



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

**Міністерство освіти і науки України**

**Національний університет  
водного господарства та природокористування**

**О.І. ГАЛІК**

# **МЕТЕОРОЛОГІЧНІ ПРИЛАДИ І МЕТОДИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ**

**ПРАКТИКУМ**

**Рівне – 2008**



Затверджено вченою радою НУВГП. Протокол № 3 від 28 березня 2008 р.

**Рецензенти:**

- А.М. Рокочинський, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри гідромеліорацій Національного університету водного господарства та природокористування;

- Ю.М. Грищенко, кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри водогосподарської екології, гідрології та природокористування Національного університету водного господарства та природокористування.

**О.І. Галік**

**Г 15 — Метеорологічні прилади і методи спостережень. Практикум: Навчальний посібник.** Рівне: НУВГП, 2008. – 134 с.

У навчальному посібнику розглянуто основні метеорологічні прилади, установки, принципи їх дії, будову та методи застосування, організацію метеорологічних спостережень. Розглянуто первинну обробку результатів вимірювань окремих метеорологічних величин. Кожен розділ складається з короткого теоретичного вступу і закінчується спеціальними завданнями. Мережеві прилади в системі гідрометеорологічної служби України і нормативні документи надані за станом на 2007 р.

Навчальний посібник призначено для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямами підготовки «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»; «Агрономія», «Водні біоресурси і аквакультура». Посібник може стати у пригоді також для студентів, які навчаються за напрямами: «Гідротехніка (водні ресурси)»; «Геодезія, картографія та землеустрій», «Гірництво» та «Будівництво».

УДК 551.3(075.8)

ББК 26.23я73

© Галік О.І., 2008

© Національний університет  
водного господарства та  
природокористування, 2008



## З М І С Т

Вступ.....	3
1. МІСЦЕ, СКЛАД І СТРОКИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ..	4
1.1. Система пунктів метеорологічних спостережень.....	4
1.2. Склад і строки метеорологічних спостережень.....	5
1.3. Способи вимірювання часу.....	6
2. АТМОСФЕРНИЙ ТИСК ТА МЕТОДИ ЙОГО ВИЗНАЧЕННЯ.....	10
2.1. Визначення атмосферного тиску ртутними барометрами.....	11
2.2. Визначення атмосферного тиску металевими барометрами.....	15
3. ПРОМЕНИСТА ЕНЕРГІЯ І МЕТОДИ ЇЇ ВИЗНАЧЕННЯ.....	21
3.1. Принципи дії актинометричних приладів.....	24
3.2. Визначення кількості прямої сонячної радіації.....	26
3.3. Визначення кількості сумарної і розсіяної радіації.....	28
3.4. Визначення відбитої радіації і альбедо.....	32
3.5. Визначення радіаційного балансу земної поверхні.....	33
3.6. Визначення тривалості сонячного сьйва.....	35
4. ТЕМПЕРАТУРА ҐРУНТУ І ПОВІТРЯ ТА МЕТОДИ ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ..	43
4.1. Вимірювання температури.....	43
4.2. Вимірювання температури повітря рідинними термометрами.....	44
4.3. Визначення температури повітря деформаційним термометром.....	47
4.4. Вимірювання температури ґрунту рідинними термометрами.....	50
4.4.1. Вимірювання температури поверхні ґрунту.....	50
4.4.2. Вимірювання температури ґрунту на різних глибинах.....	51
5. ВОЛОГІСТЬ ПОВІТРЯ І МЕТОДИ ЇЇ ВИЗНАЧЕННЯ.....	59
5.1. Вимірювання вологості повітря психрометричним методом.....	61
5.2. Вимірювання вологості повітря гігрометричним методом.....	68
5.3. Психрометричні таблиці.....	73
6. АТМОСФЕРНІ ОПАДИ І СНІГОВИЙ ПОКРИВ ТА МЕТОДИ ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ.....	80



