев'яному корпусі, до основи якого вмонтовано вісь механізму ЗВТ, до складу якого входять блок барометричних коробок,

система важелів, стрілка з пером на її кінці, регулювальний гвинт, барабан з годинниковим механізмом та паперова діаграмна стрічка. Чутливим елементом барографа є блок анероїдних коробок.

Принцип дії барографа М-22А полягає у властивості анероїдних коробок деформуватися при зміні атмосферного тиску. Сумарна деформація блоку анероїдних коробок передається стрілкою з пером через передавальний механізм. Запис змін атмосферного тиску проводиться на діаграмному бланку, закріпленому на барабані. Барабан приводиться в обертання годинниковим механізмом. Барографи М-22М випускаються в 2-х модифікаціях: добові та тижневі. Для проведення вимірювання даний ЗВТ встановлюють горизонтально, захищають від сонячних променів та віддаляють від опалювальних приладів. Попередньо накручують пружину годинникового механізму, а на барабан надівають паперову стрічку, зробивши на ній помітки про місце і час установлення. Після цього барабан ставлять на своє місце, підводять до нього перо і за допомогою регулювального гвинта вмонтовують його в ту точку стрічки, яка відповідає тиску за барометром у момент запуску барографа.

Технічні характеристики барографа М-22А:

- діапазон реєстрації змін атмосферного тиску, гПа: 100;
- межа реєстрації змін атмосферного тиску, гПа: 780-1060;
- абсолютна похибка вимірювання, гПа:  $\pm 1,0$ ;
- умови експлуатації – при температурі навколишнього повітря, ° С: від -10 до +50;
- габаритні розміри, мм: 325x145x255;
- маса, кг: 2,5.

Електронні барометри. Вимірювач атмосферного тиску цифровий БАР (рис. 2.5) складається з вимірювального блока та блока живлення. Прилад призначений для вимірювання атмосферного тиску на метеопостах, метеомайданчиках і аеродромах. Може використовуватися як автономний пристрій, так і в складі автоматизованих гідрометеорів-логічних систем збору інформації. Вимірювач є конструктивно закінченим мікропроцесорним обладнанням, обладнаний 5-розрядним рідкокристалічним індикатором. Програмно-апаратні засоби вимірювача забезпечують його стійку роботу в умовах впливу перешкод з живленням. Для зв'язку з ПЕОМ або іншими зовнішніми пристроями використовується інтерфейс RS-232. Діапазон вимірювання атмосферного тиску даного приладу від 650 до 1080 гПа; абсолютна похибка вимірювань –  $\pm 0,3$  гПа; роздільна здатність – 0,01 гПа.



Рис. 2.5. Вимірювач атмосферного тиску цифровий БАР

Існують і інші цифрові барометри, у яких лінійні показники звичайного барометра анероїда перетворюються в електронний сигнал, який обробляється мікропроцесором і виводиться на рідкокристалічний екран. У таких ЗВТ вимірювання атмосферного тиску здійснюється особливими датчиками, які створюють електричний сигнал, пропорційний

атмосферному тиску. Даний ЗВТ має компактні розміри, простий і зручний у використанні. Існують також цифрові варіанти барометрів, які вбудовані як додаткова функція в мобільні пристрої. Перевагами електронних пристроїв є надання інформації в цифровому вигляді і можливість прямої взаємодії з мікропроцесорними системами керування. Перевагами класичних датчиків є їх ціна та надійність.

### 2.3. Завдання.

1. Визначити різницю висот за різницею атмосферних тисків.
  - ЗВТ та обладнання;
  - барометр-анероїд.
  - термометр строковий.

Порядок виконання роботи.

1. Перевірити і підготувати барометр та термометр для роботи.
2. Підготувати таблицю для запису результатів вимірювання.
3. Провести вимірювання тиску та температури на нижньому та верхньому рівнях.
4. Результати вимірювань записати у таблицю та виконати розрахунки згідно з барометричним рівнянням за такою спрощеною формулою:

$$H_v - H_n = \frac{16000 (P_n - P_v)(1 + \alpha t)}{(P_n + P_v)}, \text{ м} \quad 2.8$$

де  $H_v - H_n$  – різниця висот двох пунктів, м;  $t$  – середня температура шару повітря, °С;  $P_n$  та  $P_v$  – атмосферний тиск на нижньому та верхньому рівнях, гПа;  $\alpha$  – коефіцієнт теплового (об'ємного) розширення повітря ( $\alpha = 1/273 \approx 0,00366$ ).

Таблиця 2.1.  
Записи спостережень за тиском та температурою повітря на рівнях  $H_v - H_n$

Дата вимірювання, номер ЗВТ	Рівень визначення	Показники ЗВТ, гПа			Показники термометра, °С		
		відлік	шкалові поправки на:		відлік температури	поправка	істинна температура
			температуру	тиск			
	$H_n$						
	$H_v$						

### 2.4. Задачі:

1. Виразити в гПа атмосферний тиск за такими даними:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Р, мм.рт.ст	810; 740; 780	750; 744; 765	780; 755; 744	790; 795; 762	760; 751; 750	805; 771; 748	740; 750; 762	760; 755; 743	801; 766; 747	750; 748; 765

2. Визначити висоту стовпа ртуті (мм.рт.ст) який зрівноважується таким атмосферним тиском (гПа):

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

P, гПа	920; 1001; 899	970; 995; 1015	980; 899; 1018	990; 950; 1020	995; 889; 1007	985; 991; 1017	974; 899; 1012	899; 975; 1013	897; 989; 1017	995; 1002; 1021
--------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-----------------------

3. Яка висота гори, якщо біля підніжжя ( $P_n$ ) та на вершині ( $P_v$ ) гори барометр показує такий тиск та температуру ( $t_n, t_v$ )?:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_n$ , мм.рт.ст.	750	765	762	755	763	762	757	760	755	754
$P_v$ , мм.рт.ст.	730	743	748	734	741	748	739	741	735	731
$t_n$ , °C	13,0	19,3	21,4	18,6	24,4	18,7	17,1	22,7	21,1	12,7
$t_v$ , °C	12,8	19,0	21,0	18,4	24,1	18,5	16,9	22,5	20,0	12,3

4. На якій глибині тиск становитиме?:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P, гПа	1035	1044	1037	1054	1042	1031	1027	1036	1035	1044

5. З якою силою тисне атмосфера на людину при нормальному атмосферному тиску та такій площі поверхні тіла (S)?:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S, м <sup>2</sup>	1,35	1,44	1,47	1,51	1,43	1,39	1,46	1,38	1,39	1,45

6. Яка приблизна висота гори, якщо біля її підніжжя атмосферний тиск нормальний, а на вершині тиск становить (P)?:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P, мм.рт.ст.	732	741	717	721	713	719	726	738	729	725

7. Привести атмосферний тиск до тиску на рівня моря, якщо висота метеостанції над рівнем моря (H), атмосферний тиск (P) та температура повітря (t) становлять:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H, м	2240	2134	2167	2221	2300	2219	2258	2283	2179	2275
P, мбар	617	622	719	619	608	634	617	623	609	625
t, °C	4,5	4,8	3,2	6,9	5,7	5,1	5,9	6,1	6,3	5,7

8. Визначте тиск повітря на поверхню площею 1 м<sup>2</sup> при такому атмосферному тиску (P):

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

P, мм.рт.ст	775	748	749	759	768	754	757	761	759	771
-------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Питання для самоконтролю та обговорення.

1. Чому існує атмосферний тиск?
2. Який атмосферний тиск вважається нормальним?
3. Чому атмосфера утримується біля Землі?
4. Чи однакова густина повітря на всіх висотах?
5. Яка залежність між висотою і атмосферним тиском?
6. Як за змінами атмосферного тиску можна визначити висоту?
7. Чи можна за показаннями барографа передбачити зміни погоди?



### Тема 3. Прилади для актинометричних спостережень

*Мета роботи: ознайомитися з будовою та принципом дії приладів для актинометричних спостережень, навчитися визначати (вимірювати) потоки сонячної радіації та виконати завдання.*

#### 3.1. Теоретичні відомості.

Вимірювання прямої, розсіяної та сумарної сонячної радіації. Частина променистої енергії Сонця, яка приходить до земної поверхні від видимого диска Сонця у вигляді паралельних променів, називається прямою сонячною радіацією.

Пряма сонячна радіація характеризується: інтенсивністю ( $S$ ) – це радіація, яка надходить на перпендикулярну абсолютно чорну поверхню і вимірюється актинометром; інсоляцією ( $S'$ ) – величина приходу прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню:

$$S' = S \times \sin(h_0) \quad 3.1$$

де:  $h_0$  – висота Сонця над горизонтом, град (додаток 3).

Частина сонячної радіації, що після розсіювання в атмосфері надходить на горизонтальну поверхню, називається розсіяною радіацією ( $D$ ).

Сумарна радіація ( $Q$ ) – сума прямої ( $S'$ ) і розсіяної ( $D$ ) радіації, тобто:

$$Q = S' + D \quad 3.2$$

$$Q = S \times \sin(h_0) + D \quad 3.3$$

Потужність потоку сонячної радіації в Міжнародній системі одиниць (СІ) виражається у ватах на  $1 \text{ м}^2$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ). У метеорології потужність потоку сонячної радіації звичайно виражали в калоріях на площу в  $1 \text{ см}^2$  за 1 хв. [ $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв.})$ ]. Прихід радіації, що складає  $1 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв.})$ , дорівнює  $698 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

Співвідношення:

$$1 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв.}) = 698 \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) = 698 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

$$1 \text{ кал}/\text{см}^2 = 4,19 \cdot 10^4 \text{ Дж}/\text{м}^2; 1 \text{ ккал}/\text{см}^2 = 4,19 \cdot 10^4 \text{ кДж}/\text{м}^2.$$

Відбита радіація ( $R_k$ ) – частина сонячного випромінювання, яке відбивається земною поверхнею. Відбиту радіацію ( $R_k$ ) найчастіше характеризують безрозмірною величиною – відбивальною здатністю (або альбедо) тієї чи іншої поверхні, на яку падає сонячна радіація.

Альбедо ( $A_k$ ) – відношення відбитої радіації до сумарної, виражається в частинах одиниці (з точністю до сотих) або у відсотках. Альбедо розраховується за формулою:

$$A_k = R_k \times 100/Q \quad 3.4$$

Таблиця 3.1.

Альбедо різних природних поверхонь, %  
(за М.І. Будико і В.Л. Гаєвським)

Поверхня	Альбедо	Поверхня	Альбедо
Свіжий сухий сніг	80–95	Посіви жита і пшениці	10–25
Сніг забруднений	40–50	Посіви картоплі	15–25
Лід морський	30–40	Луки	15–25

Ґрунти темні	5–15	Степ сухий	20–30
Ґрунти сухі глинисті	20–35	Ліси хвойні	10–15
Ґрунти сухі піщані	25–45	Ліси листяні	15–20

Частина сумарної радіації, яка поглинається земною поверхнею, називається поглинутою радіацією ( $R_n$ ):

$$R_n = Q - R_k \quad 3.5$$

$$R_n = Q (1 - A_k / 100) \quad 3.6$$

Різницю між надходженням і витратами радіації називають радіаційним балансом, або залишковою радіацією.

Рівняння радіаційного балансу має такий вигляд:

$$B = S' + D - R_k - E_{\text{еф}} \quad 3.7$$

або

$$B = Q(1 - A) - E_{\text{еф}} \quad 3.8$$

Після відбиття частина сонячної радіації поглинається земною поверхнею – це поглинута радіація ( $C_k$ ):

$$C_k = Q - R_k \quad 3.9$$

або

$$C_k = Q(1 - A_k) \quad 3.10$$

Різниця між кількістю тепла, випромінюваного земною поверхнею, і теплом, яке вона дістає від зустрічного випромінювання атмосфери називають ефективним випромінюванням Землі ( $E_{\text{еф}}$ ).  $E_{\text{еф}}$  завжди спрямоване від земної поверхні (має знак “–”):

$$E_{\text{еф}} = E_z - E_a \quad 3.11$$

де:  $E_z$  – випромінювання Землі;  $E_a$  – випромінювання атмосфери.

Фотосинтетично активна радіація ФАР – частина променистої енергії Сонця, що рослини засвоюють у процесі фотосинтезу.

Для розрахунку ФАР використовують таке рівняння:

$$\sum Q \text{ ФАР} = 0,43 \sum S' + 0,57 \sum D \quad 3.12$$

де:  $\sum Q \text{ ФАР}$  – сумарна фотосинтетична активна радіація (Дж/м<sup>2</sup>);  $\sum S'$  – сума прямої радіації на горизонтальну поверхню (Дж/м<sup>2</sup>);  $\sum D$  – сума розсіяної радіації (Дж/м<sup>2</sup>).

### 3.2. Актинометричні спостереження.

Актинометричні спостереження – це спостереження за інтенсивністю потоків променистої енергії, які надходять до підстильної поверхні від Сонця та атмосфери, а також тих, що відбиваються від підстильної поверхні та випромінюються в атмосферу. Актинометричні спостереження проводяться за допомогою актинометричних приладів на метеорологічних станціях.

Для вимірювання потоків сонячної радіації використовують актинометричні прилади як абсолютні, так і відносні.

Абсолютні прилади (піргеліометр, геліограф) вимірюють пряму сонячну радіацію в теплових одиницях (калоріях) і тривалість сонячного сяйва в годинах. Ці прилади є досить складними як з точки зору їх будови, так і використання. Їх застосовують переважно для перевірки відносних приладів. Всі інші прилади відносні, тобто дають лише відносні значення сонячної радіації, які потім необхідно переводити в абсолютні величини.

Серед відносних приладів найбільш поширеними є термоелектричні прилади, в конструкції яких використовується термоелектричний принцип, заснований на залежності сили термічного струму від різниці температури спаїв термоелементів. За їх допомогою енергія випромінювання перетворюється в енергію електричного струму – термострум. Явище термоструму полягає в тому, що в замкненому ланцюзі, утвореному із двох різнорідних провідників, може виникнути електричний струм. Струм виникатиме тоді, коли температура місць з'єднань (спаїв) буде різною. Якщо ж, температури спаїв однакові, то електричний струм у ланцюзі буде відсутній. Величина електрорушійної сили термоструму пропорційна різниці температур спаїв.

З'єднані послідовно термоелементи утворюють термобатарею, у якій усі непарні спаї розташовують так, щоб вони мали однакову температуру, яка відрізняється від температури парних спаїв, розміщених у досліджуваному середовищі. Оскільки різниця температур спаїв обумовлена радіацією, що надходить, енергетична освітленість буде пропорційна силі термоелектричного струму.

В термоелементах використовують манганін (сплав міді, марганцю і нікелю), та константан (сплав міді і нікелю). У якості приймача випромінювання найчастіше використовують затемнені пластинки, що поглинають 94–97 % сонячної радіації, що надходить на їхню поверхню. Для вимірювання сили термоструму застосовують гальванометр ГСА–1 із стрілкою. Він дозволяє вимірювати слабкий струм, що виникає в термобатареях актинометричних приладів.

Для проведення актинометричних спостережень використовують такі основні прилади: актинометр, універсальний піранометр (похідний альбедометр) і балансомір.

### 3.3. Актинометричні прилади.

Піранометр М-80М. Піранометр призначений для вимірювання сумарної, розсіяної та відбитої радіації (рис. 3.1). Приймачем радіації даного приладу є термоелектрична батарея, у якій поєднані манганінові та константанові термоелементи, сполучені послідовно, які утворюють термопари, число яких залежить від чутливості гальванометра (28; 87 або 112). Парні спаї термобатареї покриваються сажею, а непарні – білою магnezією. Чорні (сажа) і білі (магnezія) поля чергуються, а межа фарбування проходить посередині між спаями. Сонячна радіація поглинається сажею інтенсивніше, ніж магnezією, тому між спаями виникає різниця температур і збуджується термоелектричний струм, який пропорційний кількості радіації, що вимірюється гальванометром.

Для вимірювання сумарної радіації піранометр встановлюють горизонтально на висоті 1,5 м від земної поверхні та спрямовують в бік Сонця тією стороною, до якої прикріплено горизонтальний стержень, до якого, у свою чергу прикріплюється труба з тінювим кільцем. Гальванометр встановлюють з північної сторони від піранометра. Під час затемнення щитком отримують розсіяну радіацію, а без затемнення – сумарну радіацію Сонця та неба.

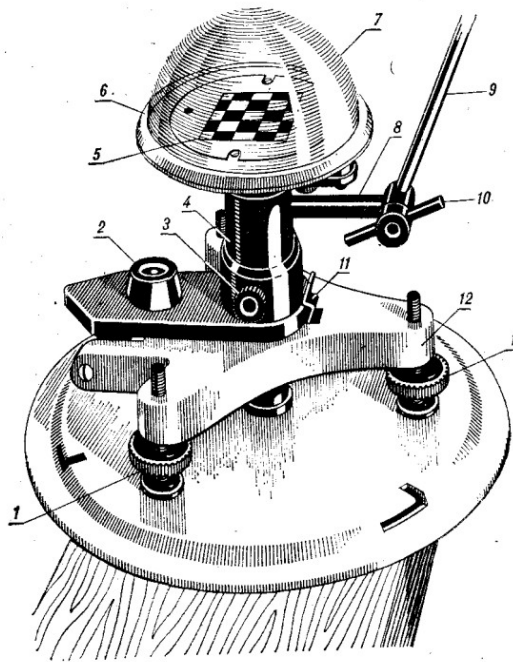


Рис. 3.1. Піранометр М-80М

Порядок проведення вимірювання.

1. Перевірити установку приладу за рівнем і відносно Сонця.
2. Закріпити тіньовий щиток.
3. Закрити кришкою термобатарею і при замкнутому ланцюгу піранометра і гальванометра визначити місце нуля гальванометра.
4. Зняти кришку піранометра з термобатареї при тіньовому щитку і визначити відлік гальванометра (розсіяна радіація) через 25–30 с.
5. Відвести тіньовий щиток і зняти відлік гальванометра (сумарна радіація) через 25–30 с.
6. При тіньовому щитку беруть відлік гальванометра щодо розсіяної радіації через 25–30 с.
7. Провести 4 вимірювання розсіяної та сумарної радіації і визначити середнє значення.

Альбедометр термоелектричний АП-3х3. Термоелектричний альбедометр – універсальний прилад, призначений для вимірювання сумарної, розсіяної й відбитої радіації (рис 3.2). Основою альбедометра є піранометр, який змонтований на трубковій карданній підвісці. Приймальною частиною альбедометра є головка піранометра (термоелектрична батарея) встановлена на самозрівноважуваний карданний підвіс. Така конструкція дозволяє встановлювати прилад у двох положеннях – приймачем вгору і вниз. Горизонтальність приймача відносно земної поверхні забезпечується автоматично.

Термоелектричний балансомір М-10М. Даний прилад використовується для вимірювання різниці приходу й витрати променистої енергії (радіаційного балансу), (рис. 3.3). Дія приладу ґрунтується на принципі поглинання різних потоків сонячної радіації затемненими пластинами (верхньої та нижньої) приймальних частин та перетворенням їх в електричну енергію.

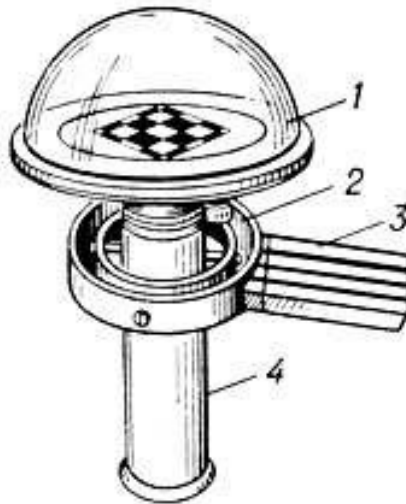


Рис. 3.2. Альбедометр термоелектричний АП-3х3:  
 1 – приймальна частина; 2 – самозрівноважуваний карданний підвіс;  
 3 – ручка (держак); 4 - трубка

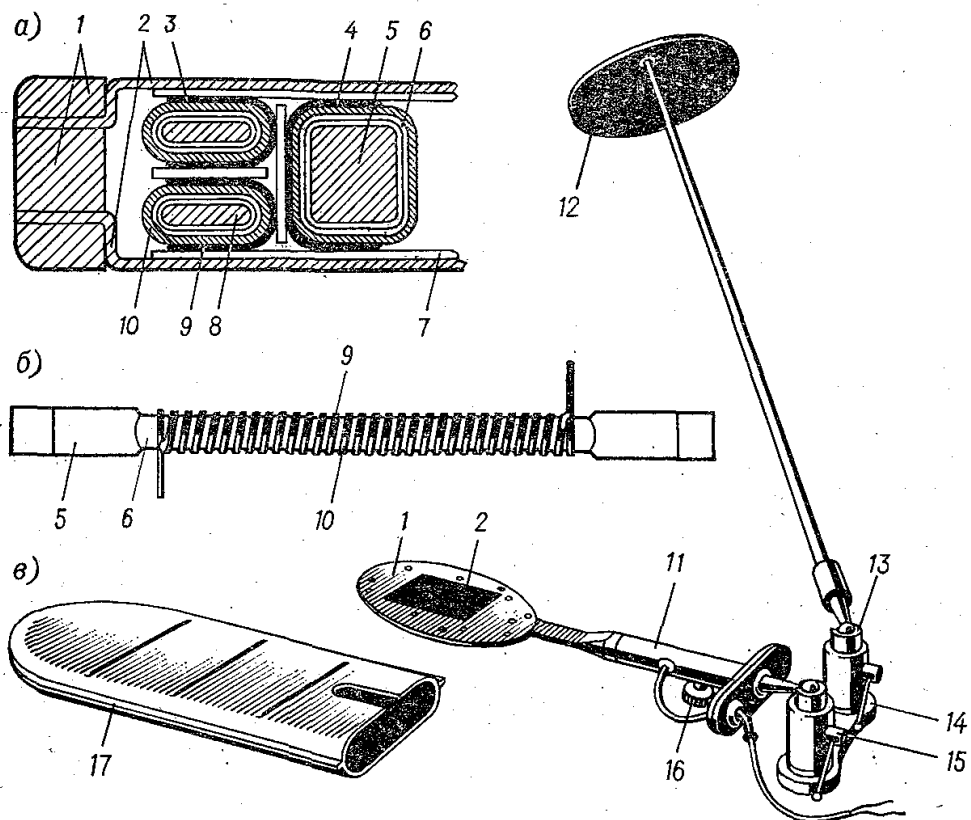


Рис. 3.3. Термоелектричний балансомір М-10М  
 а) схематичний поперечний переріз, б) окрема термобатарея, в) зовнішній вигляд; 1, 2 – корпус з приймачем; 3, 4 – спаї; 5 – мідний брусок; 6, 7 – ізоляція; 8 – термобатарея; 9 – шар срібла; 10 – константанова стрічка; 11 – ручка; 12 – тінювий екран;  
 13, 15 – кулькові шарніри; 14 – планка; 16 – кульковий гвинт;  
 17 – чохол

Балансомір встановлюють горизонтально і також підключають до гальванометра. Визначають баланс без прямої радіації ( $B - S'$ ), для цього його приймальну частину закривають екраном. Оскільки приймальна частина приладу не захищена від вітру, а вітер впливає на температуру обох поверхонь, паралельно з відліком гальванометра за балансоміром вимірюють швидкість вітру на висоті 2 м. При обробці спостережень до результатів вимірювань за балансоміром вводять поправку на вітер.

Актинометр. Актинометр – це прилад для вимірювання прямої сонячної радіації, що надходить на поверхню Землі. Значення останньої отримуються шляхом проведення розрахунків за величиною електричного струму, що вимірюється гальванометром.

Частина актинометра, що поглинає сонячні промені, складається з тонкого срібного затемненого зі сторони Сонця диска (рис. 3.4).

З іншого боку диска через паперову ізоляційну прокладку приклеєні центральні (активні) спаї термоелементів з манганіну та константу. Периферійні (пасивні) спаї приклеєні до мідного кільця також через паперову ізоляційну прокладку. Під час вимірювань срібний диск поглинає сонячну радіацію. Внаслідок цього температура диска та центральних спаїв термобатареї зростає. Периферійні спаї мають температуру корпусу, яка близька до температури навколишнього повітря. При різниці температур спаїв в термобатареї виникає струм, який вимірюється гальванометром.

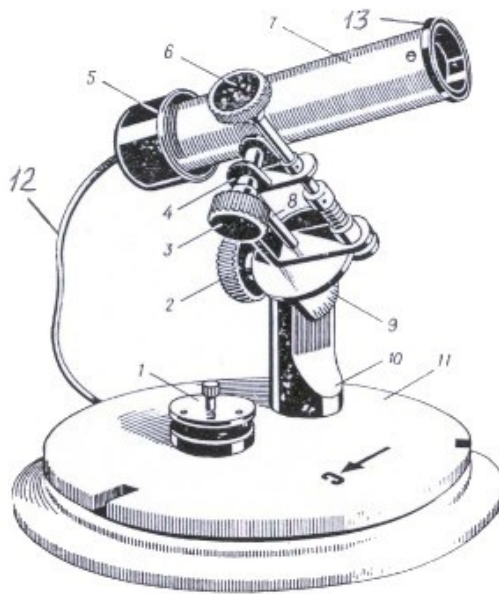


Рис. 3.4. Актинометр термоелектричний Савінова – Янишевського: 1 - кришка; 2, 3 - гвинти; 4 - вісь нахилу; 5 - екран; 6 – ручка (держак); 7 - трубка; 8 - вісь; 9 - сектор широт; 10 - стійка; 11 - підставка; 12 – електричні проводи; 13 - отвір

Спостереження проводять так:

1. Націлити прилад на Сонце при знятій кришці з труби актинометра.
2. Вдягнути кришку на трубу і через 25–30 с виконати відлік нульового положення за гальванометром.
3. Зняти кришку з труби і перевірити точність націлювання на Сонце.
4. Знімають 3–5 показів гальванометра з інтервалом 25–30 с.



Рис. 3.5. Сучасний піргеліометр фірми Hukseflux

Піргеліометр. Піргеліометр — це прилад для вимірювання прямої сонячної радіації, що перпендикулярно падає на поверхню Землі (максимально можлива кількість енергії наявна біля поверхні Землі). Принцип дії приладу заснований на вимірюванні кількості тепла, що утворюється при поглинанні сонячного випромінювання. Піргеліометр в основному застосовується для перевірки відносних приладів — актинометрів (рис. 3.5).

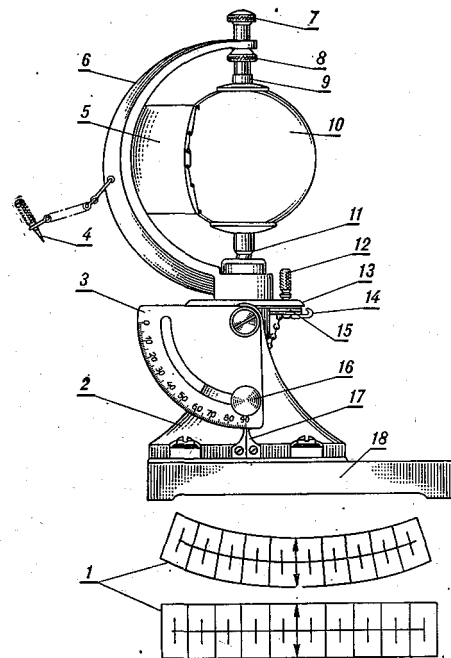
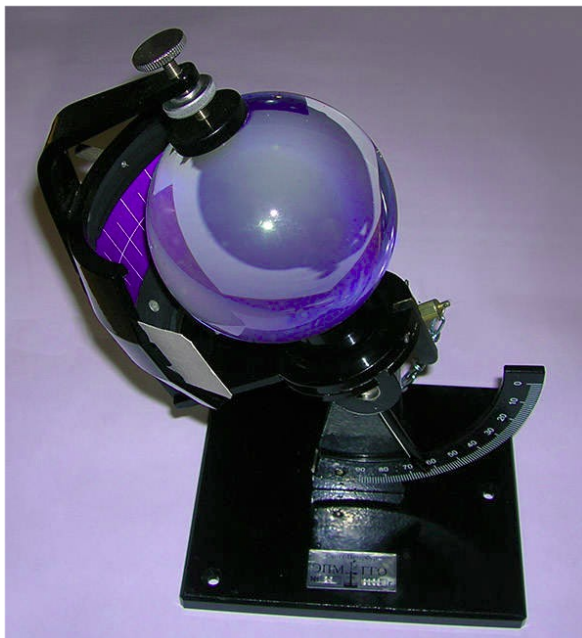


Рис. 3.6. Геліограф універсальний ГУ-1: зліва – зовнішній вигляд, справа – будова; 1 – стрічки; 2 – стояк; 3 – шкали широт; 4, 12 – стержень; 5 – чашка; 6 – дугоподібний тримач; 7, 16 – гвинти; 8 – контргайка; 9, 11 – шайби; 10 – скляний шар; 13 – диск; 14, 17 – покажчик; 15 – лімб; 6, 18 – чавунна основа

Геліограф. Геліограф призначений для автоматичної реєстрації тривалості сонячного сьйва в годинах упродовж дня, тобто коли Сонце не закрите хмарами (рис. 3.6).

Прилад — це куля з чистого скла (лінза) для збору сонячних променів, що закріплена на дугоподібній підставці. При проходженні крізь скло сонячні промені заломлюються, збираються у фокусі на спеціальній світлочутливій стрічці і пропалюють її, збираючись в одній точці — фокусі лінзи. В міру переміщення Сонця по небосхилу пересувається і сфокусований на стрічці пучок променів, випалюючи на стрічці з поділками 0,5 та 1 година смугу. Якщо ж небо закривають хмари, промені зникають, і випалена смужка переривається.

Такий запис проходження Сонця дозволяє визначити, скільки часу протягом цього дня була ясна погода, і скільки — хмарна. Для отримання точних результатів, геліограф спочатку орієнтують за сторонами світу, бічну панель виставляють по широті точки, в якій знаходиться майданчик для спостережень. Підставка для геліографа повинна бути виставлена точно по горизонталі, її поверхня не повинна мати нерівностей. Недоліком геліографа є те, що лінія пропалу на стрічці з'являється при інтенсивності радіації 150–250 Вт/м<sup>2</sup>. Лінія пропалу на стрічці починається дещо пізніше сходу Сонця, і закінчується раніше, коли Сонце ще над горизонтом. Тому виміряна тривалість сонячного саява може бути дещо менше фактичної.

### 3.4. Завдання.

Вимірювання сумарної, розсіяної та прямої радіації термоелектричним піранометром.

Прилади та обладнання:

- піранометр;
- гальванометр;
- настільна лампа потужністю не менше 200 Вт;
- транспортир.

Порядок виконання роботи.

Підготувати таблиці для запису результатів спостережень.

Встановити піранометр під лампою, підключити його до гальванометра (“+” та “П”). Якщо стрілка гальванометра не показує нуль, записати кількість поділок (після вимірювання їх потрібно відняти від показів гальванометра при вимірюванні). За допомогою транспортира визначити кут падіння променів на головку піранометра. Відкрити кришку головки піранометра та записати дані показів гальванометра до таблиці. Виконати три вимірювання.

Для вимірювання розсіяної радіації зробити 3–4 відліки за гальванометром при затіненій головці піранометра. Результати також записати у таблицю та провести розрахунки.

Таблиця 3.2.

Результати спостережень за сумарною радіацією, Вт/м<sup>2</sup>  
Дата, час та місце спостереження.....

№ піранометра	№ гальванометра	Відлік гальванометром	за	Шкалова поправка	Q, Вт/м <sup>2</sup>

Таблиця 3.3.

Результати спостережень за розсіяною радіацією, Вт/м<sup>2</sup>  
Дата, час та місце спостереження.....

№ піранометра	№ гальванометра	Відлік гальванометром	за	Шкалова поправка	D, Вт/м <sup>2</sup>



Таблиця 3.4.

Результати спостережень за прямою радіацією, Вт/м<sup>2</sup>  
Дата, час та місце спостереження.....

№ піранометра	№ гальванометра	Відлік гальванометром	за	Шкалова поправка	S', Вт/м <sup>2</sup>

Розрахунки.

Розсіяна радіація (D):

$$D = K (N_d - N_0) \Gamma \quad 3.13$$

де: K – перевірний множник за перевірним свідоцтвом до гальванометра та піранометра, кВт/м<sup>2</sup> (K = 0,018-0,020); N<sub>d</sub> та N<sub>0</sub> середній показник гальванометра при визначенні D з урахуванням поправки, та положення нуля гальванометра; Γ – поправочний коефіцієнт, що залежить від кута Сонця над горизонтом (з перевірного свідоцтва піранометра, Γ = 0,85-0,95).

Сумарна радіація (Q) визначається за тією ж формулою.

Пряма радіація (S'):

$$S' = Q - D \quad 3.14$$

Всі дані вписують у таблиці 3.2, 3.3, 3.4.

### 3.5. Завдання.

Визначення радіаційного балансу за допомогою термоелектричного балансоміра.  
Прилади та обладнання: балансомір; гальванометр.

Порядок виконання завдання:

1. Ознайомитися з будовою та принципом роботи балансоміра.
2. Підключити два вивідних проводи від балансоміра до клем гальванометра зі знаком "+" і "P".
3. Відрахувати місце нуля N<sub>0</sub> за гальванометром.
4. Затінити приймальну частину балансоміра від прямих сонячних променів і зробити три відліки показів стрілки гальванометра N.

Дані записати в такій формі:

Таблиця 3.5.

Результати спостережень за радіаційним балансом, Вт/м<sup>2</sup>  
Дата, час та місце спостереження.....

№ балансоміра	№ гальванометра	Відлік за гальванометром	Шкалова поправка	B, Вт/м <sup>2</sup>

Розрахунок балансу (В) проводять за формулою:

$$B = a \times K \times N \quad 3.15$$

де:  $a$  – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру;  $K$  – перевідний множник за перевірним свідченням до гальванометра та балансоміра, кВт/м<sup>2</sup>;  $N$  – відлік за гальванометром.

### 3.6. Задачі:

1. Визначити інсоляцію на поверхні північного і південного схилів крутизною 12° за таких умов:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S, Вт/м <sup>2</sup>	612	750	810	690	720	830	740	780	800	680
h, °	35	70	45	55	65	40	35	45	50	70

2. Визначити інсоляцію опівдні за таких умов:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q, кВт/м <sup>2</sup>	0,70	0,75	0,68	0,79	0,74	0,73	0,75	0,68	0,8	0,56
D, кВт/м <sup>2</sup>	0,28	0,37	0,44	0,15	0,27	0,34	0,32	0,41	0,25	0,12

3. Обчислити кількість тепла ( $R_n$ ), яке поглинається піщаним ґрунтом ( $A_k = 24\%$ ) і чорноземом ( $A_k = 12\%$ ) за таких умов:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S, кВт/м <sup>2</sup>	0,64	0,65	0,78	0,59	0,67	0,77	0,70	0,76	0,68	0,67
D, кВт/м <sup>2</sup>	0,47	0,44	0,35	0,47	0,29	0,35	0,27	0,48	0,35	0,32

4. Розрахувати сумарну радіацію (Q) за таких умов:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h, °	80	65	75	84	37	74	65	54	45	40
S, кВт/м <sup>2</sup>	0,67	0,75	0,71	0,79	0,73	0,67	0,58	0,66	0,59	0,53
D, кВт/м <sup>2</sup>	0,40	0,38	0,39	0,42	0,39	0,27	0,35	0,41	0,33	0,30

5. Обчислити величину радіаційного балансу (В) для зеленого поля за такими даними:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S, Вт/м <sup>2</sup>	670	750	710	790	720	680	590	630	540	550
D, Вт/м <sup>2</sup>	230	340	260	270	310	220	190	230	140	150
$A_k$ , %	20	30	25	45	47	35	24	18	11	32

$E_z, \text{Вт/м}^2$	130	220	210	319	280	250	140	170	150	210
$E_a, \text{Вт/м}^2$	70	110	80	95	120	140	70	110	130	55

6. Сонце над горизонтом знаходиться під кутом  $90^\circ$ . Розрахувати інсоляцію ( $S'$ ) на поверхню схилу за таких умов:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S, \text{кВт/м}^2$	0,17	0,18	0,27	0,19	0,16	0,17	0,18	0,23	0,19	0,15

7. Визначити величину фотосинтетично активної радіації (ФАР) за вегетаційний період на території України за такими даними:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Sigma S', \text{МДж/м}^2$	2670	1750	2710	2790	3300	2670	1580	1690	2490	3230
$\Sigma D, \text{МДж/м}^2$	1130	1370	2390	1440	2380	1250	1340	1410	1230	1120

8. Визначити кількість тепла, що поглинається поверхнею сухої трави за такими даними:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$h, ^\circ$	30	45	55	20	43	38	25	51	37	46
$S, \text{Вт/м}^2$	870	850	820	710	750	790	690	710	730	660
$D, \text{Вт/м}^2$	110	130	210	240	210	270	130	140	125	130
$A_k, \%$	18	14	15	37	22	11	9	14	10	13

9. Визначити радіаційний баланс трав'яного поля за такими даними:

Вихідні дані	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S, \text{Вт/м}^2$	540	510	730	430	700	580	520	430	640	550
$D, \text{Вт/м}^2$	240	140	160	170	210	120	150	120	130	100
$A_k, \%$	20	30	25	45	47	35	24	18	11	32
$E_z, \text{Вт/м}^2$	110	105	100	114	150	130	107	70	160	110
$E_a, \text{Вт/м}^2$	80	90	70	95	120	110	70	40	111	51

Питання для самоконтролю та обговорення.

1. Які актинометричні прилади Ви знаєте? Який принцип їх дії?
2. Дати визначення основних видів (потоків) сонячної радіації.
3. Що таке радіаційний баланс? Від чого він залежить, на що впливає?
4. Як відбувається розсіювання сонячної радіації в атмосфері?
5. Яке значення альбедо у радіаційному балансі Землі?
6. Чому і як змінюється сонячна радіація при проходженні її через атмосферу?

#### 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 ( $\alpha$ ):

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

де:  $R_e$  – число Рейнольдса ( $R_e = vh/\gamma$ );  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/м<sup>2</sup> · °C (при температурі повітря 20 °C,  $\lambda = 0,0257$  Вт/м<sup>2</sup> · °C);  $L$  – довжина за напрямом вітру, м;  $h$  – висота, м;  $v$  – швидкість вітру, м/с;  $\gamma$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря ( $1,45 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с).

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

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

де:  $F$  – площа поперечного перерізу потоку, м<sup>2</sup>;  $T_n$ ,  $T_e$  – 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:  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності ґрунту, Дж/см<sup>2</sup> · 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:  $\rho$  – густина повітря (при 20 °C = 1,164 кг/м<sup>3</sup>);  $C_p$  – теплоємність повітря, 1005 Дж/кг · °C;  $\alpha_T$  – відношення коефіцієнтів теплової та динамічної турбулентності;  $K$  – коефіцієнт турбулентності (0,1–0,2 м<sup>2</sup>/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.

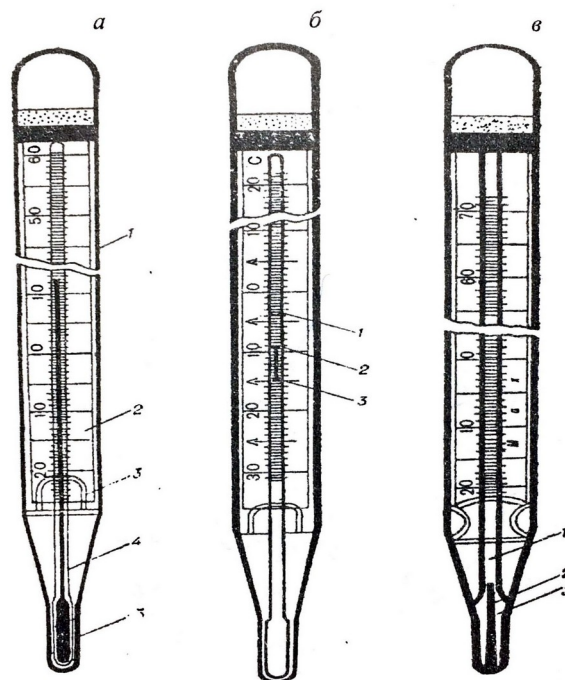


Рис. 4.1. Термометр строковий (а; 1 – корпус, 2 – шкала температур, 3 та 5 – скляний резервуар, 4 – капіляр), мінімальний (б; 1 – капіляр, 2 – рідина, 3 – штифт), та максимальний (в; 1 – капіляр, 2 – штифт, 3 – дно резервуара)

Для вимірювання температури поверхні ґрунту термометри (строковий, максимальний і мінімальний) встановлюють на відкритій площадці розміром 4x6 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).