6.1. Вимірювання атмосферних опадів з хмар.....	81
6.2. Спостереження за сніговим покривом.....	94
6.2.1. Щоденні спостереження за сніговим покривом.....	94
6.2.2. Періодичні ландшафтно – маршрутні снігомірні зйомки.....	96
7. СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА НАПРЯМОМ І ШВИДКІСТЮ ВІТРУ.....	101
8. СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ВИПАРОВУВАННЯМ З ПОВЕРХНІ ВОДИ І ГРУНТУ.....	112
8.1. Вимірювання випаровування з поверхні води.....	112
8.2. Вимірювання сумарного випаровування.....	116
9. ДИСТАНЦІЙНІ І АВТОМАТИЧНІ СИСТЕМИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ.....	121
ЛІТЕРАТУРА .....	124
ДОДАТКИ	
Додаток 1. Середній сонячний час в істинний полудень .....	126
Додаток 2. Зміна тиску повітря на 1 м висоти.....	127
Додаток 3. Приведення показів барометра до 0°C .....	128
Додаток 4. Приведення показів барометра до нормальної сили тяжіння.....	129
Додаток 5. Залежність кількості товщини атмосфери від висоти Сонця.....	131
Додаток 6. Схилення Сонця.....	132





## ВСТУП

Метеорологія – це геофізична наука про атмосферу, її будову, властивості і фізичні процеси, які в ній протікають. Характеристику стану атмосфери проводять за метеорологічними величинами і атмосферними явищами, які, в свою чергу, є одними із найважливіших абіотичних екологічних факторів. Основним методом дослідження метеорологічних величин і атмосферних явищ є спостереження. Метеорологічне спостереження - це інструментальне вимірювання і візуальні оцінки метеорологічних величин та атмосферних явищ. У посібнику викладено методи спостережень основних метеорологічних величин.

В першому розділі розглянуто основні вимоги щодо організації метеорологічних спостережень. У наступних розділах містяться рекомендації щодо спостережень за атмосферним тиском (розділ 2), за випромінюванням Сонця, атмосфери і земної поверхні (розділ 3), за температурою ґрунту і повітря (розділ 4), за характеристиками вологості повітря (розділ 5), за атмосферними опадами і сніговим покривом (розділ 6), за напрямом і швидкістю вітру (розділ 7), за випаровуванням з поверхні води і ґрунту (розділ 8). В посібнику дано опис і схеми будови метеорологічних приладів, викладена методика виконання спостережень, за кожною із названих метеорологічних величин, а також викладено методику обробки одержаних результатів вимірювань. Завершальним є розділ, в якому коротко викладено основні напрями розвитку засобів метеорологічних спостережень.

При написанні посібника використано досвід викладання метеорології і кліматології на кафедрі водогосподарської екології, гідрології та природокористування Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП). В списку літератури наведено літературні джерела, з яких в посібнику використаний (з обов'язковим посиланням) цілий ряд рисунків, схем, довідкових таблиць і прикладів, і які широко застосовуються при викладанні метеорології.

Навчальний посібник призначено для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямами підготовки: «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»; «Агрономія»; «Водні біоресурси та аквакультура». Посібник буде корисним також для студентів, які навчаються за напрямами: «Гідротехніка (водні ресурси)»; «Геодезія, картографія та землеустрій»; «Гірництво; «Будівництво».

Автор висловлює подяку співробітникам кафедри водогосподарської екології, гідрології та природокористування (НУВГП) за цінні поради і рекомендації щодо змісту посібника. В процесі підготовки рукопису до видання активну участь брали ст. викладачі Ю.С. Кушнірук, М.М. Дзюба, інженер Г.Р. Захарчук, яким автор висловлює щиро подяку.



## **1. МІСЦЕ, СКЛАД І СТРОКИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ**

Стан атмосфери характеризують за допомогою метеорологічних величин і атмосферних явищ. До основних метеорологічних величин відносяться: температура і тиск повітря; швидкість і напрям вітру; кількість, висота і товщина хмар; кількість та інтенсивність опадів; вологість повітря; метеорологічна дальність видимості; температура поверхні ґрунту. Деякі метеорологічні станції спостерігають за температурою ґрунту на глибині, потоками променистої енергії і тепла, за ожеледдю та ін.

Атмосферні явища: туман, гроза, ожеледь, пилова буря, роса, іній, полярні сніга та ін.

Для кількісної оцінки стану атмосфери проводять метеорологічні спостереження. Основні вимоги до метеорологічних спостережень: репрезентативність, однорідність, зіставлюваність результатів.