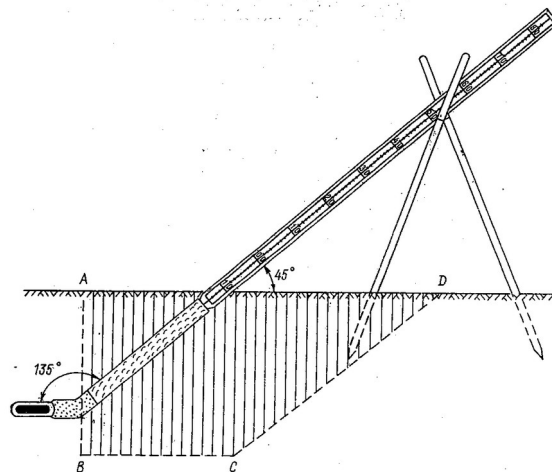


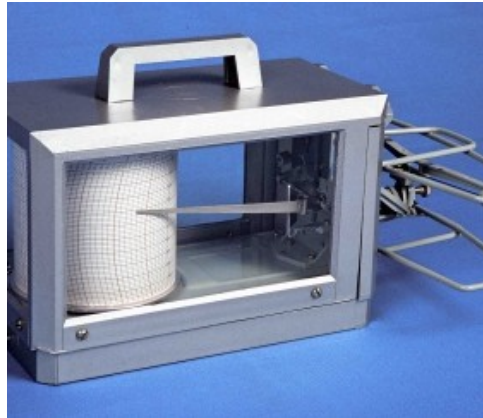
Рис. 4.2. Ґрунтовий термометр колінчастий ТМ-5 (Савінова)

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.

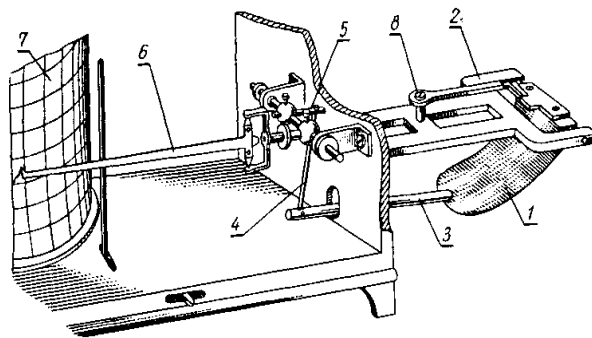
Колінчасті термометри встановлюють рано навесні відразу після сходу снігового покриву, коли глибина талого ґрунту досягає 20–25 см. Установлюють їх на ділянці поруч із термометрами для визначення температури поверхні ґрунту, на відстані 10 см один від одного, резервуарами на північ на лінії в напрямі 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.

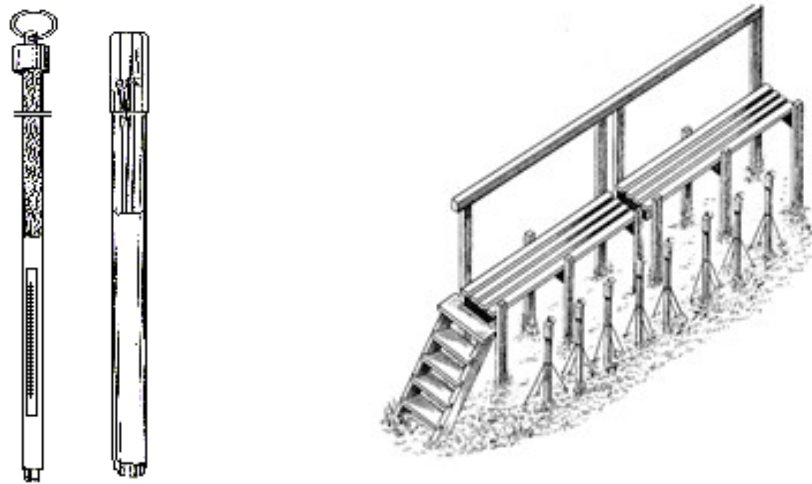


Рис. 4.4. Витяжні (глибинні) термометри типу ТМ-10 та їх встановлення

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 кушніння). Він забезпечує вимірювання температури від  $-30$  до  $+45$  °С з точністю  $\pm 1$  °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.

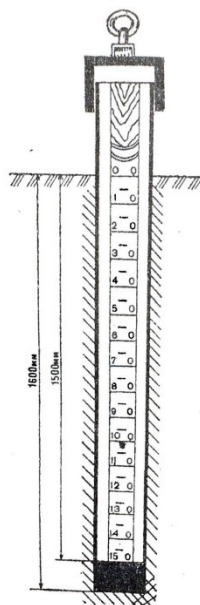


Рис. 4.6. Мерзлотомір Даниліна

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 поєднуються температура 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.

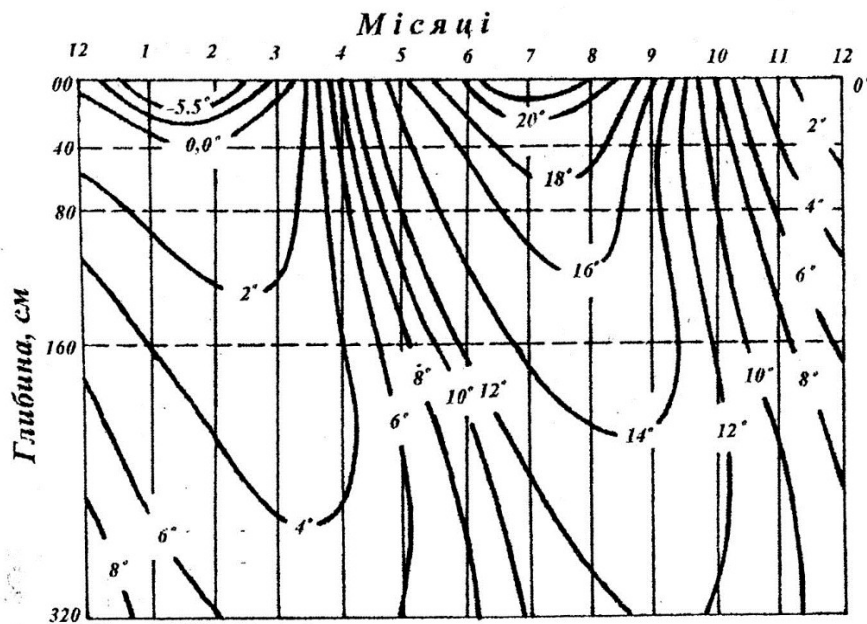


Рис. 4.7. Ізоплети температури ґрунту на глибинах

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, дів	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 ( $\alpha$ ) 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

\*  $F = 12$  м<sup>2</sup>;  $\alpha$  та  $h$  – з попереднього завдання.

14. Розрахувати тепловий баланс ( $B$ , Дж/см<sup>2</sup> · 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/см<sup>2</sup> · 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?

7. Чому витрати тепла на випаровування вологи різні у різних природних зонах України?

## Тема 5. Прилади для вимірювання вологості повітря

*Мета роботи: ознайомитись з будовою та принципом дії приладів для вимірювання вологості повітря, здобути навички визначення вологості повітря та виконати завдання.*

### 5.1. Теоретичні відомості.

Вологість повітря – це кількість водяної пари, що міститься в повітрі. Дана кількість вологи може бути оцінена цілим рядом параметрів:

- абсолютна вологість ( $a$ ) – це кількість водяної пари у повітря ( $\text{г/м}^3$ );
- відносна вологість ( $f$ , %);
- парціальний тиск (пружність) водяної пари ( $e$ ) – це тиск, який створювала б водяна пара у повітря, за умови, що вона займає весь його об'єм (гПа);
- парціальний тиск (пружність) водяної пари при насиченні ( $E$ ) – максимальне значення парціального тиску при даній температурі (гПа, додаток 4);
- дефіцит насичення водяної пари ( $d$ ) – різниця між парціальним тиском водяної пари при насиченні та парціальним тиском (гПа);
- температура точки роси ( $t_d$ ) – температура повітря, при якій водяна пара, що є у повітрі досягає ступеню насичення ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Пружність водяної пари ( $e$ ) – це тиск, який створювала б водяна пара у повітря, за умови, що вона (водяна пара) займає весь об'єм повітря можна визначити за температурою “сухого” та “змоченого” термометрів за психрометричною формулою:

$$e = E' - Ap(t - t'), \text{ гПа} \quad 5.1$$

де:  $E'$  – тиск насиченої водяної пари при температурі поверхні, що випаровує (“змоченого” термометра), гПа (додаток 4);  $A$  – стала психрометра (для станційного психрометра = 0,0007947, а для аспіраційного психрометра – 0,000662);  $p$  – атмосферний тиск, гПа;  $t$  – температура “сухого” термометра,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t'$  – температура “змоченого” термометра,  $^{\circ}\text{C}$ .

Відносну вологість повітря ( $f$ , %) можна визначити за допомогою спеціальних «Психрометричних таблиць, (додаток 5)», або за такою формулою:

$$f = \frac{e}{E} \times 100 \quad 5.2$$

Дефіцит насичення ( $d$ , гПа):

$$d = E - e \quad 5.3$$

Між ( $a$ ,  $\text{г/м}^3$ ) та ( $e$ ) існує співвідношення:

$$a = \frac{0,8e}{1 + \alpha \times t} \quad 5.4$$

де:  $e$  – парціальний тиск водяної пари, гПа;  $\alpha$  – коефіцієнт температурного розширення повітря ( $1/273 = 0,0036$ );  $t$  – температура,  $^{\circ}\text{C}$ .

Сумарне випаровування ( $E_0$ , мм, або евапотранспірація) – випаровування з поверхні ґрунту та рослин:

$$E_0 = (W_n - W_k) + r_1 - r_2 \quad 5.5$$

де:  $r_1$  - кількість опадів, мм;  $r_2$  – кількість води, яка просочилася у нижні горизонти, мм;  $W_n$  та  $W_k$  – попередні та кінцеві запаси вологи у ґрунті, мм.

Повітря вважається насиченим вологою, якщо при даній температурі не може більше поглинати водяну пару і при щонайменшому охолодженні починають виділятися крапельки води у вигляді роси, туману, хмар. Сухим вважається повітря при подальшій його здатності поглинати вологу. Чим тепліше повітря, тим більше його здатність до поглинання вологи. Так, при температурі  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  повітря містить не більше  $1\text{ г/м}^3$  води; при температурі  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$  – близько  $9\text{ г/м}^3$ , а при  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  – близько  $17\text{ г/м}^3$ . Тому як при високій вологості повітря, так і при низькій – абсолютна вологість повітря може бути однаковою завдяки різниці в температурах. Розрахунок вологості повітря має велике значення не лише для визначення погоди і клімату, але і для проведення багатьох технічних заходів, при зберіганні книг та музейних картин, при лікуванні легеневих хвороб тощо.

#### 5.2. Прилади для визначення вологості повітря.

Показники вологості повітря вимірюють переважно психрометричним і гігрометричним методами.

Психрометричний метод – це визначення вологості повітря на основі показів двох однакових термометрів. Поверхня резервуара “мокрого” термометра щільно обгорнута батистовою тканиною і протягом усього часу або на період спостережень змочується дистильованою водою. Інший термометр “сухий” залишається у звичайному “сухому” стані. З поверхні батисту на змоченому термометрі, вода випаровується і при цьому витрачається певна кількість тепла. Тому, “змочений” термометр показуватиме нижчу температуру, ніж “сухий”. Чим сухіше повітря, тим інтенсивніше випаровування, і тим більша різниця показів “сухого” і “змоченого” термометрів. Дана відмінність у показаннях термометрів і характеризує вологість повітря.

Гігрометричний метод ґрунтується на здатності деяких гігроскопічних тіл (знежирена волосина людини) змінювати свою довжину залежно від вологості повітря. Таким чином, зміна довжини волосини, дозволяє визначити вологість повітря. Для цього необхідно знати залежність між довжиною волосини і вологістю повітря.

Для визначення вологості повітря психрометричним методом використовують психрометри, а гігрометричним – гігрометри і гігрографи.

Станційний психрометр (рис. 5.1) складається з двох психрометричних термометрів ТМ-4 з ціною поділки  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Резервуар правого термометра об'язують шматочком батисту, кінець якого занурений у воду стаканчика. З батистової тканини випаровується вода – чим сухіше повітря, тим інтенсивніше випаровування, і тим нижчу температуру він показує. Для обчислення характеристик вологості повітря використовують відповідні формули, а на практиці користуються психрометричними таблицями.

Психрометр аспіраційний МВ-4М (рис. 5.2) призначений для визначення відносної вологості і температури повітря в наземних умовах. При визначенні вологості на відкритому повітрі психрометр виносять з приміщення за чверть години до спостереження і розміщують на спеціальному стовпі так, щоб резервуари термометрів були на висоті 2 м над поверхнею ґрунту.

Принцип дії: робота психрометра заснована на залежності різниці температур “сухого” і “змоченого” термометрів від вологості повітря. Вологість повітря визначається за показаннями “сухого” і “змоченого” термометрів за спеціальними таблицями або психрометричним графіком, а температура повітря – за показаннями “сухого” термометра.

Будова: психрометр складається з двох однакових ртутних термометрів, закріплених у спеціальній оправі, і аспіраційної головки. Оправа являє собою трубку, що роздвоюється донизу, і захисні планки. До нижньої частини роздвоєної трубки за допомогою пластмасових втулок прикріплені два патрубки, які є радіаційним захистом резервуарів термометрів. Верхній кінець трубки з'єднаний з аспіратором.

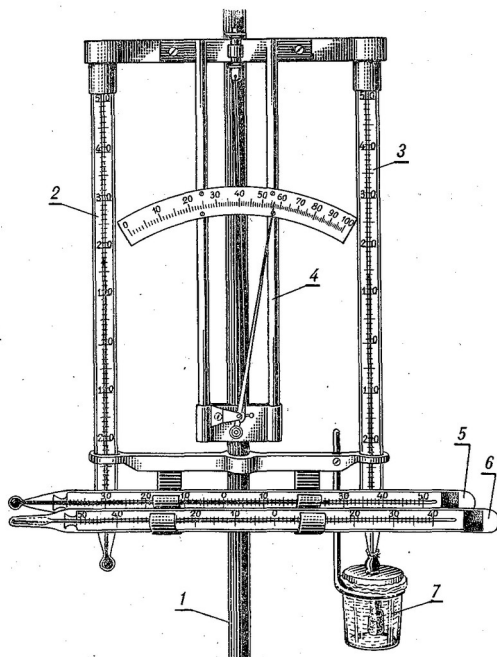


Рис. 5.1. Встановлення приладів у психрометричній будці:  
1 – штатив; 2, 3 – “сухий” та “змочений” термометри; 4 – гігрометр;  
5, 6 – максимальний та мінімальний термометри; 7 – стаканчик з водою

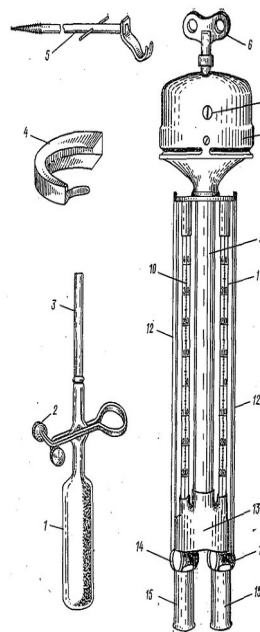


Рис. 5.2. Психрометр аспіраційний МВ-4М: зліва – загальний вигляд, справа – будова;  
1 – гумова груша; 2 – затискач; 3 – піпетка; 4 – повітрязахист;  
5 – крючок-підвіс; 6 – ключ, 7 – віконце; 8 – головка аспіратора; 9 – трубка;  
10, 11 – “сухий” та “змочений” термометри; 12 – захисні планки; 13 – трійник;

Аспіраційна головка складається із заводного механізму і вентилятора, закритих ковпаком. Пружина заводного механізму психрометра МВ-4М заводиться спеціальним ключем.

При обертанні вентилятора в прилад всмоктується повітря, яке обтікає резервуари термометрів, проходить по повітропровідній трубці до вентилятора і викидається назовні через прорізи в аспіраційній голівці. «Сухий» термометр буде показувати температуру повітря, а показання «змоченого» термометра будуть менші через охолодження, викликане випаровуванням води з поверхні батисту, що облягає резервуар термометра.

Технічні характеристики психрометра аспіраційного МВ-4М:

- діапазон вимірювання відносної вологості повітря при температурі навколишнього середовища  $-10...+40^{\circ}\text{C}$ , %: 10...100;
- діапазон вимірювань температури навколишнього повітря,  $^{\circ}\text{C}$ :  $-30...+50$ ;
- ціна поділу шкал термометрів,  $^{\circ}\text{C}$ : не більше 0,2;
- розміри, мм 97x420.

Порядок визначення вологості повітря. При визначенні вологості на відкритому повітрі винести психрометр з приміщення взимку за 30 хв., а влітку за 15 хв. до моменту відліку і розміщують його у встановленому місці на висоті 2 м від поверхні землі. Змочують батист на резервуарі термометра за 4 хв. до початку спостережень. Для цього беруть гумовий балон із затискачем (заздалегідь наповнений дистильованою водою), і легким натиском доводять воду в піпетці не ближче, ніж на 1 см до краю, утримуючи на цьому рівні за допомогою затискача. Потім вводять піпетку у внутрішню трубку захисту і змочують батист. Через деякий час, не виймаючи піпетки з трубки, розтискають затискач, вбираючи воду в балон і виймають піпетку. Заводять пружину заводного механізму психрометра (МВ-4М) або вмикають електродвигун психрометра (М-34) бажано, до постійного джерела живлення змінного струму. Через 4 хв. після пуску вентилятора або включення електродвигуна роблять відлік за термометрами з точністю до 0,25 ціни ділення шкали, а значення температури округлюють до 0,1  $^{\circ}\text{C}$ . До показів вводять поправки згідно з паспортами термометрів. У термометрів кожен поділ шкали відповідає 0,2  $^{\circ}\text{C}$ . Непарні десяті частки градусів визначаються на око.

При температурі повітря нижче 0  $^{\circ}\text{C}$  психрометр виносять з приміщення за півгодини до спостережень, негайно змочують резервуар, обтягнутий батистом і вмикають аспіраційний пристрій на 8 хв. За 3–4 хв. до відліку вдруге вмикають аспіраційний пристрій, але повторно не змочують. Перед відліком спостерігач повинен встановити, чи залишається показання «змоченого» термометра постійним, чи змінюється. У першому випадку показання записуються, у іншому – увесь процес спостереження повторюють.

Перед записом показань, варто переконатися, чи обмерзла батистова тканина на резервуарі термометра, чи залишилася м'якою. Для цього дерев'яною паличкою ( $\approx$  розміру сірника) легко постукують змочений батист (створюючи центр кристалізації). Важливо, аби паличка мала температуру доквілля, щоб не вносити додаткового тепла до води на батисті від рук. Після цього, поруч із записом показань зазначають стан «змоченого» термометра літерами «Л» або «В» – наявність на батисті льоду або води відповідно.

Параметри вологості повітря ( $e$ , мбар) можна визначити за формулою:

$$e = E' - AP(t - t') \quad 5.6$$

де:  $E'$  -- парціальний тиск водяної пари при насиченні, мбар;  $P$  – атмосферний тиск, мбар;  $t$  – температура за «сухим» термометром,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t'$  – температура за «змоченим» термометром,  $^{\circ}\text{C}$ .

На практиці відносна вологість визначається за допомогою психрометричних таблиць (додаток 5). З певною точністю також можна визначити відносну вологість повітря за психрометричним графіком (рис. 5.3). Наприклад, при температурі «сухого» термометра – 21,7 °С, а «змоченого» – 14,3 °С, точка перетину ліній, що відповідають даним температурам знаходиться вище 42, але нижче 44. Отже, відносна вологість становитиме  $\approx 43\%$ .

Психрометр електричний М-34 (рис. 5.4) призначений для визначення відносної вологості і температури повітря в наземних умовах (у приміщенні та на відкритому повітрі). Робота психрометра заснована на залежності різниць температур сухого і змоченого термометра від вологості навколишнього повітря. Вологість повітря визначається за показаннями сухого і змоченого термометрів за спеціальними таблицями або психрометричним графіком, а температура повітря – за показаннями «сухого» термометра. Пружина пускового механізму запускається електричним двигуном.

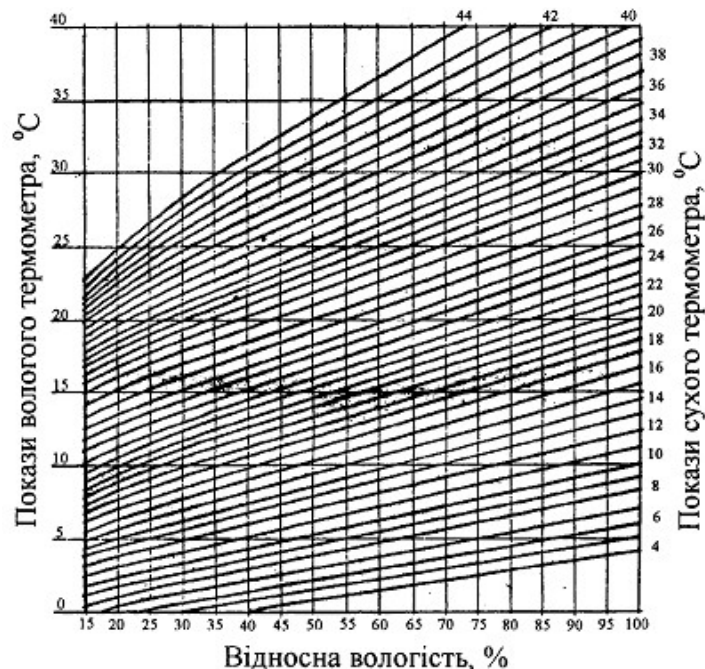


Рис. 5.3. Номограма для визначення відносної вологості повітря за показами аспіраційного психрометра

Технічні характеристики:

- діапазон вимірювання відносної вологості повітря при температурі повітря від 5 до 40 °С, °С: – 10–100;
- діапазон вимірювання температури повітря, °С: від –25 до +50;
- похибка в залежності від температури, % від  $\pm 2$  до  $\pm 6$ ;
- живлення – 220 В; споживча потужність – 30 Вт;
- швидкість повітряного потоку (аспірація) при роботі вентилятора повинна бути на 6-й хвилині не менше, м/с, 1,7;
- габаритні розміри (Lxd), мм: 105x400 мм;
- вага не більше, кг: 1,3.

Гігрометр волосяний (рис. 5.5) є зручним приладом для швидкого визначення відносної вологості повітря. Приймальною частиною його є знежирена людська волосина (довжина близько 27 см), натягнута на металеву рамку. Верхній кінець волосини закріплено на кінці гвинта, за допомогою якого регулюють натяг її на рамі. Другий кінець волосини обернуто і закріплено на маленькому блоці, насадженому на вісь. На цьому ж блоці на невеликому штифті закріплено невеликий тягар, який натягує волосину. Залежно від вологості повітря волосина стає довшою, або скорочується обертаючи блок.



На блоці закріплено стрілку, яка переміщується по шкалі і показує значення відносної вологості повітря. Прилад досить простий, і однаково добре працює як при плюсовій, так і при низькій мінусовій температурі повітря. Взимку, коли температура повітря нижче  $-10^{\circ}$ , гігрометр є практично єдиним приладом для вимірювання вологості повітря.



Рис. 5.4. Психрометр аспіраційний електричний М-34

Покази волосяного гігрометра відносні. До них вводять поправки, які отримують порівнянням показів гігрометра з показами психрометра. Для цього будують графік за щоденними відліками психрометра і волосяного гігрометра.

Гігрограф М-21А (рис. 5.6) використовують для безперервного запису змін відносної вологості повітря в межах від 30 до 100 % при температурі від  $-35$  до  $+45^{\circ}$ . Приймачем приладу є пучок (35–40 шт.) знежирених людських волосин, прикріплених своїми кінцями до металевої рамки.

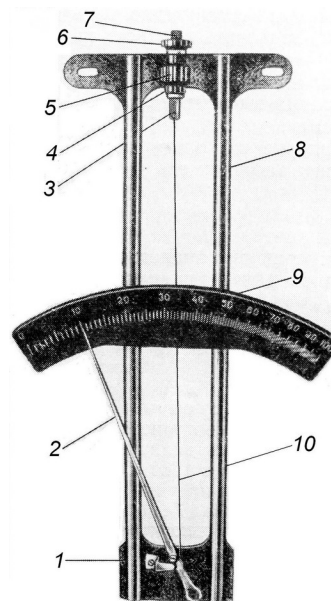
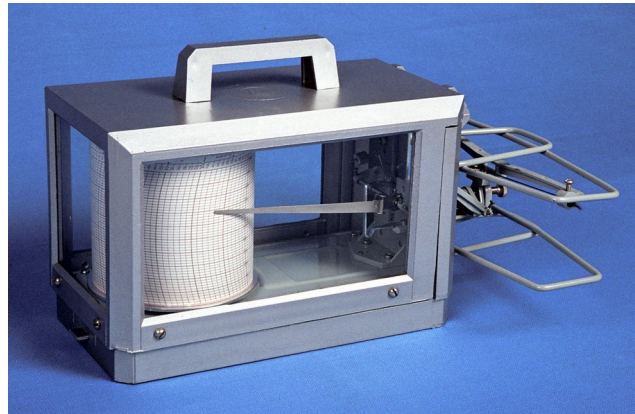


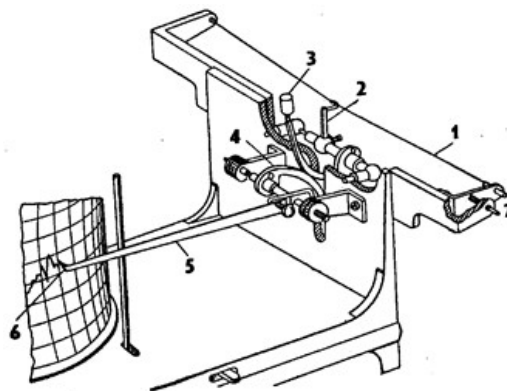
Рис. 5.5. Гігрометр волосяний:

- 1 — рамка; 2 — стрілка; 3 — хвостик; 4 — скоба; 5 — гайка; 6 — контргайка;
- 7 — гвинт кріплення волосини; 8 — рамка; 9 — пластина зі шкалою;
- 10 — волосина

Пучок волосин за допомогою гачка з'єднаний із зігнутих важелем і тягарем, завдяки чому пучок постійно перебуває в натягнутому стані.



а)



б)

Рис. 5.6. Гігрограф М-21А: а – зовнішній вигляд; б – будова;  
1 – пучок знежиреного волосся людини, 2 – гачок, 3, 4 – система важелів,  
5, 6 – стрілка з пером, 7 – регулювальний гвинт

Важіль рухомим способом сполучений іншим важелем, який з'єднаний з спільною віссю із стрілкою, на кінці якої міститься перо.

Записуючою частиною гігрографа служить барабан з годинниковим механізмом всередині, пружина якого накручується за допомогою ключа. Зміна відносної вологості повітря призводить до зміни довжини пучка волосся, а це, в свою чергу, через передавальний механізм — до переміщення стрілки з пером на паперовій діаграмній стрічці.

Прилади нового покоління.

Електричний термогігрометр testo 610. Прилад застосовуються для вимірювання вологості повітря, автоматичного розрахунку точки роси і психрометричної температури (рис. 5.7).

Термогігрометр запам'ятовує і може відображувати максимальне і мінімальне значення за весь час вимірювання температури і вологості повітря. Прилади обладнані функцією фіксації виміряного значення температури і вологості на дисплеї. В комплект приладу входить захисна кришка, шкіряний чохол для кріплення приладу на поясі, ремінь для перенесення на зап'ясті, батарейки і протокол калібрування.

Технічні характеристики:

- відносна вологість, %: 0 – 100;
- температура, °С: від –10 до +50;
- робоча температура, °С: –10 – +50;

- батарейка – тип ААА, 2 шт;
- ресурс батарейок, год: – 200;
- габарити, мм: 119x46x25;
- вага – 90 г.



Рис. 5.7. Електричний термогігрометр testo 610

Теромогігрометр DT-322 (рис. 5.8) забезпечує відображення температури, одночасне відображення температури, вологості повітря, часу, зберігання в пам'яті максимальних і мінімальних значень температури і вологості повітря.



Рис. 5.8. Теромогігрометр DT-322

Технічні характеристики:

- діапазон вимірювання температур, °С; від 0 °С до 50;
- ціна поділки, °С: 0,1;
- похибка, °С: 1,0 °С;
- діапазон вимірювання відносної вологості: від 10 % RH до 90 % RH; похибка: ±5 % (40 % RH – 80 % RH), ±8 % (10 % RH – 40 % RH, 80 % RH – 90 % RH);
- живлення: 1,5 В батарея типу ААА 1 шт;
- габарити, мм: 112x60x14.

Мета роботи — визначити показники вологості повітря та виконати завдання.

Прилади та обладнання:

Аспіраційний психрометр.

Барометр-анероїд.  
Дистильована вода.

Порядок виконання роботи.

1. Підготувати таблицю для запису результатів вимірювання (табл. 5.1)
2. Змочити дистильованою водою резервуар “змоченого” термометра.
3. Запустити годинниковий механізм.
4. Після чотирьох хвилин записати покази обох термометрів.
5. Виміряти атмосферний тиск.
6. Внести поправки до показів термометрів згідно з перевірними свідоцтвами.
7. Розрахувати парціальний тиск, відносну вологість, дефіцит вологості повітря та температуру точки роси.

Таблиця 5.1.

Дані спостережень за вологістю повітря

№ з/п	Параметри	Показання	
		всередині приміщення	на відкритому повітрі
1	Номер “сухого” термометра		
2	Температура “сухого” термометра, °С		
3	Шкалова поправка, °С		
4	Істинне значення, °С		
5	Номер “змоченого” термометра		
6	Температура “змоченого” термометра, °С		
7	Шкалова поправка, °С		
8	Істинне значення, °С		
9	Атмосферний тиск, гПа		
10	Максимальна пружність водяної пари відповідно до температури, гПа:		
	“сухого” термометра		
	“змоченого” термометра		
11	Парціальний тиск, гПа		

5.3. Завдання.

1. Чи може бути парціальний тиск водяної пари 20 гПа при температурі повітря 14,7 °С?

2. Визначте температуру точки роси за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Парціальний тиск водяної пари при	20,9	25,7	23,4	16,7	10,9	11,1	12,6	11,2	10,7	10,6

насиченні (E), гПа										
--------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

3. Визначте відносну вологість повітря за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти*									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температур (t) за “сухим” термометром, °C	10,9	16,3	12,5	17,4	19,1	14,2	13,7	10,1	17,7	12,3
Температур (t') за “змоченим” термометром, °C	8,3	15,4	10,1	15,1	17,7	11,2	12,0	8,0	15,1	10,3

\* Атмосферний тиск становить 1012 гПа.

4. Чи можлива абсолютна вологість повітря 1,0 г/м<sup>3</sup> за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температур (t) повітря, °C	5,9	11,7	3,7	7,1	9,7	4,8	5,5	10,3	11,5	12,7

5. Визначте парціальний тиск водяної пари (e) та тиск насиченої водяної пари (E) за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Абсолютна вологість повітря (a), г/м <sup>3</sup>	13,7	14,1	13,2	17,8	8,5	14,3	15,7	12,4	17,2	14,0
Температура повітря (t), °C	23,8	22,6	24,8	17,0	22,1	15,9	17,7	19,1	10,4	22,9

6. Визначити відносну вологість повітря (f) за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Парціальний тиск водяної пари (e), гПа	1,3	14,6	3,4	17,9	1,7	17,6	3,9	2,0	25,3	20,1
Температура повітря (t), °C	13,7	20,2	14,5	17,0	12,5	18,4	17,7	10,2	10,4	12,5

7. Розрахувати дефіцит вологості повітря (d, г/Па) за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Парціальний тиск водяної пари (e), гПа	18,3	14,6	13,4	17,9	21,7	17,6	13,9	22,4	25,3	20,1
Парціальний тиск водяної пари при насиченні (E), гПа	21,1	15,2	18,1	19,7	24,4	19,2	12,6	25,1	27,4	23,6

8. Знайти температуру точки роси (t<sub>d</sub>), якщо парціальний тиск водяної пари при насиченні дорівнює:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Е, гПа	25,9; 22,0; 17,9;	13,2; 26,8; 17,0;	6,7; 14,4; 12,0	14,1; 6,6; 14,9;	10,7; 11,9; 7,3;	15,8; 17,7; 8,9;	12,5; 16,6; 8,8;	11,4; 16,0; 26,9;	19,7; 11,6; 9,4;	12,0; 18,9; 8,7;

Питання для самоконтролю та обговорення.

1. Якою величиною характеризується вологість повітря у повідомленні про погоду?
2. Чи існує зв'язок між відносною вологістю повітря та дефіцитом вологи у повітрі? Який характер такого зв'язку?
3. Що таке випаровування вологи, і яка його залежність від метеорологічних факторів?
4. Що таке насичена пара і як вона змінюється із зміною температури ?
5. Чи можливо за температурою точки роси визначити нічний мінімум температури повітря?
6. Яка причина утворення роси?
7. Які загальні умови конденсації водяної пари в атмосфері?

Тема 6. Прилади для вимірювання атмосферних опадів, вологості ґрунту та випаровування вологи з ґрунту

*Мета роботи: ознайомитися з будовою та принципом дії приладів для вимірювання атмосферних опадів, вологості ґрунту та випаровування вологи з ґрунту, а також виконати завдання.*

### 6.1. Теоретичні відомості.

Волога ґрунту – один з незамінних факторів життя рослин. Вологість ґрунту – це вміст води у ґрунті.

Абсолютна вологість ґрунту – це вміст її у ґрунті у мм, м<sup>3</sup>/га або т/га.

Відносна вологість ґрунту – це відношення маси води, що міститься в ґрунті, до маси сухого ґрунту в тому ж об'ємі ( $W_n$ , у % до маси сухого ґрунту):

$$W_n = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad 6.1$$

де:  $m_1$  – маса вологого ґрунту, г;  $m_2$  – маса абсолютно сухого ґрунту, г.

Після визначення вмісту вологи у ґрунті ( $W_n$ , %) можна розрахувати її запаси ( $H$ , мм) для певного шару ґрунту ( $h$ , см):

$$H = 0,1 \times W_n \times d \times h \quad 6.2$$

де:  $d$  - об'ємна маса ґрунту, г/см<sup>3</sup>  
або на 1 га поля ( $H$ , м<sup>3</sup>/га або т/га):

$$H = 0,1 \times W_n \times d \times h \times 10 \quad 6.3$$

Розрахувати кількість доступної (продуктивної) вологи ( $H$ , мм) в ґрунті можна так:

$$H = 0,1 (W_n - K) \times d \times h \quad 6.4$$

де:  $K$  – вологість в'янення, %.

Водний баланс метрової товщі ґрунту та водопостачання рослин можна розрахувати так:

$$W_{oc} + W_{oz} + W_{\phi} = W_n + W_o - W_k \quad 6.5$$

де:  $W_{oc}$  – запаси вологи у розрахунковому шарі ґрунту наприкінці осені попереднього року, мм;  $W_{oz}$  – опади за період осінь-зима, мм;  $W_{\phi}$  – витрати води на інфільтрацію, мм;  $W_n$  – початкові запаси вологи у розрахунковому шарі ґрунту, мм;  $W_o$  – опади за літній період, мм;  $W_k$  – кінцеві запаси вологи у розрахунковому шарі ґрунту, мм.

Крім приведених водний баланс також може включати, наприклад, величини поверхневого стоку ( $W_c$ ) та притоку ( $W_{cn}$ ). Якщо рельєф ділянки рівнинний, величиною поверхневого стоку/притоку ( $W_c$ , та  $W_{cn}$ ) можна знехтувати. Сумарне випаровування у такому випадку можна виразити так:  $W = W_n + W_o - W_k$ .

У спрощеній формі водний баланс поля ( $W_n$ , мм) визначають так:

$$W_n + r = W_k - E_0 \quad 6.6$$

де:  $W_n$  - запаси вологи на початку розрахункового періоду, мм;  $W_k$  - запаси вологи на кінець розрахункового періоду, мм;  $E_o$  - сумарне випаровування, мм;  $r$  - опади, мм;

Випаровування з ґрунту ( $B$ , мм) можна розрахувати за формулою:

$$B = 0,02 (M_1 - M_2) + (R - I) \quad 6.7$$

де:  $M_1$  – вага випарника при попередньому зважуванні, г;  $M_2$  – вага випарника у момент зважування, г;  $R$  – кількість опадів, що випали за періодами між контрольними зважуваннями, мм;  $I$  – кількість води у водозбірній посудині, мм.

Коефіцієнт 0,02 служить для переведення вагових одиниць (г) в лінійні (мм).

#### 6.2. Прилади для вимірювання атмосферних опадів.

Для вимірювання атмосферних опадів використовують: опадомір Третякова (визначення кількості опадів у рідкому і твердому стані); снігомір ваговий (визначення щільності снігу); рейки снігомірні (визначення висоти снігового покриву).

**Опадомір Третякова** (рис. 6.1.) призначений для вимірювання рідких і твердих опадів, які випали за деякий проміжок часу. Прилад складається з оцинкованого циліндричного відра висотою 40 см та приймальної поверхні площею 200 см<sup>2</sup>. Усередині відра запаяна діафрагма, частина якої – знімна лійка, яка запобігає випаровуванню опадів у літній період (взимку її знімають). Опади виливають з відра через зливник, який закривається ковпачком, до вимірювального стакана, що входить до комплекту. Ціна поділки вимірювального стакана – 0,1 мм. Відро встановлюють так, щоб його приймальна поверхня знаходилась на висоті 2 м від поверхні ґрунту. Навколо відра розміщені 16 вітрозахисних планок, які послаблюють швидкість вітру над поверхнею відра й захищають опади від видування. Вимірювання опадів проводять 4 рази на добу. Коли випадають тверді опади (град, крупа, сніг), відро з ними заносять до приміщення і вимірюють опади після повного їх відтавання. Для того, щоб спостереження велись безперервно, до комплекту приладу входять два відра, одне з яких знімають, а інше встановлюють.



Рис. 6.1. Опадомір В.Д. Третякова О-1

Технічні характеристики опадоміру Третякова О-1:

- приймальна площа опадкомери, см: 200;
- число поділок вимірювальної склянки, мм: 100;
- ціна поділки вимірювальної склянки, мм: 0,1;



- маса, кг: 13.

Для безперервної реєстрації (записування) рідких атмосферних опадів та їх інтенсивності використовують пловіограф (рис. 6.2). Прилад являє собою циліндричну коробку, приймальна частина якої у перетині становить 500 см<sup>2</sup>.

Вода з приймача через систему металевих трубок надходить в поплавкову камеру і підіймає поплавок із стержнем, на якому закріплено стрілку з пером, що прокреслює лінію опадів на паперовій стрічці барабана з годинниковим механізмом. Прилад встановлюють горизонтально на відкритій ділянці на спеціальному стовпі так, щоб його верхня частина була на висоті 2 м від поверхні ґрунту. Стрічку пловіографа змінюють щодоби, після чого запускають годинниковий механізм. На зворотному боці стрічки записують рік, місяць, число, години заміни стрічки та кількість опадів. У холодну пору року пловіограф не використовують через замерзання води.

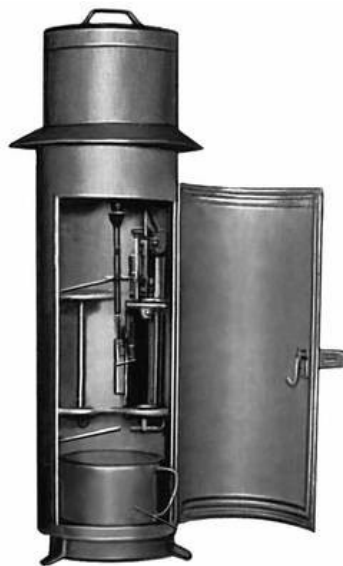


Рис. 6.2. Пловіограф П-2

Узимку після формування снігового покриву проводять снігомірні зйомки, під час яких визначають: висоту і щільність снігового покриву, запаси води в ньому, ступінь покриття ґрунту снігом та характер залягання снігового покриву.