Репрезентативними визнають спостереження, які в максимальній степені вільні від місцевих впливів і характеризують загальний стан атмосфери у великому районі. Це досягають вибором місця положення станції, яке відповідає фізико-географічним умовам оточуючої території.

Однорідність спостережень – це наявність однорідного ряду. Тобто це ряд послідовних значень метеорологічних величин, одержаних за достатньо тривалий час, виміряних у даному пункті приладами однакової конструкції і точності, в одній і тій же установці, спостерігачами однакової кваліфікації. При цьому умови, які оточують станцію, змінюється не настільки суттєво, щоб це могло вплинути на результати спостережень.

Зіставлюваність результатів – це така властивість спостережень, яка дає можливість порівнювати дані різних станцій з впевненістю, що визначені відмінності в значеннях метеорологічних величин насправді відображають відмінності в стані атмосфери і виникають не від точності приладів і випадкових явищ. Вона забезпечується репрезентативним положенням станції, єдністю методів і засобів спостережень, які регламентуються „Наставленнями гидрометеорологическим станциям и поста́м по производству метеорологических наблюдений и первичной обработке данных” [5].

### **1.1. СИСТЕМА ПУНКТИВ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ**

Для вивчення географічного розподілу метеорологічних величин і порівняння погоди і клімату в різних місцях Землі необхідно, щоб метеорологічні станції в усіх країнах світу при можливості вели



спостереження за однією методикою, однотипними приладами у визначені години доби. У світовому масштабі всі пункти спостережень повинні складати єдине ціле – метеорологічну мережу. В кожній країні існує основна державна мережа метеорологічних станцій і спеціальні метеорологічні станції. Основні метеорологічні станції в залежності від обсягу виконуваної роботи поділяються на розряди. Станції I розряду мають найбільшу програму спостережень. Вони виконують технічне керівництво прикріплених до них метеорологічних станцій II та III розрядів.

Мережа основних метеорологічних станцій побудована таким чином, щоб для будь-якої точки країни можна було з достатнім ступенем точності одержати дані про поточні умови погоди і клімат місцевості. У рівнинних районах для характеристики температурного режиму необхідно мати мережу метеорологічних станцій, розташованих на відстані біля 50 км одна від одної; в гірських місцевостях – менше 30-40 км. Для характеристики опадів необхідно, щоб відстані між опадомірами були порядку 20-30 км на рівнинах та 15-20 км у гірських районах.

Метеорологічна станція включає спеціально обладнане місце, яке називається метеорологічною площадкою, на якій проводять більшість спостережень. Площадка повинна розташовуватися на відкритому і рівному місці. Поблизу неї не повинно бути будь-яких предметів, які впливають на покази приладів. Стандартні розміри метеорологічних площадок 26X26 м. На метеорологічних станціях з невеликим обсягом робіт встановлюють площадки розміром 20X16 м. На площадці (рис. 1.1.) встановлюють всі метеорологічні прилади за винятком барометрів, барографів і реєструючих частин автоматичних приладів, які встановлюють в приміщеннях станції.

## **1.2. СКЛАД І СТРОКИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ**

На всіх основних метеорологічних станціях стандартні спостереження виконують в єдині синхронні строки – через 3 год., починаючи з 0 год. за середнім грінвіцьким часом. Обов'язкові строки спостережень: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 година за грінвіцьким часом. У ці строки виконують спостереження над температурою повітря і ґрунту, атмосферним тиском, вітром, вологістю повітря, видимістю і хмарністю.

Відлік за термометрами на глибинах 80 см і більше виконують тільки в один строк, найближчий до 13 год. декретного часу даного часового поясу.

Опади вимірюють о 3 і 15 год. за грінвіцьким часом або в строки, найближчі до 8 та 20 год. місцевого декретного часу. В зимовий період, коли є сніговий покрив, періодично проводять снігомірні зйомки, а в строк



найближчий до 8 год. декретного поясного часу виконують щоденні спостереження над сніговим покривом.