Щільність і залягання снігового покриву у польових умовах визначають за допомогою вагового снігоміра.

Снігомір ваговий (рис. 6.3) складається з металевого циліндра і важільних терезів. Циліндр, висотою 60 см і площею поперечного перерізу 50 см<sup>2</sup>, має на одному кінці товсте кільце із загостреним краєм у вигляді пилки, а на іншому – кришку, яка закриває його. З боку на циліндрі нанесено шкалу із сантиметровими поділками для визначення висоти снігового покриву. На циліндрі вільно переміщується кільце з дужкою, за яку циліндр підвішують до терезів. Прилад дозволяє визначати як щільність снігу, так і запаси води в ньому (мм). За шкалою терезів снігоміра визначають масу снігу (m, г), при заглибленні циліндра – висоту снігового покриву (h, см) та об'єм снігу (V, см<sup>3</sup>).

### 6.3. Прилади для визначення вологості ґрунту.

Термостатно-ваговий метод. Вологість ґрунту на гідрометеорологічних станціях визначають за різницею між масою окремих зразків ґрунту до та після сушіння. Для відбору зразків ґрунту, їх зважування та висушування необхідно мати: ґрунтовий бур; набір сушильних стаканчиків (бюксів), які розміщують у спеціальному ящику; ніж або вузьку стамеску для чищення бурового стакану; електричний термостат (сушильна шафа); ваги технічні; дощечки для підкладання під ноги у тих місцях, де беруть зразки.

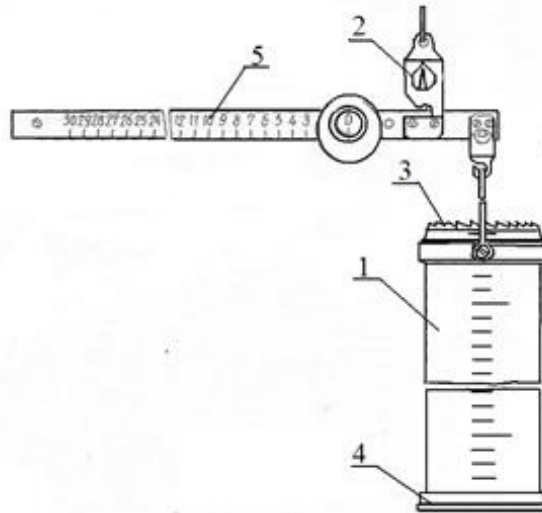


Рис. 6.3. Снігомір ваговий:

- 1 – металевий циліндр; 2 – терези; 3 – кільце із загостреним краєм;  
4 – кришка; 5 – шкала для визначення висоти снігового покриву

Стаканчики нумеруються, та зважуються перед початком роботи. Зразки ґрунту відбирають з глибин 5, 10, 20, 30 см і т.д. через кожні 10 см по всій глибині профілю ґрунту або за іншою схемою відповідно до завдання. З кожної свердловини зразки ґрунту беруть послідовно, залежно від заглиблення буру. Глибину визначають за позначкам на стакані та штанзі бура. Зразки ґрунту беруть з нижньої третини бурового стакану. З верхніх прошарків ґрунту зразки варто брати дуже обережно. Переносити зразки ґрунту з буру у стаканчики потрібно швидко для уникнення випаровування вологи. Стаканчики ретельно витирають та закривають кришкою. Після запису стаканчик із зразком доставляють у лабораторію та відразу зважують з точністю до 0,1 г.

Сушіння зразків проводять у сушильних шафах з електричним підігрівом при температурі 100–105 °С, тривалість сушіння залежить від типу ґрунту: супіщаних ґрунтів – 7–8 годин, торфових – 10–12 годин. До термостатів зразки ставлять у стаканчиках з відкритими кришками. Кожну кришку необхідно покласти під дно відповідного стаканчика. Для визначення часу закінчення сушки проводять контрольні зважування, доки результати двох послідовних зважувань не співпадуть чи не будуть відрізнятися більше ніж на 0,1 г.

Стаканчики із зразками ґрунту виймають з термостату, одразу ж закривають кришками та після охолодження у ексікаторі зважують. Вологість ґрунту визначають за різницею маси зразку ґрунту до та після висушування та підраховують у відсотках від маси абсолютно сухого ґрунту.

Нейтронний вологомір ВНП-1. Принцип дії цього приладу заснований на здатності атомів водню уповільнювати рух швидких нейтронів (рис 6.4). До складу приладу входять електронний цифровий вимірювальний блок та давач (датчик), який суміщений в одному корпусі з джерелом швидких нейтронів. Технічні дані ВНП-1: діапазон вимірювання вологості – 0,05–0,5 г/см<sup>3</sup> (або 5–50 %), похибка вимірювання – 0,025 г/см<sup>3</sup> (або 2,5 %). Загальна вага комплекту без обсадних труб 5 кг.

Прилад має ряд недоліків, а саме: атоми водню входять не лише до складу води, але й до складу органічної частини ґрунту (напр. гумусу); у верхніх шарах ґрунту 0–10 і 0–20 см цим методом визначати вологість складно, оскільки на глибинах до 20 см сфера дії нейтронного методу включає не лише ґрунт, але й повітря, де концентрація атомів водню в одиниці об'єму значно нижча, ніж у ґрунті. Тому ВНП-1 рекомендують застосовувати починаючи з глибини не менше 30 см.

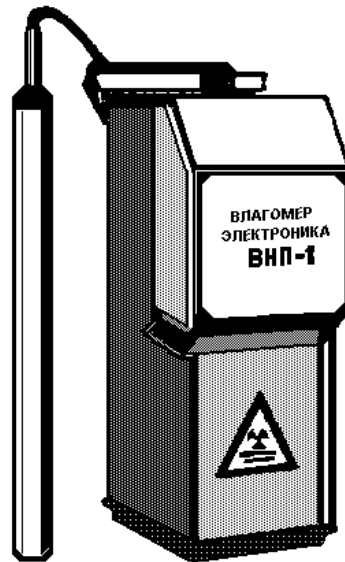


Рис. 6.4. Нейтронний вологомір ВНП-1

Серед інших методів і засобів, які можна використати для вимірювання вологості ґрунту – стаціонарний датчик вологості ґрунту корпорації Sutron (США), надвисокочастотний вологомір ґрунтових зразків СВП-5, радіолокатор для визначення вологості ґрунту, фотооптичний вологомір ґрунтових зразків тощо.

#### 6.4. Спостереження за випаровуванням з поверхні ґрунту.

Спостереження за випаровуванням з поверхні ґрунту здійснюють за допомогою ґрунтових випарників ГПІ-500-50 (рис. 6.5). Суть методу ґрунтових випарників полягає у тому, що випаровування з ґрунту між строками спостережень визначають за зміною ваги ґрунтового моноліту, який поміщають у випарник, з врахуванням опадів, що випали за той же період часу та кількості води, яка просочилася через моноліт.

Зміну ваги ґрунтового моноліту визначають шляхом зважування випарника на механічних вагах або гідростатичним зважуванням. Оподи вимірюються за допомогою польового дощоміру. Випарники, які вазать на механічних вагах, називаються ваговими випарниками. На агрометстанціях застосовують ґрунтові випарники ГПІ-500-50 (площа 500 см<sup>2</sup>, висота 50 см) або ГПІ-500-100 (площа 500 см<sup>2</sup>, висота 100 см).

Також застосовують гідравлічний випарник ГТВ, який є найбільш досконалим приладом для вимірювання випаровування. Це досить складний прилад, в якому ґрунтовий моноліт масою 400 кг з випарною поверхнею 2 000 см<sup>2</sup> поміщено у поплавок, що знаходиться у баку з водою. Глибина занурення моноліту змінюється залежно від випаровування.

Випарник ГПІ-500-50 (рис. 6.5) складається з внутрішнього циліндру, дна внутрішнього циліндру, водозбірної посудини, клямки, планки, двох ручок, зовнішнього циліндру-гнізда, двох підйомних гачків, вушок та підпірок. У внутрішній циліндр поміщають ґрунтовий моноліт з непорушеною структурою. Зовнішній циліндр є гніздом для внутрішнього циліндру. На ґрунтових випарних майданчиках спостерігають за: сумарним випаровуванням, випаровуванням під рослинним покривом, опадами за дощомірам, просочуванням води через ґрунтові моноліти у випарниках та іншими величинами.

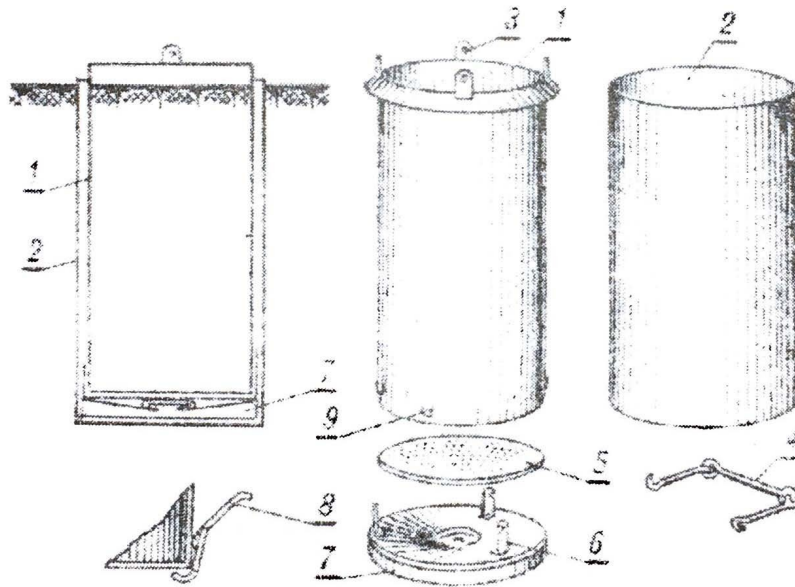


Рис. 6.5. Ґрунтові випарники ГП-500-50: 1 – внутрішній циліндр; 2 – зовнішній циліндр; 3 – дужки; 4 – ручки; 5 – вкладиш з отворами; 6 – кріплення дна; 7 – дно; 8 – клямки

Спостереження починаються навесні, після сходу снігового покриву, з моменту переходу ґрунту до "добре зволоженого стану" і проводять до промерзання ґрунту на глибину понад 5 см восени чи до моменту утворення стійкого снігового покриву. Важення випарників ГП проводять через 5 днів: 1, 6, 11, 16, 21, 26-го числа, з 7-ї до 9-ї годин ранку. Гідралічні випарники зважують три рази на добу: о 7-й, 13-й та 19-й годинах.

Кількість води, яка випарувалася ( $W$ , мм) розраховується так:

$$W = \frac{10}{S} (P_1 + P_2) + x - y \quad 6.8$$

де:  $S$  – площа випарника,  $\text{см}^2$ ;  $P_1$  – маса випарника з монолітом при попередньому зважуванні, кг;  $P_2$  – маса випарника з монолітом при поточному зважуванні, кг;  $x$  – опади, що випали за період спостережень, мм;  $y$  – вода, яка просочилася через ґрунт перед поточним зважуванням, мм.

Спостереження за випаровуванням вологи досить трудомістка операція. Тому такі вимірювання проводяться на метеостанціях та дослідних станціях з використанням спеціальних стаціонарних кранів.

Атмосферні опади – це вода в рідкому або твердому стані, що випадає з атмосфери на земну поверхню. Кількість опадів вимірюють товщиною у мм шару води, який утворився б на поверхні Землі, коли б опади не стікали, не випаровувалися і не просочувалися у ґрунт. Шар опадів висотою 1 мм відповідає об'єму  $1 \text{ л/м}^2$  або обсягу  $10 \text{ т/га}$ . Інтенсивність атмосферних опадів ( $I$ ) – це кількість опадів (мм) за одиницю часу, (напр. хв.):

$$I = \frac{h}{t} \quad 6.9$$

де:  $h$  – кількість опадів, мм;  $t$  – час, хв.

Опади у вигляді снігу формують сніговий покрив. При снігомірних зйомках визначаються висота снігового покриву, щільність снігу та запаси води в ньому. Також можуть визначатися ступінь покриття ґрунту снігом та характер залягання снігового покриву. Щільність і висоту снігового покриву визначають за допомогою вагового снігоміра (рис 6.3). Даний прилад дозволяє визначити масу снігу ( $m$ , г), висоту снігового покриву ( $h$ , см) та об'єм снігу ( $V$ ,  $\text{см}^3$ ).

Щільність снігу ( $d$ ,  $\text{г}/\text{см}^3$ ) можна визначити так:

$$d = \frac{m}{V} = \frac{5n}{50h} = \frac{n}{10h} \quad 6.10$$

де:  $m$  – маса снігу, г;  $V$  – об'єм снігу,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;  $h$  – висоту снігового покриву, см;  $n$  – число поділок на вагах снігоміра.

При відомих значеннях щільності снігу та його висоти запаси води ( $W$ , мм) у ньому знаходимо так:

$$W = 10 \times h \times d \quad 6.11$$

Перемножимо одержаний результат на 10 (1 мм води = 10 т/га, чи  $10 \text{ м}^3/\text{га}$  води) і отримаємо запаси води на 1 га.

#### 6.5. Завдання.

1. Визначити вологість ґрунту ( $W_n$ , %) за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Глибина відбору зразків ґрунту – 0-5 см									
Маса бюкса, г	25,3	25,8	26,0	25,5	25,2	26,4	27,1	27,0	26,3	25,9
Маса бюкса з ґрунтом до висушування, г	64,1	65,3	61,9	59,1	58,4	61,7	67,3	66,4	60,1	59,2
Маса бюкса з ґрунтом після висушування, г	61,8	63,2	58,0	56,1	55,4	58,7	64,5	63,1	57,9	56,3
	Глибина відбору зразків ґрунту – 5-10 см									
Маса бюкса, г	25,7	25,1	25,0	25,6	25,0	26,0	26,0	27,2	26,0	25,7
Маса бюкса з ґрунтом до висушування, г	63,9	64,1	62,6	61,5	60,4	64,4	61,1	60,3	61,8	62,6
Маса бюкса з ґрунтом після висушування, г	60,0	60,9	58,5	58,0	57,1	60,7	59,1	57,2	57,7	58,1
	Глибина відбору зразків ґрунту – 10-20 см									
Маса бюкса, г	24,4	24,1	25,2	24,8	24,7	25,3	25,1	24,9	25,5	24,9
Маса бюкса з ґрунтом до висушування, г	60,7	60,2	61,7	60,9	59,7	58,8	60,3	64,1	60,7	61,5
Маса бюкса з ґрунтом після висушування, г	59,0	58,8	57,4	56,8	55,0	55,1	57,0	60,1	57,8	58,2
	Глибина відбору зразків ґрунту – 20-30 см									
Маса бюкса, г	25,3	24,7	25,0	25,6	25,1	24,2	26,6	26,7	25,0	25,8

Маса бюкса з ґрунтом до висушування, г	66,8	63,2	64,6	61,7	67,6	61,8	63,1	64,2	62,5	60,4
Маса бюкса з ґрунтом після висушування, г	64,5	59,3	60,3	58,8	64,1	58,3	59,1	60,3	57,8	57,1
Глибина відбору зразків ґрунту – 30-40 см										
Маса бюкса, г	24,4	24,8	26,8	25,7	24,3	24,1	25,7	25,6	26,1	26,9
Маса бюкса з ґрунтом до висушування, г	62,7	63,1	65,6	63,8	67,1	63,8	64,7	64,1	63,5	61,9
Маса бюкса з ґрунтом після висушування, г	58,7	59,4	61,2	59,7	64,0	59,3	60,5	60,9	57,7	58,4

2. Розрахувати запаси вологи у ґрунті (Н, мм) за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Щільність ґрунту у шарі 0-20 см (d), г/см <sup>3</sup>	1,20	1,15	1,14	1,09	1,05	1,17	1,21	1,23	1,17	1,15
Щільність ґрунту у шарі 20-40 см (d), г/см <sup>3</sup>	1,23	1,25	1,13	1,18	1,19	1,21	1,26	1,25	1,19	1,18

3. Обчислити вміст води в ґрунті та запаси доступної продуктивної вологи (Н, мм) за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Маса вологого ґрунту (m <sub>1</sub> , г)	11,9	16,3	12,5	17,4	19,1	14,2	13,7	10,1	17,7	12,3
Маса сухого ґрунту (m <sub>2</sub> , г)	8,3	15,4	10,1	15,1	17,7	12,2	12,0	8,0	15,1	10,3
Щільність ґрунту (d), г/см <sup>3</sup>	1,20	1,15	1,14	1,09	1,05	1,17	1,21	1,23	1,17	1,15
Вологість в'янення (K, %)	3,0	4,7	1,2	4,8	5,9	2,7	9,1	7,3	6,8	8,1
Глибина (h, см)	30	90	70	60	100	90	40	50	70	80

4. Розрахувати водний баланс поля (В, мм) за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Запаси вологи у шарі ґрунту 0-100 см весною, мм	266	292	221	278	252	247	280	275	295	304
Запаси вологи у шарі ґрунту 0-100 см осінню, мм	169	154	132	145	175	160	157	149	186	195
Опади (r, мм)	147	185	194	128	155	194	157	196	144	132
Коефіцієнт поверхневого стоку (k)	0,23	0,34	0,12	0,24	0,15	0,18	0,22	0,20	0,19	0,14

5. Визначте середньодобове випаровування вологи з ґрунту за випарником ГПІ-500-50 за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти*									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вага випарника при попередньому зважуванні, (M <sub>1</sub> , кг)	43,5	44,1	43,3	47,7	48,3	44,9	45,6	42,4	47,2	44,0
Вага випарника у момент зважування, (M <sub>2</sub> , кг)	42,8	42,6	40,8	46,0	47,1	43,9	43,7	39,1	40,4	42,9
Кількість опадів, що випали за періодами між контрольними зважуваннями, (R, мм)	10	6	12	5	9	14	18	10	3	5
Кількість води у водозбірній посудині, (I, мм)	3	1	5	2	4	8	8	3	1	2

\* Тривалість досліду 5 діб.

6. Визначити водний баланс розрахункового (0-100 см) шару ґрунту і сумарного водопостачання за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дати визначення запасів вологи восени (W <sub>ос</sub> )*	30/ 10	25/ 10	31/ 10	27/ 10	25/ 10	30/ 10	25/ 10	31/ 10	27/ 10	25/ 10
Дати визначення початкових запасів вологи в розрахунковому шарі ґрунту (W <sub>п</sub> )	03/ 04	06/ 04	04/ 04	07/ 04	02/ 04	03/ 04	06/ 04	04/ 04	07/ 04	02/ 04
Дати визначення кінцевих запасів вологи в розрахунковому шарі ґрунту (W <sub>к</sub> )	02/ 11	04/ 11	01/ 11	03/ 11	05/ 11	02/ 11	04/ 11	01/ 11	03/ 11	05/ 11
Запаси вологи (W <sub>ос</sub> ), мм	121	125	147	134	152	133	115	141	135	121
Запаси вологи (W <sub>п</sub> ), мм	145	144	164	147	169	150	134	155	157	142
Запаси вологи (W <sub>к</sub> ), мм	85	90	77	80	71	90	72	67	84	91

\*Дати обліку опадів за літній період — це період часу від дати визначення початкових запасів вологи до дати визначення кінцевих запасів вологи в розрахунковому шарі ґрунту. Дати обліку опадів за період осінь-зима — це період часу від дати визначення кінцевих запасів вологи до дати визначення початкових запасів вологи в розрахунковому шарі ґрунту. Кількість атмосферних опадів (W<sub>о</sub>) за період вегетації сільськогосподарських культур (від дати (W<sub>п</sub>) до дати (W<sub>к</sub>) наведені у додатку 6. Кількість опадів за цілі місяці додаємо, а за неповні — спочатку знаходимо кількість опадів за один день шляхом ділення середньомісячної кількості опадів на число днів відповідного місяця, а потім, шляхом множення отриманого результату на кількість днів знаходимо опади за неповний місяць

Питання для самоконтролю та обговорення.

1. Як і з допомогою яких приладів проводять вимірювання атмосферних опадів?
2. Як визначити запаси води у снігу?

3. Як визначити вміст вологи у ґрунті?
4. Як визначити запаси вологи у ґрунті?
5. Як Ви розумієте водний баланс поля?
6. Як визначають випаровування з ґрунту?



## Тема 7. Передбачення погоди синоптичним методом

*Мета роботи: ознайомитися з методами передбачення погоди, метеорологічними кодами та символами, синоптичними картами, набутти навичок роботи з ними та виконати завдання.*

### 7.1. Теоретичні відомості.

Синоптичний метод передбачення погоди.