На метеорологічних станціях, обладнаних самописцями, одразу після відліків за приладами в психрометричній будці, роблять відмітки на стрічках термографа, гігрографа і барографа. Зміна стрічок проводиться в строк, найближчий до 13 год. за декретним часом даного поясу. Відмітка на стрічках плювіографа виконується в години вимірювання опадів, а зміна стрічки - в терміни, найближчі до 20 год. за декретним поясным часом. Послідовність виконання спостережень регламентується «Настановами гидрометеорологическим станциям и постам по производству метеорологических наблюдений и первичной обработке данных» [5]. Так температура повітря вимірюється за 6-10 хв. до строку. Тиск по барометру повинен відраховуватися якомога ближче до 00 хв. строку. Актинометричні спостереження проводять в строки: 0 год. 30 хв., 6 год. 30 хв., 12 год. 30 хв., 15 год. 30 хв., 18 год. 30 хв. за місцевим сонячним часом.

### 1.3. СПОСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ

Оскільки на метеорологічних станціях мають справу з різним часом, то необхідно розглянути поняття про існуючі способи вимірювання часу.

Основою для визначення часу служить видимий рух Сонця по небесному схилу, який обумовлений обертанням Землі навколо своєї осі. Цей час називається істинним сонячним часом. Момент, коли Сонце знаходиться точно на півдні, тобто на меридіані даного місця, називається істинним полуднем. Період часу між двома послідовними проходженнями Сонця через меридіан даного місця, тобто між двома істинними полуднями, називається істинною сонячною добою.

Тривалість істинної сонячної доби протягом року не постійна, оскільки рух Сонця (як здається) по небесному схилу проходить нерівномірно, через нерівномірність обертання Землі навколо Сонця і через нахил екліптики до екватора. Земля рухається не по колу, а по еліпсу, в одному з фокусів якого знаходиться Сонце. Тому використовують середній сонячний час. Він визначається за уявним „середнім” Сонцем, яке, на відміну від „істинного”, рухається рівномірно і виконує повний річний оборот одночасно із „істинним” Сонцем. Відповідно і тривалість сонячних діб протягом року залишається постійною і дорівнює середній величині із усіх істинних діб за рік. Тривалість середніх сонячних діб складає 24 год.

Істинні сонячні доби бувають або більші, або менші за середні доби. Різниця між середнім та істинним сонячним часом називається „рівнянням часу”. Протягом року величина рівняння часу не залишається постійною: вона змінюється від +14 (середина лютого) до -16 хвилин (початок

листопада). Чотири рази на рік вона збігається з дійсним: в середині квітня, в середині липня, на початку вересня і в кінці грудня.