Погода — це стан атмосфери, який визначається сукупністю ряду метеорологічних показників у даний момент часу та на даній території і характеризується значною мінливістю та різноманітністю.

Суть синоптичного методу прогнозу погоди полягає в одночасному огляді стану погодних умов на достатньо великій території та аналізуванні карт погоди, що називаються синоптичними. Такий підхід дозволяє визначити характер розвитку атмосферних процесів і подальшу найбільш ймовірну зміну метеорологічних умов у даному районі. На звичайній географічній карті (карта погоди) наносяться дані метеорологічних спостережень, що проводяться як поблизу поверхні Землі, так і на всіх доступних для метеорологічних приладів висотах на метеорологічних станціях.

Аналіз карт погоди полягає у визначенні того, чим обумовлюється погода в даному районі: звідки, і як швидко надходить сюди повітря; в якій баричній системі воно циркулює; як взаємодіє із землею поверхнею; чи існують атмосферні фронти, що здатні впливати на погоду; куди і з якою швидкістю переміщуються баричні системи і атмосферні фронти; як вони змінюються; яким є добовий параметр метеорологічних величин тощо.

На основі аналізу як якісних оцінок розвитку атмосферних процесів, так і отримання їх кількісних показників, синоптик визначає, як розвиватимуться ці процеси у найближчий час (години, 1–2 доби) у певному районі і якими будуть зумовлені цими процесами конкретні умови погоди – хмарність, температура повітря, вітер, опади і т. д. Враховуючи, що напр. циклони й антициклони, теплі й холодні фронти будуть протягом наступної доби рухатися приблизно з такою ж швидкістю і в тому ж напрямку, можна з певною точністю передбачити, де всі вони перебуватимуть протягом наступної доби, і куди яку погоду вони принесуть. Подібні передбачення є досить наближеними, оскільки напр. циклон чи антициклон поступово змінює свою структуру, швидкість і напрям руху. Для підвищення точності прогнозів важливо мати відомості про явища, які відбуваються на різних висотах над Землею. Так, повітряні течії на висоті 3–5 км над Землею впливають на рух, посилення й послаблення приземних циклонів і антициклонів. Тому, напр. відомості про напрямок і швидкість повітряних течій над циклоном чи антициклоном дозволяє коригувати напрям і швидкість руху зони певного атмосферного тиску в той чи інший момент часу. Повітряні течії також допомагають визначати зміни тиску в тій чи іншій області.

Приземні карти погоди складаються за результатами метеорологічних спостережень, що передаються наземними та морськими метеорологічними станціями. Висотні карти погоди, що дають уявлення про стан атмосфери на різних рівнях, складаються на основі даних аерологічних станцій. Таким чином, за допомогою приземних і висотних карт погоди та інших допоміжних даних синоптики отримують інформацію про просторову структуру атмосфери, розвиток атмосферних процесів та стан погоди за минулу добу. Останнім часом використовують дані спостережень метеорологічних супутників Землі. Значення одних метеорологічних величин можна розрахувати з певною точністю, а значення інших (напр. хмарності) оцінюються наближено, без точних розрахунків. Прогнозування погоди – це складний процес, який вимагає розуміння атмосферних процесів, що розвиваються, а також досвіду і знань.

### 7.2. Прогнозування погоди.

Прогноз – це науково аргументоване передбачення, що дає випереджаючу інформацію про розвиток явищ і процесів у майбутньому. Умови формування та способи прогнозування погоди вивчає синоптична метеорологія. В основі її методів лежать закони

гідродинаміки. Прогнозування погоди можливе лише на основі систематичних спостережень за нею.

Регулярні спостереження за погодою проводяться на мережах метеорологічних (синоптичних) станцій, які працюють за єдиною програмою і в узгоджені строки за гринвіцьким часом.

До метеорологічних станцій першого розряду належать метеорологічні обсерваторії – вони мають найширшу програму спостережень і проводять вимірювання метеорологічних характеристик у повному об'ємі для метеорологічних станцій, а також спостереження за всіма характеристиками радіаційного балансу, фізичними особливостями атмосферних процесів, станом радіоактивного і хімічного забруднення атмосфери.

Переважна більшість станцій служби погоди – це станції другого розряду: вони обладнані термометрами, психрометрами для спостережень за вологістю повітря, барометрами для вимірювання тиску, опадомірами для вимірювання опадів, міркою для вимірювання товщини снігового покриву, флюгером з вітромірною дошкою для визначення напрямку і швидкості вітру.

Спостереження на цих станціях ведуться чотири рази на добу і передаються в національні гідрометеорологічні центри, де вони опрацьовуються і на їх основі складаються синоптичні карти.

Прогноз погоди буває – короткостроковий та довгостроковий.

У короткострокових прогнозах погоди (від декількох годин до 1–2 діб), очікувані умови погоди вказуються більш детально, ніж у довгострокових.

У довгострокових прогнозах погоди (від 3–10 діб до місяця і більше) характер погоди на майбутній період описується в більш загальному вигляді: перевага ясної чи хмарної погоди, можливість випадання опадів, межі денних і нічних температур, різкі зміни погоди, переважаючий напрямок і швидкість вітру.

Прогноз погоди на місяць містить знак і величину відхилення середньої місячної температури й опадів від норми, а також періоди найбільш істотних змін погоди: похолодань і потеплень, переходів від сухої до непогожої погоди і т.д..

### 7.3. Метеорологічний код.

Прогнозування погоди здійснюється за допомогою поточної інформації, що надається метеорологічними станціями відповідно до міжнародних угод. Спостереження за погодою на метеорологічних станціях проводяться у чітко встановлений час, починаючи з 00 годин міжнародного координованого часу (universal coordinated time - UTC), через кожні три години (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 і 21 годину). За термінами складання метеорологічної інформації розрізняють: основні та додаткові карти погоди. Основні карти погоди складаються за даними отриманими протягом основних термінів спостережень: 00, 06, 12 і 18 годин гринвіцького часу. Додаткові карти погоди складаються на основі даних отриманих в проміжні терміни (03, 09, 15 і 21 годині за часом Гринвіцького меридіану). Результати спостережень кодуються відповідно до міжнародного метеорологічного коду КН-01 і передаються по телеграфу в метеорологічні центри. В метеорологічних центрах на підставі інформації, що міститься в телеграмах, складаються карти погоди. Дані про погоду наносяться на карту у вигляді цифр та умовних символів у чітко встановленому порядку навколо кружка станції.

Схема телеграми метеорологічного коду містить 7 груп по 5 літер у кожній групі (табл. 7.1).

Таблиця 7.1.

Схема коду КН-01 метеорологічної телеграми

Номер групи	Літери коду
0	УУG <sub>м</sub> G <sub>м</sub>
1	Іііі

2	Nddf <sub>м</sub> f <sub>м</sub>
3	VVwwW
4	PPPTT
5	N <sub>н</sub> C <sub>л</sub> hC <sub>м</sub> C <sub>н</sub>
6	T <sub>д</sub> T <sub>да</sub> PP
7	7RRT <sub>е</sub> T <sub>е</sub>

Значення літер у схемі метеорологічної телеграми кодуються.

Нульова група УУG<sub>м</sub>G<sub>м</sub>

УУ – число місяця: напр. 01 – перше число.

G<sub>м</sub>G<sub>м</sub> – термін спостережень у годинах за Грінвічем: напр. 03 – 03-00 години.

Перша група Іііі

І – номер району згідно зі схемою розташування мережі метеостанцій.

ііі – номер гідрометеостанції.

Друга група Nddf<sub>м</sub>f<sub>м</sub>

N – загальна кількість хмар незалежно від їх форми (табл. 7.2).

Таблиця 7.2.

Коди загальної кількості хмар

Цифри коду	Кількість хмар у балах	Цифри коду	Кількість хмар у балах
0	Хмари відсутні	5	6
1	1 або менше (сліди хмар)	6	7–8
2	2–3	7	9 або більше, але є просвіти
3	4	8	10 (повне покриття хмарами без просвітів)
4	5	9	Неба не видно через туман, хуртовину

dd – напрям вітру (0–36), табл. 7.3.

Таблиця 7.3.

Коди напрямку вітру

Напрямок вітру, позначення		Цифри коду
українські	міжнародні	
Штиль		00
Пн-ПнСх	NNE	02
ПнСх	NE	05
Сх-ПнСх	ENE	07
Сх	E	09
Сх-ПдСх	ESE	11
ПдСх	SE	14
Пд-ПдСх	SSE	16
Пд	S	18
Пд-ПдЗх	SSW	20

ПдЗх	SW	23
Зх-ПдЗх	WSW	25
Зх	W	27
Зх-ПнЗх	WNW	29
ПнЗх	NW	32
Пн-ПнЗх	NNW	34
Пн	N	36
Змінний		99

$f_m, f_m$  – швидкість вітру (м/с): 00- штиль, 01 – 1 м/с.

#### Третя група VVwwW

VV – горизонтальна видимість (км): 01–50 – видимість від 0,1 до 5,0 км; 56–80 – від 6 до 30 км. Напр. 45 – горизонтальна видимість 4,5 км (до 6 км – зменшуємо число коду у 10 разів), 60 – горизонтальна видимість 10 км (понад 6 км – додаємо 50). XX – горизонтальну видимість встановити неможливо.

ww – погода під час спостережень або протягом останньої години. Коди 01-99 (додаток 7).

W – погода між моментами спостережень. Коди 0–9 (табл. 7.4).

Таблиця 7.4.

Коди характеристики погоди між строками спостережень

Цифри коду	Характеристика погоди
0	Ясно, або хмарність не більше 5 балів
1	Мінлива хмарність, більше 5 балів, інколи менша 5, або 5 балів.
2	Похмуро/хмарність понад 5 балів
3	Піщана/пилова буря/поземка/низовина хуртовина
4	Туман/льодяний туман/сильна імла
5	Мжичка/мряка
6	Дощ
7	Сніг і дощ з снігом
8	Зливові опади
9	Гроза з опадами або без них

#### Четверта група PPRТТ

PPR – атмосферний тиск кодується трьома останніми цифрами: 175 – 1017,5 гПа; 890 – 989,0 гПа.

ТТ – температура повітря передається в цілих градуса. Якщо є десяті частки, тоді заокруглюють, напр., 10,4 °С до 10 °С; 10,6 °С до 11 °С. Якщо десятих частин 5, напр., 10,5 – до цілого парного числа, т.то до 10 °С; 11,5 °С до 12 °С. Від'ємна температура – до абсолютного значення додають 50, напр., 65 – це -15,0 °С; 80 – це -30 °С. При температурі нижче -50 °С, сотні частки відкидаються і передаються лише десятки та одиниці: 02 – -52 °С (адже додавши 50 отримаємо 102). Знак “+” біля числа не ставиться, знак “мінус” ставиться обов'язково. Десяті частки градуса при нанесенні не відокремлюють.

#### П'ята група N<sub>h</sub>C<sub>L</sub>hC<sub>m</sub>C<sub>n</sub>.

N<sub>h</sub> – кількість хмар C<sub>L</sub>, а при їх відсутності – кількість хмар C<sub>m</sub>, коди від 0 до 9 (табл. 7.2).

$C_L$  – переважно хмари нижнього ярусу: шарувато купчасті (Sc), шаруваті (St), та хмари вертикального розвитку: купчасті (Cu) купчасто-дощові (Cb).

$h$  – висота нижньої межі хмар  $C_L$  та  $C_m$  над земною поверхнею. Коди від 0 до 9 (табл. 7.5). Висота хмар  $C_m$  вказується лише у випадку відсутності хмар  $C_n$ .

Таблиця 7.5.

Коди висоти нижньої границі хмар

Цифри коду	Висота, м
0	Менше 50
1	50-100
2	100-200
3	200-300
4	300-600
5	600-1000
6	1000-1500
7	1500-2000
8	2000-2500
9	2500 і більше, або хмари відсутні
X	Висота не відома

$C_m$  – форми хмар середнього (високо-купчасті, As та високо-шаруваті As) та нижнього (шарувато-дощові Ns) ярусу. Коди 0–9 (табл. 7.6).

Таблиця 7.6.

Коди форм хмар

Цифри коду	Хмари	Номери таблиць атласу хмар
0	Хмар немає	
1	Високо-шаруваті, які просвічуються	22, 23
2	Високо-шаруваті, які не просвічуються або шарувато-дощові	24, 55, 56
3	Високо-купчасті, які просвічуються і розташовані на одному рівні	28, 129, 130
4	Високо-купчасті, які просвічуються і розташовані на одному/декількох рівнях	27, 31, 32, 102, 103, 104, 106
5	Високо-купчасті, які просвічуються, поступово розташовуються на небі та ущільнюються	26
6	Високо-купчасті, що утворились з купчастих/купчасто-дощових	39, 40
7	Два або більше шарів високо-купчастих хмар, які просвічуються, розташовані на небі не поступово, або високо-купчасті разом з високо-шаруватими, або шарувато-дощові	30, 34
8	Високо-купчасті баштоподібні/пластівцеподібні.	16, 25 29, 36-38
9	Високо-купчасті при хаотичному розміщенні	33, 35

C<sub>n</sub> – форма хмар верхнього (перисті, C<sub>i</sub>; перисто-купчасті, C<sub>e</sub>; перисто-шаруваті, C<sub>s</sub>) ярусу: коди від 0 до 9 (табл. 7.7).

Таблиця 7.7.

Коди хмар верхнього ярусу

Цифри коду	Хмари	Номери таблиць атласу хмар
0	Хмар немає	
1	Перисті ниткоподібні, іноді кігтеподібні, розташовуються не поступово	1, 2, 4, 105
2	Перисті щільні у вигляді пучків/сплутаних снопів і пластівців, кількість яких не збільшується	5, 6, 9, 14
3	Перисті щільні, які утворюються з купчасто-дощових хмар	7, 11, 12
4	Перисті кігтеподібні/ниткоподібні, розташовуються поступово, в цілому ущільнюються	10
5	Перисті, часто у вигляді смуг, перисто-шаруваті або лише перисто-шаруваті, розташовані поступово. Суцільний шар хмар піднімається над горизонтом менше ніж на 45°	3, 8
6	Перисті, часто у вигляді смуг, перисто-шаруваті або лише перисто-шаруваті, розташовані поступово. Суцільний шар хмар піднімається над горизонтом вище 45° але не закриває всього неба	(70)
7	Перисто-шаруваті, які закривають все небо	21
8	Перисто-шаруваті, розташовуються не поступово по небу і не закривають його	(72)
9	Перисто-купчасті одні, або перисто-купчасті, які переважають над іншими хмарами	13, 15-17

Шоста група T<sub>d</sub>T<sub>a</sub>aPP.

T<sub>d</sub>T<sub>a</sub> – температура точки роси, кодування аналогічне кодуванню температури повітря (ТТ).

a – характер змін баричної тенденції за останні 3 години: коди від 0 до 8 (табл. 7.8)

Таблиця 7.8.

Коди баричної тенденції за останні 3 години

Цифри коду	Характер баричної тенденції
0	Ріст, потім падіння
1	Ріст, потім без змін
2	Ріст рівномірний, або нерівномірний

3	Падіння, потім ріст. Без змін, потім ріст
4	Рівний або не рівний хід, але тиск такий самий як 3 години тому
5	Падіння, потім ріст
6	Падіння, потім без змін або більш слабе падіння.
7	Рівномірне або нерівномірне падіння
8	Ріст, потім падіння. Без змін, потім падіння. Падіння, потім більш сильне падіння

RR – величина баричної тенденції за останні 3 години: кодується в десятих долях мілібара, напр. 15 – 1,5 мбар. При величині понад 9,9 мбар – код 99. Фактична величина баричної тенденції передається в додатковій групі.

Сьома група 7RRT<sub>e</sub>T<sub>e</sub>.

Передається два рази на добу – ранком та ввечері.

7 – номер групи.

RR – кількість опадів, мм. До 55 мм цифри коду відповідають фактичним обсягам опадів: 00 – 0 мм; 04 – 4 мм. Опади у кількості понад 55 мм кодуються додаванням 50 до їх кількості у десятках. Напр., 57 – 70 мм; 86 – 360 мм.

T<sub>e</sub>T<sub>e</sub> – екстремальна температура, кодується аналогічно температурі повітря. Мінімальна температура передається в ранковій телеграмі, а максимальна за минулий період – у вечірній.

Приклад розшифрованої телеграми погоди.

Погода у зашифрованому вигляді (код):

0	1	2	3	4	5	6	7
0609	34523	8000	96717	19452	8042X	54202	04457

Характеристика погоди:

Метеорологічні елементи	Час спостережень 09
Горизонтальна видимість	4 км
Загальна кількість хмар	10 б
Форми хмар	Шарувато-дощові
Висота нижньої границі хмар	300 м
Кількість опадів	0,4 мм
Погода між строками спостережень	Падав сніг
Погода у строк спостережень	Падав сніг, безперервно, слабкий
Швидкість вітру	Тихо
Температура повітря	-2,1
Точка роси	-4,0
Мінімальна температура повітря	-6,6
Тиск повітря	1019,4 мб

Характеристика баричної тенденції	Рівномірний ріст
Величина баричної тенденції	+0,2 мб

#### 7.4. Синоптичні карти.

Синоптична карта (карта погоди, «осяжна одночасно») - це географічна карта, на яку цифрами та символами нанесені дані одночасних спостережень за погодою біля поверхні Землі, та на певних рівнях атмосфери. Такі карти дають можливість вивчати великомасштабні атмосферні процеси (рухи повітряних мас), просторові розміри яких є співрозмірними з площею окремих материків/океанів, або їх частин, а отже і погодні умови над будь-яким районом Земної кулі. Синоптичні карти складають чотири рази на добу за спостереженнями о 03, 09, 15 та 21 годинах. Вони є основою для передбачення добового прогнозу погоди (рис. 7.1).

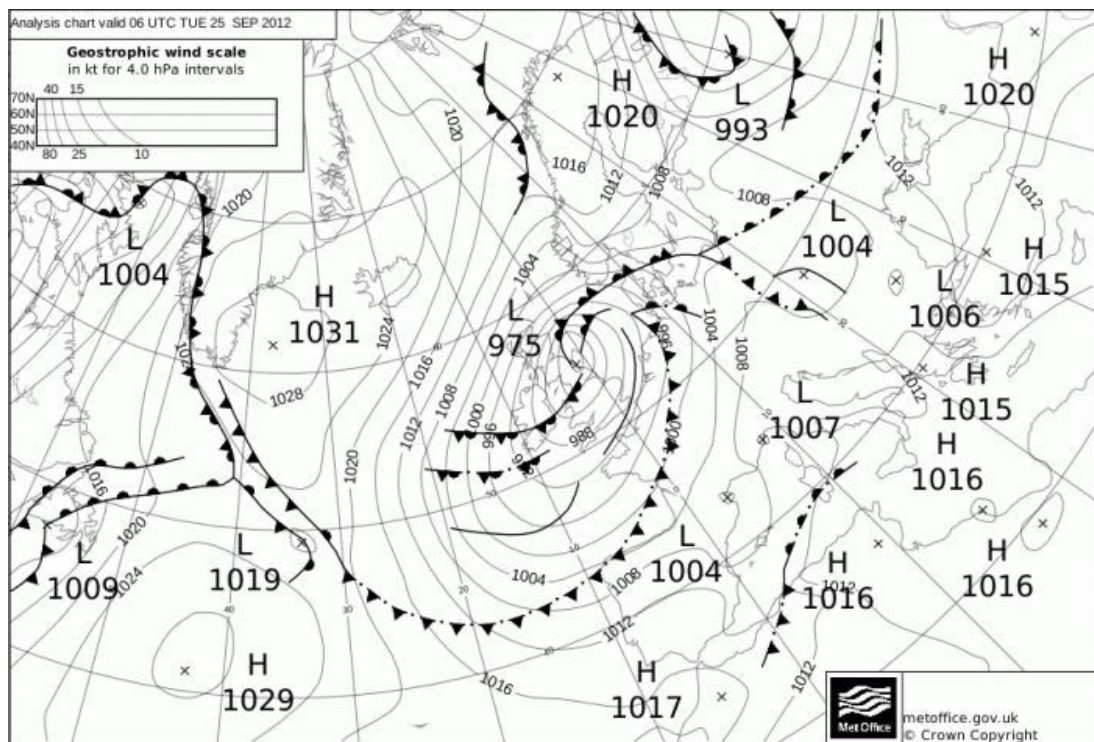


Рис. 7.1. Синоптична карта

На карті погоди у місці розташування станції позначені кружки (пуансони) станцій, біля яких вказуються їх індекси (номери), навколо яких наносять значення метеорологічних елементів.