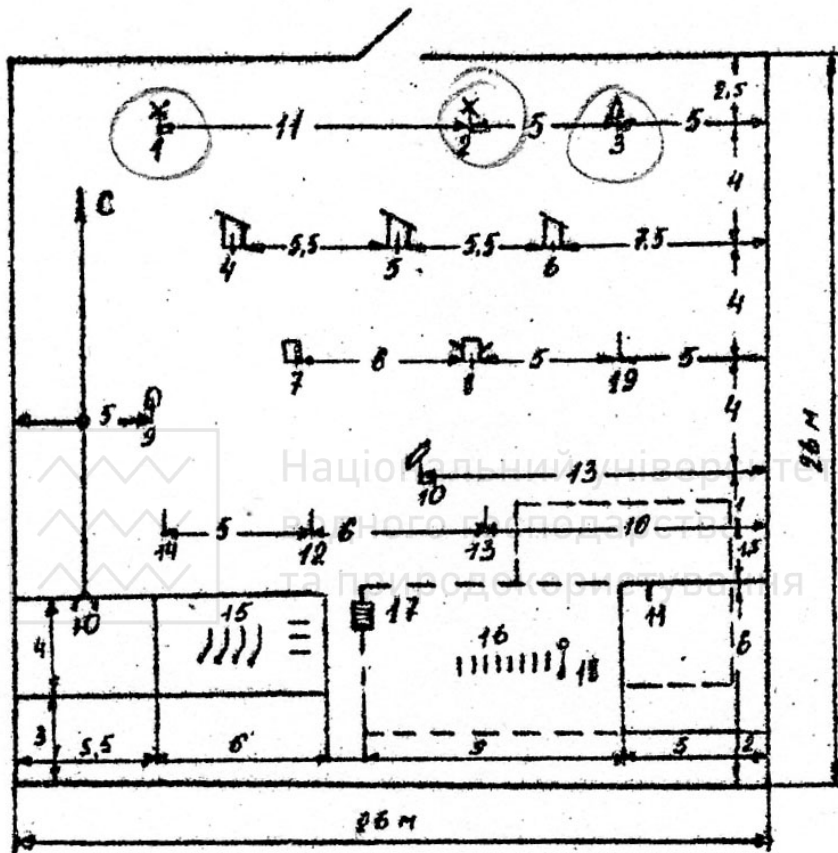


Рис. 1.1 Схематичний план метеорологічної площадки [3]:

- 1 – флюгер з легкою дошкою, 2 – флюгер з важкою дошкою або анемоморбومتر,
- 3 – ожеледний станок, 4 – будка для самописців, 5 – будка психрометрична,
- 6 – будка запасна, 7 – плювіограф, 8 – опадомір, 9 – стовп для теодоліта,
- 10 – геліограф, 11, 12, 13, 14 – підставки для актинометричних приладів,
- 15 – оголена ділянка для встановлення надгрунтових і колінчатих термометрів,
- 16 – ділянка з природним покривом для встановлення витяжних термометрів,
- 17 – снігомірна рейка, 18 – мерзлотомір, 19 – запасний стовп для опадоміра.

Відстані між установками вказані в метрах



У додатку 1 наведені значення середнього сонячного часу в істинний полудень на кожний день. Наприклад, істинний полудень 08 березня буде о 12 год. 11 хв., 07 листопада – в 11 год. 44 хв. по середньому сонячному часу, який також називається місцевим часом.

Середній сонячний час однаковий для усіх точок, розташованих на одному меридіані, і різний для двох сусідніх меридіанів. Тому із зміною довготи місця він змінюється. Повний оберт ( $360^\circ$ ) Земля робить за 24 години, тому на  $1^\circ$  довготи час змінюється на 4 хвилини (24 год: 60), а на 1 хвилину довготи – на 4 секунди (4 хв.:60). Рух Сонця (як здається) проходить із сходу на захід. Тому час „збільшується” на схід і „зменшується” на захід. Наприклад, у Києві (довгота  $\lambda = 30^\circ 30'$  сх.д.) 12 годин за місцевим часом, у Харкові ( $\lambda = 36^\circ 14'$  сх.д.) буде 12 год. 22хв. 56 с, у Рівному ( $\lambda = 26^\circ 15'$  сх.д.) буде 11 год. 43 хв. 3 1884 року введений, так званий, поясний час. Уся земна куля меридіональними площинами розділена на 24 пояси по  $15^\circ$  довготи. Пояси мають нумерацію від 0 до 23. У кожному поясі встановлено час його центрального меридіана. За нульовий пояс прийнятий той, у якого центральний меридіан проходить через Грінвіч ( $\lambda = 00^\circ 00'$ ). Границями нульового поясу є меридіани  $7,5^\circ$  зх.д. і  $7,5^\circ$  сх. д. Перший пояс простягається від  $7,5^\circ$  сх. д. до  $22,5^\circ$  сх. д. На всій земній кулі існує лише 24 „види” часу, які відрізняються між собою на ціле число годин. При русі на схід годинник переставляють рівно на 1 годину вперед, а при русі на захід – на 1 годину назад. Хвилини і секунди усяди одні і ті ж. У місцях державних і адміністративних кордонів пояси проводять, відступаючи від теоретичних меридіанів. Тільки у відкритому океані і в малонаселених районах границі поясів збігаються з меридіанами. Україна лежить у другому часовому поясі.

У зв'язку із тим, що метеорологічні спостереження проводять за місцевим часом (середнім сонячним часом), в ряді випадків виникає необхідність обчислити місцевий час. Для цього необхідно знати довготу пункту спостережень з точністю до хвилини дуги і поясний час того поясу, в якому розташований пункт. Надалі обчислюють різницю між центральним меридіаном поясу, в межах якого лежить даний пункт, і довготою пункту та переводять цю різницю в одиниці часу. Цю різницю в одиницях часу додають до поясного часу або віднімають від нього залежно від того, на схід або на захід від центрального меридіана знаходиться пункт спостережень.

**П р и к л а д 1.** Необхідно визначити середній поясний час в пункті спостережень з довготою ( $\lambda = 25^\circ 00'$  сх.д.) в момент одержання 12 годинного сигналу з Лондона.

Пункт знаходиться в другому часовому поясі. Оскільки різниця між номерами поясів дорівнює двом, то різниця в поясному часі Лондона (Грінвіча) і пункту спостережень складає 2 години. Таким чином, у пункті



спостережень буде  $12+2=14$  год. поясного часу. Різниця довгот центрального меридіану і меридіану пункту спостережень складає:  $30^{\circ}00' - 25^{\circ}00' = 05^{\circ}00'$ . Відповідно, ця різниця, яка переведена в одиниці часу, буде дорівнювати:  $05^{\circ}00' \cdot 4 \text{ хв.} = 20 \text{ хв.}$  Оскільки пункт знаходиться на захід від центрального меридіана другого часового поясу, то для нього:  $14 \text{ год. } 00 \text{ хв.} - 00 \text{ год. } 20 \text{ хв.} = 13 \text{ год. } 40 \text{ хв.}$  Таким чином, місцевий середній сонячний час на момент отримання 12 годинного сигналу з Лондона буде складати для пункту спостережень 13 год. 40 хв.

Починаючи з квітня 1981 р. був введений так званий „літній” і „зимовий” час. З кінця березня (остання субота березня) годинники переводять на 1 годину вперед, а з останньої суботи жовтня - на 1 годину назад. Умовно можна назвати цей час декретним.

Метеорологічні спостереження повинні виконуватися точно у встановлені строки, тому годинник спостерігача повинен показувати точний час. Найкраще повірку годинника виконувати за радіосигналами. Сигнали часу подаються по радіо різними астрономічними обсерваторіями, а також мовними радіостанціями. При повірці годинників за радіосигналами необхідно знати передусім, час якого поясу передає радіостанція.

П р и к л а д 2. З Києва ( довгота  $\lambda = 30^{\circ} 30' \text{ сх.д.}$ ) отримано сигнал перевірки часу, який передано о 15 год. за декретним часом влітку. Годинник у пункті спостережень показує 14 год. 06 хв. місцевого сонячного часу. Необхідно перевірити, чи правильно йде годинник.

Київ розташований в другому часовому поясі і, відповідно, передає сигнал 14-ти годин поясного часу другого поясу. Різниця довготи Києва і центрального меридіана другого часового поясу складає:  $30^{\circ}30' - 30^{\circ}00' = 00^{\circ}30'$ . Ця різниця в часі дорівнює:  $00^{\circ}30' \cdot 4 \text{ с} = 120 \text{ с} = 00 \text{ год. } 02 \text{ хв.}$  Годинник на станції повинен показувати 14 год. 02 хв. місцевого сонячного часу. Таким чином, поправка годинника – 4 хв.

### **Завдання 1. Ознайомлення з місцем, складом і строками метеорологічних спостережень**

*Для виконання завдання необхідно знати назву пункту спостережень, назву місця подачі сигналу часу і час в місці подачі сигналу.*

1. Ознайомитися зі схемою установки приладів на метеорологічній площадці.
2. Ознайомитися зі складом і строками метеорологічних спостережень.
3. Визначити місцевий час у пункті спостережень і правильність ходу годинника в ньому.

*Звіт про завдання повинен складатися зі схеми метеорологічної площадки, з розрахунків місцевого часу і правильності показів годинника, короткий опис пунктів завдання.*



## 2. АТМОСФЕРНИЙ ТИСК ТА МЕТОДИ ЙОГО ВИЗНАЧЕННЯ

Атмосфера має вагу та чинить тиск на земну поверхню і на усі предмети, які на ній знаходяться. Основною одиницею вимірювання атмосферного тиску в Міжнародній системі одиниць служить паскаль (Па), який дорівнює силі в 1 ньютон (Н), що діє на площу  $1 \text{ м}^2$ , тобто  $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ . В метеорології атмосферний тиск виражають в гектопаскалях (гПа), тобто  $1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па}$ .