Для складання синоптичних карт на них наносять умовні позначення – синоптичні символи (рис 7.2). Дані символи визначаються за цифрами коду. Ліва частина рисунка 7.2. містить символи для нанесення погоди у строки спостережень (ww) за цифрами коду від 00 до 99 (додаток 7).



WW	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		C <sub>L</sub>	C <sub>M</sub>	C <sub>H</sub>	C	W	a	N
00	○	○	○	○	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0				↗	○	∧	○
10	=	=	=	<	☺	)	(	∞	∞	∞	1	∞	∞	∞	↗	○	∧	○
20	·	·	*	*	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	∞	∞	∞	↗	○	∧	○
30	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3	∞	∞	∞	↗	○	∧	○
40	(∞)	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4	∞	∞	∞	↗	○	∧	○
50	,	”	;	;	;	;	;	;	;	;	5	∞	∞	∞	↗	○	∧	○
60	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	6	∞	∞	∞	↗	○	∧	○
70	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7	∞	∞	∞	↗	○	∧	○
80	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	8	∞	∞	∞	↗	○	∧	○
90	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	9	∞	∞	∞	↗	○	∧	○

Рис. 7.2. Синоптичні символи

Права частина – символи для зображення на картах C<sub>L</sub>, C<sub>M</sub>, C<sub>H</sub>, W, a та N за цифрами коду від 0 до 9. Стрілкою, яка направлена до пуансона станції, зі сторони, з якої дме вітер, позначають напрямок вітру. Довжина стрілки в 4–5 разів більше кружка станції. Швидкість вітру позначають оперенням стрілки. Одне велике перо – швидкість вітру 3-4 м/с, одне мале – 1-2 м/с. Швидкість понад 25 м/с позначається затемненим прямокутником. Інші метеорологічні елементи наносять цифрами (тиск, температура повітря у строки спостережень, екстремальна температура та температура точки роси – цифрами коду телеграми). Горизонтальна видимість, кількість хмар, їх висота та кількість опадів – також цифрами коду (табл. 7.9, 7.10).

Таблиця 7.9.

Кількість хмар нижнього ярусу

Цифри коду	Наноситься на карту
0	Не наносять
1	1
2	2
3	4
4	5
5	6
6	8
7	9
8	10
9	X

Таблиця 7.10.

Висота хмар нижнього ярусу

Цифри коду	Наноситься на карту
0	< 50
1	50
2	100
3	200
4	300
5	600
6	1000
7	1500
8	2000
9	Не наносять

Кількість опадів наносять у цілих міліметра, або у десятих долях, якщо їх менше 1 мм. Кожен метеорологічний елемент наносять на карті у відповідному місці відносно пуансона згідно зі схемою (рис 7.1 та 7.3) різними кольорами: опади – зеленим; температура повітря у строки спостережень, екстремальна температура, погода між спостереженнями і хмари верхнього ярусу – червоним; решта – чорним кольором.

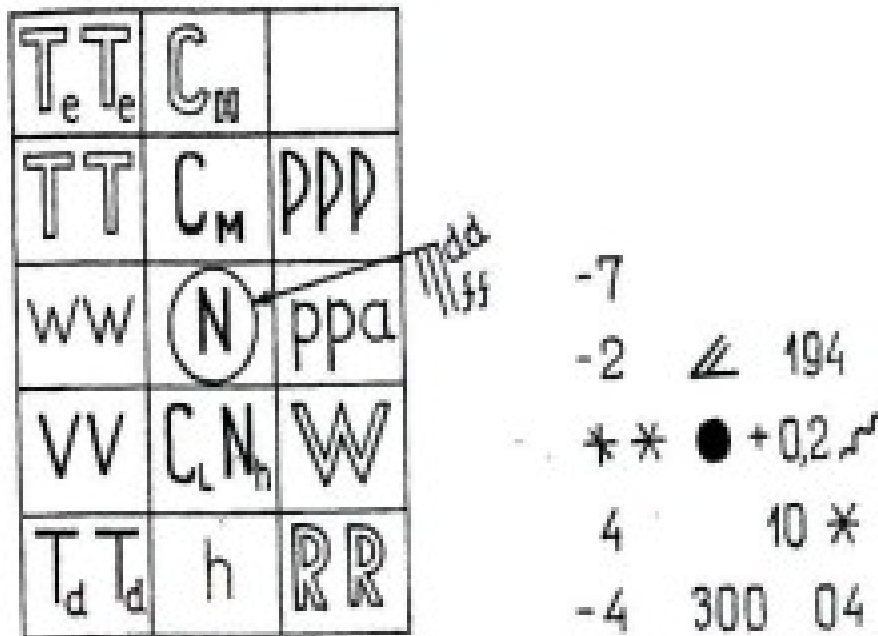


Рис. 7.3. Розміщення умовних позначень біля пуансона

Далі проводять опрацювання синоптичних карт: знаходять місце розташування циклонів, антициклонів, атмосферних фронтів, повітряних мас. Зеленим кольором заштриховують райони випадання опадів, жовтим – місця розташування туманів, простим олівцем через 5 мбар – проводять лінії ізобар. Кольоровими олівцями штрихують повітряні маси різного походження та атмосферні фронти: теплий – лінією червоного кольору, холодний – лінією синього або чорного кольору. Чорним кольором позначають центр циклону (літера Н/Л), а червоним – центр антициклону (В/Н). Таке опрацювання карти дає чітке уявлення про характер процесів у різних областях.

Сучасні технології опрацювання карт ґрунтуються на використанні комп'ютерного програмного забезпечення.

#### 7.5. Прогнозування погоди за місцевими ознаками.

Крім синоптичних методів прогнозу погоди її прогнозують за так званими місцевими ознаками атмосферних процесів. Вони складаються на основі місцевих спостережень за станом небесного схилу, хмарністю, зміною температури, тиску, вологості повітря, швидкістю і напрямком вітру, за оптичними явищами в атмосфері. Передбачення погоди за місцевими ознаками також пов'язане з місцевими умовами рельєфу, характером земельних і водних угідь.

Для успішності прогнозу погоди за місцевими ознаками необхідно користуватися деякими приладами (термометр, барометр) і враховувати наступне:

1. чим повільніше наростає і підсилюється місцева ознака погоди, тим повільніше буде наступати передбачена особливість погоди;
2. чим швидше проходять зміни метеорологічних явищ як показників місцевих ознак, тим різкіше наступить передбачена погода, тим різкіше буде виражений її характер і тим нетривалішою буде погода;
3. чим більша кількість місцевих ознак погоди взято для аналізу, тим більша імовірність передбаченої особливості погоди.

Передбачення погоди за місцевими ознаками буде успішним, якщо враховувати місцеві ознаки не в статичці, а в динаміці, враховувати тенденції в зміні ознак у часі. Наприклад, зменшення атмосферного тиску ще не говорить про обов'язкову зміну погоди. Але швидке падіння тиску свідчить про майбутню бурю.

Прогнози погоди за місцевими ознаками.

*Стала гарна погода.*

- Тиск повітря безупинно збільшується або незначно коливається протягом доби.
- Ночі безхмарні.
- Вранці, о 09–10 години на висоті 1-1,5 км з'являються купчасті хмари з плоскою основою, куполоподібні, майже нерухомі.
- У денні години вони збільшуються, по вертикалі розвиваються слабо, вершини хмар обкреслені не різко, найбільшого розвитку досягають до 15–16 години.
- Рясна роса або іній, що утворилися після заходу Сонця і зникають після сходу Сонця при штилі або слабкому вітрі: гарна погода на найближчі 12 годин.
- Золотавий колір зорі і фіолетове забарвлення горизонту: сонячні промені зустрічають порівняно мало водяної пари.
- Небесний схил на заході на великій відстані від Сонця набуває яскраво-зеленого забарвлення: спостерігається рідко, але завжди служить ознакою гарної погоди наступного дня.
- Сильне мерехтіння зірок із переважанням зеленого кольору: низький вміст водяної пари у тропосфері (гарна антициклональна погода протримається не менше доби).
- Дим із труби і від багаття піднімається вгору: висока густина нижніх шарів повітря (показник антициклонального утворення).

*Ознаки наближення і розвитку грози.*

- При потужних висхідних струмах повітря влітку, коли сильно прогрівається підстильна поверхня, формується гроза. Місцеві ознаки наближення грози засновані на спостереженні за ходом тиску повітря і хмарами.
- Тиск повітря швидко зменшується, швидкість падіння тиску збільшується, очікується значне посилення швидкості вітру і погіршення погоди.
- Рано-вранці на небесному схилі з'являються високо-купчасті хмари, що нагадують розірвані пластівці.

- Іноді в ранковій годині можуть утворюватися витягнуті високо-купчасті хмари; на верхніх частинах хмар з'являються невеликі голівки, що поступово виростають у маленькі башточки, які нагадують за формою маленькі купчасті хмари: атмосфера нестійка і можливий розвиток вертикальних потоків.
- З'являються купчасті хмари; їх вершини починають швидко розвиватися (через високу температуру і вологість повітря). Вершини хмар куполоподібної форми, різко обкреслені. До 13–14 години хмари значно виростають. Подальший їх розвиток призводить до утворення грандіозних хмарних накопичень у вигляді гір.
- Розвиток купчастих хмар призводить до того, що у верхній частині їх викидаються митлі перистих хмар, які утворюються із крижаних кришталіків. Збоку хмара має вигляд ковадла, вершина якого розтікається переважно в напрямку вітру.
- Процес розвитку купчастих хмар закінчується утворенням потужних грозових хмар і грозою, іноді супроводжуваною градом.
- Високі температура і вологість повітря створюють відчуття духоти.
- При наближенні грози вітер часто має напрямок, протилежний грозовим хмарам, що насуваються назустріч, а потім змінює напрямок у бік руху хмар.

#### *Ознаки наближення негоди.*

- Тиск повітря безупинно падає.
- З'являються високі пір'ясті хмари, що мають форму тонких рівнобіжних смуг, що закінчуються гачками, тонких гусячих лапок або окремих волокон. Видно рух пір'ястих хмар по небесному схилу. Ближче до обрію пір'ясті хмари переходять у пір'ясто-шаруваті, що насуваються слідом за пір'ястими. Чим швидше насуваються пір'ясті хмари, тим швидше наступить зміна погоди.
- Слідом за пір'ястими хмарами насуваються високо-шаруваті хмари середнього ярусу, що мають вигляд рівномірної сірої пелени, через яку, як крізь матове скло, видно диск Сонця або Місяця з розмитими краями.
- Безпосередньо за хмарами середнього ярусу насуваються потужні, темні, низькі шарувато-дощові хмари, що супроводжуються дощем або снігом.
- Напрямок руху хмар, що знаходяться на різних ярусах, не збігається з напрямком вітру і внаслідок тертя повітряних мас об підстильну поверхню відхиляється в праву сторону; чим вище розташування хмар, тим сильніше це відхилення.
- До ночі вітер не стихає і навіть підсилюється. Внаслідок збільшення хмарності влітку спостерігається поступове зниження температури.
- Ранкової роси і туману немає. Охолодження земної поверхні послаблене внаслідок великої хмарності, тому сильного охолодження повітря не буде.
- Ранкова зоря має червоний колір. Повітря, що містить велику кількість водяних крапель і пари, пропускає переважно червоні промені; з часом червоний колір зорі підсилюється.
- Вечірня зоря і призахідне Сонце мають яскраво-червоний колір, що не переходить у жовтий; це свідчить про великий вміст водяної пари в атмосфері.
- У результаті проходження світлових променів через перисті і перисто-шаруваті хмари навколо диска Сонця і Місяця утвориться світле коло великого діаметра – гало, що у більшості випадків теж є ознакою майбутнього погіршення погоди, наближення циклону; в теплий період року спостерігається зниження температури, а в холодний – підвищення.

#### *Ознаки відновлення гарної погоди.*

- Тиск повітря підвищується.
- Вітер поступово стихає.
- По небесному схилу рухаються обривки низьких хмар, залишки хмар поганої погоди, що проходить.
- Збільшуються просвіти блакитного неба.
- Небесний схил набуває темно-синього забарвлення.

- Через 1–2 дні гарної погоди знову відновлюються бризи, гірсько-долинні вітри, у ранкові години з'являється роса і туман. Зоря має золотавий і зелений відтінки.

Крім наукових методів прогнозу погоди широко застосовуються в практиці і народні методи, накопичені в результаті тисячолітнього людського досвіду спостережень за погодою, за характерними прикметами в атмосфері і в цілому в природі.

#### 7.6. Завдання.

##### 1. Виконати дешифрування метеорологічної телеграми:

Номер групи	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0621	0518	1015	1503	1209	0603	1912	0706	0603	0509
1	2540	2537	2119	2013	2658	2117	1733	1644	1701	1592
2	11825	63204	81816	20618	81514	91817	31421	30311	11105	51509
3	25744	51827	15098	36172	22084	12094	77029	70281	47070	55715
4	89145	11923	98619	89520	00423	99419	00517	96322	00923	87625
5	63013	21723	38554	57826	15737	60725	59141	57253	77344	18262
6	24425	21119	25217	23834	14727	15345	45113	41438	55569	13471
7	74531	72243	73750	73129	75218	73835	73928	78130	72717	71522

2. На аркуші паперу синоптичними символами біля пуансона станції нанести дешифровані дані телеграми та дати характеристику погоди в районі метеостанції.

##### 3. Зашифрувати метеорологічні елементи відповідно до таких характеристик погоди:

Метеорологічні елементи	Час спостережень 15-00
Горизонтальна видимість, км	3,0
Загальна кількість хмар, бали	8
Форма хмар	Купчасто-дощові
Висота нижньої границі хмар, м	400
Кількість опадів, мм	0,1
Стан погоди між строками спостережень	Похмуро
Стан погоди у строки спостережень	Мінлива хмарність
Швидкість вітру, м/с	2,0
Температура повітря, °С	19,5
Точка роси, °С	7,0
Мінімальна температура повітря, °С	6,0
Тиск повітря, мбар	1009,1
Характер баричної тенденції	Падіння, потім ріст
Величина баричної тенденції, мбар	+ 0,2

Питання для самоконтролю та обговорення.

- Як Ви розумієте термін “погода”?
- У чому суть синоптичного методу передбачення погоди?

3. У чому суть аналізу карт погоди?
4. Які існують підходи до прогнозування погоди?
5. Які місцеві ознаки можуть свідчити про настання гарної сталої погоди?
6. Які місцеві ознаки можуть свідчити про наближення і розвиток грози?

#### Література:

1. Бондарев Б.М. Навигационная и промысловая гидрометеорология / Б.М. Бондарев. – Петропавловск-Камчатский, КамчатГТУ, 2006. – 122 с.
2. Грингоф И. Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения / И. Грингоф, А. Пасечник. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2005. – 552 с.
3. Долгілевич М.Й., Радіонова Т.М. Практикум з метеорології та кліматології / М. Й. Долгілевич, Т.М. Радіонова. – Навчальний посібник. Житомир: ЖІТІ, 2002, – 201 с.
4. Жидкова Т.В. Довідковий посібник до розрахунково-графічної роботи і практичних занять з курсу "Міська кліматологія" / Т.В. Жидкова. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 24 с.
5. Клеєвська В.Л. Приземні метеорологічні спостереження: навч. посіб. / В.Л. Клеєвська, О.О. Поліщук. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т "Харк. авіац. ін-т", 2010. – 52 с.
6. Михайленко М.М. Основи агрометеорології М.М. Михайленко. – К.: Вища шк., 1982. – 191с.
7. Лосев А.П. Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства / А.П. Лосев. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат. 1994 – 246 с.
8. Павлова М.Д. Практикум по агрометеорології / М.Д. Павлова. – Л. Гидрометеоиздат, 1984, – 237 с.
9. Польовий А.М. Практикум з сільськогосподарської метеорології / А.М. Польовий, Л.Ю Божко, В.М Ситов, О.С. Ярмольська. – Одеса, 2002. – 400 с.
10. Ткаченко Т.Г. Практикум з метеорології і кліматології / Т.Г. Ткаченко. – Харків: ХНАУ, 2018. – 122 с.
11. Чирков Ю.И. Агрометеорология / Ю.И. Чирков. – Л. Гидрометеоиздат, 1986, – 296 с.

Додатки.

Додаток 1

Визначення швидкості вітру за положенням дошки флюгера

Хитання дошки флюгера	Швидкість вітру (м/с) для флюгерів		Хитання дошки флюгера	Швидкість вітру (м/с) для флюгерів	
	з легкою дошкою	з важкою дошкою		з легкою дошкою	з важкою дошкою
Біля штифта 0	0	0	Біля штифта 4	8	16
Між штифтами 0 та 1	1	2	Між штифтами 4 та 5	9	18
Біля штифта 1	2	4	Біля штифта 5	10	20
Між штифтами 1 та 2	3	6	Між штифтами 5 та 6	12	24
Біля штифта 2	4	8	Біля штифта 6	14	28
Між штифтами 2 та 3	5	10	Між штифтами 6 та 7	17	34
Біля штифта 3	6	12	Біля штифта 7	20	40
Між штифтами 3 та 4	7	14	Вище штифта 7	>20	>40



## Множники та префікси для утворення кратних та частинних одиниць

Множник	Префікс	Позначення		Множник	Префікс	Позначення	
		укр.	міжн.			укр.	міжн.
$10^{24}$	йота	Й	Y	$10^{-1}$	деци	д	d
$10^{21}$	зета	ЗТ	Z	$10^{-2}$	санти	с	c
$10^{18}$	екса	Е (Э)	E	$10^{-3}$	мілі	м	m
$10^{15}$	пета	П	P	$10^{-6}$	мікро	мк	μ
$10^{12}$	тера	Т	T	$10^{-9}$	нано	н	n
$10^9$	гіга	Г	G	$10^{-12}$	піко	п	p
$10^6$	мега	М	M	$10^{-15}$	фемто	ф	f
$10^3$	кіло	к	k	$10^{-18}$	ато	а	a
$10^2$	гекто	г	h	$10^{-21}$	зепто	зп	z
10	дека	дк	da	$10^{-24}$	йокто	й	y

## Значення синусів кутів від 0° до 90°

0°	0	-	-	-	-
1°	0,017452	31°	0,515038	61°	0,87462
2°	0,034899	32°	0,529919	62°	0,882948
3°	0,052336	33°	0,544639	63°	0,891007
4°	0,069756	34°	0,559193	64°	0,898794
5°	0,087156	35°	0,573576	65°	0,906308
6°	0,104528	36°	0,587785	66°	0,913545
7°	0,121869	37°	0,601815	67°	0,920505
8°	0,139173	38°	0,615661	68°	0,927184
9°	0,156434	39°	0,62932	69°	0,93358
10°	0,173648	40°	0,642788	70°	0,939693
11°	0,190809	41°	0,656059	71°	0,945519
12°	0,207912	42°	0,669131	72°	0,951057
13°	0,224951	43°	0,681998	73°	0,956305
14°	0,241922	44°	0,694658	74°	0,961262
15°	0,258819	45°	0,707107	75°	0,965926
16°	0,275637	46°	0,71934	76°	0,970296
17°	0,292372	47°	0,731354	77°	0,97437
18°	0,309017	48°	0,743145	78°	0,978148
19°	0,325568	49°	0,75471	79°	0,981627
20°	0,34202	50°	0,766044	80°	0,984808
21°	0,358368	51°	0,777146	81°	0,987688
22°	0,374607	52°	0,788011	82°	0,990268
23°	0,390731	53°	0,798636	83°	0,992546
24°	0,406737	54°	0,809017	84°	0,994522
25°	0,422618	55°	0,819152	85°	0,996195
26°	0,438371	56°	0,829038	86°	0,997564
27°	0,45399	57°	0,838671	87°	0,99863
28°	0,469472	58°	0,848048	88°	0,999391
29°	0,48481	59°	0,857167	89°	0,999848
30°	0,5	60°	0,866025	90°	1