Також в метеорології тиск вимірюють в одиницях сили – бар. Вона дорівнює силі в 1 млн дін на площу в  $1 \text{ см}^2$ . Для зручності застосовують мілібар (мбар). У метеорології атмосферний тиск також виражають висотою ртутного стовпа в барометрі (в міліметрах). Співвідношення між різними одиницями вимірювання атмосферного тиску такі:

$$1 \text{ мм. рт. ст.} = 1,333 \text{ мбар} = 1,333 \text{ гПа};$$

$$1 \text{ мбар} = 0.75 \text{ мм.рт.ст.} = 1 \text{ гПа};$$

$$1 \text{ гПа} = 1 \text{ мбар} = 0,75 \text{ мм. рт .ст.}$$

Тиск з висотою зменшується. Закономірність зміни тиску з висотою виражають барометричними формулами. Широко застосовують формулу Бабіне

$$\Delta h = 16000 \frac{p_0 - p_1}{p_0 + p_1} (1 + \alpha), \quad (2.1)$$

де  $\Delta h$  - різниця висот двох пунктів, м;  $t$  - середня температура стовпа повітря, °C;  $p_0$  і  $p_1$  - відповідно атмосферний тиск на верхньому і нижньому пунктах;  $\alpha = 1/273 \approx 0,004$  - коефіцієнт теплового розширення повітря.

Для отримання більш точних результатів застосовують спрощену формулу Лапласа, яка дозволяє враховувати вологість повітря

$$\Delta h = 18400(1 + \alpha) \lg \frac{p_0}{p_1}. \quad (2.2)$$

На практиці часто застосовують допоміжні таблиці, які розраховані за барометричними формулами (додаток 2), в них наведено зміну тиску на 1 м висоти при різних значеннях температури і тиску.

Барометричні формули, якщо відома різниця висот, дозволяють визначити тиск повітря на заданій висоті (якщо відомі тиск і температура повітря в нижньому пункті) і тиск повітря в нижньому пункті (якщо відомі тиск і температура повітря у верхньому пункті). Формула Бабіне при цьому приймає відповідний вид





$$p_1 = p_0 \frac{16000(1 + \alpha) - \Delta h}{16000(1 + \alpha) + \Delta h}; \quad (2.3)$$

$$p_0 = p_1 \frac{16000(1 + \alpha) + \Delta h}{16000(1 + \alpha) - \Delta h}. \quad (2.4)$$

Формулу Бабіне застосовують, коли різниця тиску не перевищує 120 - 130 гПа.

Барометрична сходінка – це висота, на яку необхідно піднятися або опуститися, щоб тиск змінився на одну одиницю. Баричну сходінку можна обчислити за формулою, яку одержують з формули Бабіне

$$h = \frac{8000}{p}(1 + \alpha), \quad (2.5)$$

де  $p$  і  $t$  - відповідно тиск і температура повітря на заданому рівні в атмосфері.

Вертикальний баричний градієнт – це зміна атмосферного тиску на кожні 100 м висоти. Він визначається за співвідношенням

$$G_B = \frac{100}{h}. \quad (2.6)$$

Прилади для вимірювання тиску повітря називаються барометрами. Найбільше розповсюджені ртутні та металічні барометри.

## 2.1. ВИЗНАЧЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ РТУТНИМИ БАРОМЕТРАМИ

Дія ртутних барометрів заснована на тому, що атмосферний тиск врівноважується стовпчиком ртуті визначеної висоти, яка залежить від величини тиску.

Основним приладом для вимірювання атмосферного тиску на метеорологічних станціях є станційний чашковий барометр. Висота стовбчика ртуті вимірюється різницею рівнів ртуті у верхньому запаяному кінці скляної трубки і в чашці (рис. 1.2).

Станційний чашковий барометр СР-А(СР-Б) складається (рис.1.3): з прямої, запаяної зверху скляної трубки 1, яка наповнена ртуттю; з чашки з ртуттю 6, в яку опущений нижній (відкритий) кінець трубки; з металічної оправы 4, яка зберігає скляну трубку від пошкоджень, і яка приєднана до чашки; з термометра 3, який показує температуру ртутного стовпа барометра.