## Максимальний тиск водяної пари, гПа

t, °C	Десяті частки градуса									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
6	9,4	9,4	9,5	9,5	9,6	9,7	9,7	9,8	9,9	10
7	10,0	10,1	10,2	10,2	10,3	10,4	10,4	10,5	10,6	10,6
8	10,7	10,8	10,9	11,0	11,0	11,1	11,2	11,2	11,3	11,4
9	11,5	11,6	11,6	11,7	11,8	11,9	12,0	12,0	12,1	12,2
10	12,3	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,8	12,9	13,0	13,0
11	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9
12	14,0	14,1	14,2	14,3	14,4	14,5	14,6	14,7	14,8	14,9
13	15,0	15,1	15,2	15,3	15,4	15,5	15,6	15,7	15,8	15,9
14	16,0	16,1	16,2	16,3	16,4	16,5	16,6	16,7	16,8	17,0
15	17,1	17,2	17,3	17,4	17,5	17,6	17,7	17,8	18,0	18,1
16	18,2	18,3	18,4	18,5	18,7	18,8	18,9	19,0	19,1	19,3
17	19,4	19,5	19,6	19,8	19,9	20,0	20,1	20,3	20,4	20,5
18	20,6	20,8	20,9	21,0	21,2	21,3	21,4	21,6	21,7	21,8
19	22,0	22,1	22,3	22,4	22,5	22,7	22,8	23,0	23,1	23,2
20	23,4	23,5	23,7	23,8	24,0	24,1	24,3	24,4	24,6	24,7
21	24,9	25,0	25,2	25,4	25,5	25,7	25,8	26,0	26,1	26,3
22	26,5	26,6	26,8	26,9	27,1	27,3	27,4	27,6	27,8	27,9
23	28,1	28,3	28,5	28,6	28,8	29,0	29,2	29,3	29,5	29,7
24	29,9	30,0	30,2	30,4	30,6	30,8	31,0	31,1	31,3	31,5
25	31,7	31,9	32,1	32,3	32,5	32,7	32,9	33,0	33,2	33,4
26	33,6	33,8	34,0	34,2	34,4	34,6	34,9	35,3	35,1	35,3
27	35,7	35,9	36,1	36,3	36,5	36,8	37,0	37,2	37,4	37,6
28	37,8	38,1	38,3	38,5	38,7	39,0	39,2	39,4	39,6	39,9
29	40,1	40,3	40,6	40,8	41,0	41,3	41,5	41,8	42,0	42,2
30	42,5	42,7	43,0	43,2	43,5	43,7	44,0	44,2	44,5	44,7
31	45,0	45,2	45,5	45,8	46,0	46,3	46,5	46,8	47,1	47,3
32	47,6	47,9	48,1	48,4	48,7	49,0	49,2	49,5	49,8	50,1
33	50,4	50,6	50,9	51,2	51,5	51,8	52,1	52,4	52,7	53,0
34	53,5	53,6	53,8	54,2	54,5	54,8	55,1	55,4	55,7	56,0

## Спрощені психрометричні таблиці визначення відносної вологості повітря за даними аспіраційного психрометра, %

Температура за сухим термометром, °С	Температура за “змоченим” термометром, °С												
	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
8,0	29	34	40	45	51	57	63	69	75	81	87	94	100
8,5	25	30	35	41	46	52	58	63	69	75	81	87	94
9,0	21	26	31	36	42	47	53	58	64	70	76	82	88
9,5	17	22	27	32	38	43	48	54	59	65	70	76	82
10,0	14	19	24	29	34	39	44	49	54	60	65	71	76
10,5		16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	66	71
11,0			17	21	26	30	36	39	44	49	53	58	63
11,5			14	19	23	28	32	37	42	47	52	57	62
12,0				16	20	24	29	33	38	43	48	53	57
12,5					17	21	26	30	35	39	44	49	53
13,0					14	18	23	27	31	36	40	45	49
13,5						16	20	24	28	32	37	41	46
14,0							17	21	25	29	33	38	42
14,5							14	18	22	26	30	35	39
15,0								16	20	23	27	32	36
15,5								13	17	21	25	29	32
16,0									15	18	22	26	30
16,5									12	16	20	23	27
17,0										14	17	21	24
17,5											15	19	22
18,0											13	16	20
18,5												14	17
19,0													15
19,5													13

## Продовження таблиці

Температура за сухим термометром, °С	Температура за “змоченим” термометром, °С											
	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	
8,5	100											
9,0	94	100										
9,5	88	94	100									
10,0	82	88	94	100								
10,5	77	83	88	94	100							
11,0	68	77	83	88	94	100						
11,5	67	72	78	83	89	94	100					
12,0	62	68	73	78	83	88	94	100				
12,5	58	63	68	73	78	85	89	94	100			
13,0	54	59	64	69	74	79	84	89	95	100		
13,5	50	55	60	64	69	74	79	84	89	95	100	
14,0	46	51	56	60	65	70	74	79	84	90	95	
14,5	43	47	52	56	61	65	70	75	80	85	90	
15,0	40	44	48	52	57	61	66	71	75	80	85	
15,5	37	41	45	49	53	58	62	66	71	76	80	
16,0	34	37	42	46	50	54	58	63	67	71	76	
16,5	31	34	38	42	46	50	55	59	63	67	72	
17,0	28	32	36	39	43	47	51	55	59	64	68	
17,5	25	29	33	36	40	44	48	52	56	60	64	
18,0	23	27	30	34	37	41	45	49	53	56	61	
18,5	21	24	28	31	35	38	42	46	49	53	57	
19,0	19	22	25	29	32	36	39	43	46	50	54	
19,5	17	20	23	26	30	33	36	40	43	47	51	
20,0	15	18	21	24	27	30	34	37	41	44	48	
20,5		16	19	22	25	28	31	35	38	41	45	
21,0		14	17	20	23	26	29	32	36	39	42	
21,5			15	18	21	24	27	30	33	36	40	
22,0			13	16	22	23	25	28	30	34	37	
22,5				14	17	20	23	26	29	32	35	
23,0				13	16	18	21	24	27	30	33	
23,5					14	17	19	22	25	28	30	
24,0					13	15	17	20	22	26	28	
24,5						14	16	19	21	24	26	
25,0									19	22	25	

## Продовження таблиці

Температура за сухим термометром, °C	Температура за “змоченим” термометром, °C										
	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0
14,0	100										
14,5	95	100									
15,0	90	95	100								
15,5	85	90	95	100							
16,0	81	85	90	95	100						
16,5	76	81	86	90	95	100					
17,0	72	77	81	86	90	95	100				
17,5	68	73	77	81	86	91	95	100			
18,0	65	69	73	77	82	86	92	95	100		
18,5	61	65	69	73	78	82	86	91	95	100	
19,0	58	62	66	70	74	78	82	86	91	95	100
19,5	54	58	62	66	70	74	78	82	87	91	95
20,0	52	55	59	63	66	70	74	78	83	87	91
20,5	48	52	56	59	63	67	71	75	79	83	87
21,0	46	49	53	56	60	64	67	71	75	79	83
21,5	43	46	50	53	57	60	64	68	71	75	79
22,0	40	44	47	50	54	57	61	64	68	72	76
22,5	38	41	44	48	51	54	58	61	65	68	72
23,0	36	39	42	45	48	51	55	58	62	65	69
23,5	34	36	40	42	46	49	53	55	59	62	66
24,0	31	33	37	39	43	46	49	52	56	58	63
24,5	30	32	35	38	41	44	47	50	54	56	59
25,0	27	30	33	35	38	41	44	47	50	53	57
25,5	26	28	31	33	37	39	43	45	48	51	55
26,0	24	26	29	31	34	36	40	42	46	48	52
26,5	22	24	27	30	33	35	38	40	44	46	50
27,0	21	22	25	27	30	32	36	38	41	43	47
27,5	19	21	24	26	29	31	35	36	39	42	45
28,0	18	19	22	24	27	29	32	34	37	39	42
28,5	16	18	21	23	26	27	30	32	35	37	41
29,0		17	19	21	24	26	28	30	33	35	38
29,5			18	20	23	24	27	29	32	34	37
30,0			17	18	21	23	25	27	30	32	34
30,5				17	20	21	24	26	28	30	33

## Продовження таблиці

Температура за сухим термометром, °С	Температура за “змоченим” термометром, °С										
	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5	22,0	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5
19,5	100										
20,0	96	100									
20,5	91	97	100								
21,0	87	91	95	100							
21,5	83	88	91	97	100						
22,0	79	84	87	92	95	100					
22,5	76	80	84	88	92	98	100				
23,0	72	76	79	84	87	92	95	100			
23,5	69	73	76	81	84	89	92	97	100		
24,0	65	70	72	77	80	84	87	92	95	100	
24,5	63	67	69	74	77	81	84	89	92	97	100
25,0	59	63	66	70	73	77	80	84	87	92	95
25,5	57	61	63	68	70	74	77	82	84	89	92
26,0	54	58	60	64	67	71	73	78	80	85	88
26,5	52	56	58	62	64	68	71	75	76	82	85
27,0	49	52	55	58	61	65	67	71	73	78	81
27,5	47	51	53	56	59	63	65	69	70	75	78
28,0	44	48	50	53	56	59	62	65	67	72	74
28,5	43	46	48	51	54	57	60	63	64	69	72
29,0	40	43	45	49	51	54	57	60	61	66	69
29,5	39	42	44	47	49	52	55	58	59	64	66
30,0	36	39	41	44	46	50	52	55	56	61	63
30,5	34	38	39	43	45	48	50	53	54	59	61
31,0	32	36	37	40	41	45	47	50	51	56	58
31,5	31	34	36	39	40	44	46	49	51	54	56
32,0	29	32	34	37	39	41	43	46	48	51	53
32,5	28	31	32	35	37	40	42	45	47	50	52
33,0	27	30	31	33	35	38	40	42	45	47	49
33,5	26	28	29	32	34	36	37	41	43	46	48
34,0	23	26	28	30	32	34	36	39	41	43	45
34,5	23	25	27	29	31	33	35	37	39	42	44
35,0	22	24	26	28	30	32	35	36	38	41	43

## Продовження таблиці

Температура за сухим термометром, °С	Температура за “змоченим” термометром, °С								
	25,0	25,5	26,0	26,5	27,0	27,5	28,0	28,5	29,0
25,0	100								
25,5	97	100							
26,0	92	95	100						
26,5	89	92	97	100					
27,0	85	88	92	95	100				
27,5	82	85	90	92	97	100			
28,0	78	81	85	88	93	95	100		
28,5	76	79	83	86	90	93	97	100	
29,0	72	75	79	82	86	88	93	96	100
29,5	70	73	76	79	83	86	90	93	96
30,0	67	69	73	75	79	82	86	89	91
30,5	65	67	71	73	77	79	83	86	89
31,0	62	64	67	70	73	76	80	82	86
31,5	60	62	65	68	71	74	77	80	82
32,0	57	59	62	65	68	70	74	76	79
32,5	55	57	60	63	66	68	72	74	76
33,0	52	54	58	60	63	65	69	70	73
33,5	51	53	56	58	61	63	66	69	71
34,0	48	50	53	55	58	60	64	66	68
34,5	47	49	52	53	56	59	62	64	65
35,0	45	47	50	52	55	57	60	62	65



Продовження таблиці

Температура за сухим термометром, °С	Температура за “змоченим” термометром, °С					
	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0
31,0	19	22	24	27	28	31
31,5	18	21	23	25	27	30
32,0	17	20	21	24	25	28
32,5		19	20	23	24	27
33,0		17	19	21	23	25
33,5		16	18	20	22	24
34,0		15	16	19	20	22
34,5				18	19	21
35,0				17	18	20

## Середньомісячна кількість опадів, мм

Пункт спостереження	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вінниця	21	21	22	30	53	74	67	53	35	32	32	27
Луцьк	30	26	28	43	55	88	83	85	54	42	47	37
Ужгород	53	45	49	54	65	93	78	78	64	68	62	61
Луганськ	20	18	24	31	45	55	51	40	30	33	33	26
Львів	27	32	34	49	67	87	102	85	52	51	45	31
Івано-Франківськ	23	20	30	49	67	104	10	75	55	44	34	25
Київ	38	37	43	49	56	80	76	61	49	44	47	42
Керч	29	26	25	26	29	53	45	37	30	31	33	32
Маріуполь	27	29	29	21	35	54	40	43	32	33	32	36
Одеса	28	25	27	23	27	55	40	32	25	35	24	27
Полтава	25	21	29	34	44	69	53	51	33	38	38	36
Сімферополь	41	35	32	34	41	68	63	35	35	38	43	44
Тернопіль	26	20	26	43	59	89	89	61	42	47	34	23
Харків	35	25	29	36	50	74	66	52	32	42	38	35
Черкаси	24	20	27	38	57	72	75	57	41	38	34	29
Чернівці	24	21	34	64	74	94	94	66	64	49	34	23
Ялта	65	49	44	31	38	43	44	27	35	45	65	72

Коди характеристики погоди у строки спостережень або протягом останньої години

Цифри коду	Характеристика погоди
	<b>А, Без опадів протягом спостережень (від 00 до 49)</b>
	<i>Погода без опадів, туману, пилової бурі, низової хуртовини або поземки під час спостережень (від 00 до 19)</i>
00	Під час спостережень безхмарно, Попередні умови невідомі
01	Під час спостережень безхмарно, Хмари розсіялися протягом останньої години
02	Безхмарно під час спостереження і протягом останньої години
03	Хмари утворилися або в цілому розвиваються
04	Видимість погіршена через дим (від степових або лісових пожеж, від промислових підприємств)
05	Імла (суцільне помутніння повітря ч/з наявність завислих частинок пилу, промислового диму або диму іншого походження)
06	Пил під час спостережень, завислий в повітрі, але не піднятий вітром на станції або поблизу неї
07	Пил або пісок, підняті на станції або поблизу її вітром під час спостережень, але пилової або піщаної бурі не видно
08	Добре розвинений пиловий або піщаний вихор
09	Пилова або піщана буря в полі зору
10	Серпанок (дуже розріджений туман у вигляді найдрібніших крапель води)
11	Поземний туман шматками або смугами на станції або в полі зору, висотою не більше 2 м над сушею
12	Поземний туман більш або менш суцільний на станції або поблизу неї висотою не більше 2 м над сушею
13	Зірниця (світлове явище, що спостерігається під час віддаленої грози)
14	Опади в полі зору, але не досягаючи поверхні Землі
15	Опади в полі зору, досягаючи поверхні на відстані більше 5 км від станції
16	Опади в полі зору, досягаючи поверхні Землі поблизу від станції, але не на самій станції
17	Гроза
18	Шквал
19	Смерч (смерчі)
	<i>Опади, туман, гроза на станції протягом останньої години, але не під час спостережень (від 20 до 29)</i>
20	Мряка або снігові зерна
21	Дощ
22	Сніг
23	Дощ зі снігом або льодяний дощ
24	Мряка або дощ замерзають (утворюють ожеледь)
25	Злива
26	Зливовий сніг або зливовий дощ зі снігом
27	Град, льодяна або снігова крупа з дощем або без дощу
28	Туман або льодовий туман
29	Гроза з опадами або без них
	<i>Пилова або піщана буря, поземок або низова хуртовина під час спостережень (від 30 до 39)</i>
30	Слабка або помірна пилова або піщана буря, ослабла протягом останньої години
31	Слабка або помірна пилова або піщана буря без помітної зміни інтенсивності протягом останньої години
32	Слабка або помірна пилова або піщана буря почалася або посилилася протягом останньої години

33	Сильна буря або піщана буря ослабла протягом останньої години
34	Сильна буря або піщана буря без помітної зміни інтенсивності протягом останньої години
35	Сильна буря або піщана буря почалася або посилилася протягом останньої години
36	Слабкий або помірний поземок (перенесення снігу нижче рівня очей спостерігача)
37	Сильний поземок (перенесення снігу нижче рівня очей спостерігача)
38	Слабка або помірна низова хуртовина (перенесення снігу вище очей спостерігача)
39	Сильна низова хуртовина (перенесення снігу вище очей спостерігача)
	<i>Туман під час спостережень (від 40 до 49)</i>
40	Туман, або льодовий туман в околицях станції, який простягається вище очей спостерігача, Протягом останньої години туману на станції не було
41	Туман або льодовий туман місцями
42	Туман або льодовий туман, небо видно (зірки, Місяць, Сонце або хмари видні крізь туман), ослаб протягом останньої години
43	Туман або льодовий туман, небо не видно, ослаб протягом останньої години
44	Туман або льодовий туман, небо не видно (без помітної зміни інтенсивності протягом останньої години)
45	Туман або льодовий туман, небо не видно (почався або посилюється протягом останньої години)
46	Туман або льодовий туман, небо не видно (почався або посилюється протягом останньої години)
47	Туман або льодовий туман, небо не видно (почався або посилюється протягом останньої години)
48	Туман або льодяний туман з відкладенням твердого опаду (паморозі), небо видно
49	Туман або льодяний туман з відкладенням твердого опаду (паморозі), небо не видно
	<b>Б, Опали на станції під час спостережень (від 50 до 99)</b>
	<i>Мряка (від 50 до 59)</i>
50	Мряка з перервами, слабка
51	Мряка безперервна, слабка
52	Мряка з перервами, помірна
53	Мряка безперервна, помірна
54	Мряка з перервами, сильна
55	Мряка безперервна, сильна
56	Мряка, що замерзає, утворює ожеледь, слабка
57	Мряка замерзає (утворює ожеледь), помірна або сильна
58	Мряка слабка з дощем
59	Мряка помірна або сильна з дощем
	<i>Дощ (від 60 до 69)</i>
60	Дощ з перервами, слабкий
61	Дощ безперервний, слабкий
62	Дощ з перервами, помірний
63	Дощ безперервний, помірний
64	Дощ з перервами, сильний
65	Дощ безперервний, сильний
66	Дощ, що замерзає (утворює ожеледь), слабкий
67	Дощ, що замерзає (утворює ожеледь) помірний або сильний
68	Дощ або мряка зі снігом, слабкі
69	Дощ або мряка зі снігом помірні або сильні
	<i>Тверді опади не зливові (від 70 до 79)</i>
70	Сніг з перервами, слабкий
71	Сніг безперервний, слабкий
72	Сніг з перервами, помірний
73	Сніг безперервний, помірний

74	Сніг з перервами, сильний
75	Сніг безперервний, сильний
76	Льодяні голки
77	Снігові зерна
78	Окремі снігові кристали, схожі на зірочки, з туманом або без нього
79	Льодяний дощ з туманом або без нього <i>Зливові опади без грози (від 80 до 90)</i>
80	Зливовий дощ слабкий
81	Зливовий дощ помірний або сильний
82	Зливовий дощ дуже сильний
83	Зливовий дощ зі снігом, слабкий
84	Зливовий дощ зі снігом помірний або сильний
85	Зливовий сніг слабкий
86	Зливовий сніг помірний або сильний
87	Льодяна або снігова крупа, слабка, з дощем, зі снігом і дощем або без них
88	Льодяна або снігова крупа помірна або сильна з дощем, зі снігом і дощем або без них
89	Град слабкий, з дощем, зі снігом і дощем або без них
90	Град помірний або сильний з дощем, зі снігом і дощем або без них <i>Гроза під час спостереження або протягом останньої години (від 91 до 99)</i>
91	Дощ слабкий (гроза протягом останньої години, але не під час спостережень)
92	Дощ помірний або сильний (гроза протягом останньої години але не під час спостережень)
93	Сніг або сніг з дощем, або град, або крупа слабкі (гроза протягом останньої години але не під час спостережень)
94	Сніг або сніг з дощем, або град, або крупа помірні або сильні (гроза під час спостережень)
95	Гроза слабка або помірна без граду або крупи, але з дощем, або снігом, або дощем і снігом (гроза під час спостережень)
96	Гроза слабка або помірна з градом або крупною (гроза під час спостережень)
97	Гроза сильна без граду або крупи, але з дощем або снігом, або з дощем і снігом (гроза під час спостережень)
98	Гроза разом з піщаною або пиловою бурею, опади можуть бути видні або не видні (гроза під час спостережень)
99	Гроза сильна з градом або крупною (гроза під час спостережень)

**Навчальне видання**

**Вінічук Михайло Маркович**

**ПРАКТИКУМ  
з  
МЕТЕОРОЛОГІЇ  
ТА КЛІМАТОЛОГІЇ**

Комп'ютерна верстка \_\_\_\_\_  
Формат 60x84/8  
Гарнітура \_\_\_\_\_  
Електронне видання

Редакційно-видавничий сектор бібліотеки Житомирського державного технологічного  
університету  
10005, Житомир, вул. Чуднівська, 103