Скляна барометрична трубка має довжину 80 см і внутрішній діаметр



7,2 мм. Над ртуттю в трубці знаходиться розріджений (безповітряний) простір. Завдяки цьому, в трубці ртуть підіймається на висоту, при якій вага ртутного стовпчика дорівнює атмосферному тиску.

Чашка виготовлена із заліза та пластмаси. Вона складається з трьох частин, які згвинчуються: нижньої, середньої і верхньої. У верхній частині (кришці) 5 окрім отвору для трубки є маленький отвір для сполучення ртуті в чашці з атмосферним повітрям. Цей отвір закривають гвинтом 7 зі шкіряною шайбою для попередження забруднення ртуті. У середній частині розміщена діафрагма з круглими отворами, яка вберігає ртуть від різних коливань і не дозволяє повітрю потрапити в барометричну трубку при переносі приладу. Нижня частина чашки служить її дном.

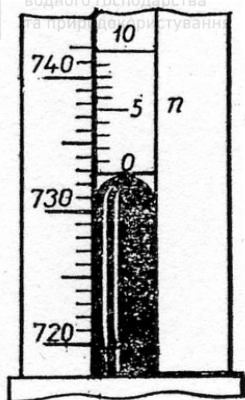
Металічна оправа також є опорою для пристроїв, необхідних для точного вимірювання довжини ртутного стовпа. У верхній частині оправи є кільце 9 для підвішування приладу на крюк-гвинт 11. У верхній частині є наскрізний вертикальний проріз, який дозволяє визначити положення рівня (меніску) ртуті в скляній трубці. На лівій стороні прорізу нанесена шкала барометра 8. Нуль шкали збігається з рівнем ртуті в чашці. В середині верхньої частини оправи є кільце з укріпленням на ньому ноніусом 10, який ковзає в прорізу вздовж шкали. Ноніус являє собою допоміжну шкалу, яка дозволяє виконувати відлік десятих часток основної шкали барометра. За допомогою кремальєрного гвинта 2 ноніус встановлюють на верхню частину меніска ртуті.

Термометр встановлений в прорізу, який знаходиться в середній частині оправи. Резервуар термометра стикається зі скляною трубкою барометра.

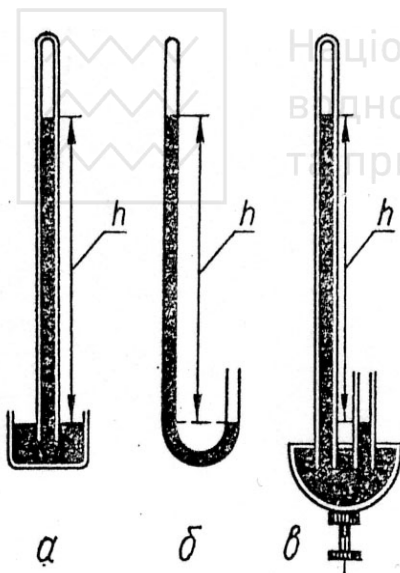
Точність визначення тиску за барометром залежить від дотримання правил установки. Барометр встановлюють у приміщенні. Його слід оберігати від різних коливань температури і струсів. Барометр встановлюють на капітальній стінці в такому місці, де відсутні різкі коливання температури. На барометр не повинні падати прямі сонячні промені. Барометр встановлюють в окремій шафці. Відстань від підлоги до чашки барометра повинна бути 70-80 см.

Спостереження за ртутним барометром виконують у такому порядку.

1. Беруть відлік з точністю до  $0,1^{\circ}\text{C}$  за термометром, закріпленим в оправі барометра
2. Приводять меніск ртуті до нормального стану. Для цього легко стукають пальцем по металічній оправі. Поверхня ртуті в трубці повинна бути опуклою. Іноді, при зниженні тиску, меніск може приймати плоску форму внаслідок тертя ртуті об скляну трубку.
3. За допомогою кремальєрного гвинта встановлюють ноніус на верхню частину меніска (рис.1.1). Відлік по барометру беруть з точністю до 0,1 мм. Цілі одиниці беруть на око за найближчою до нижнього зрізу поділкою шкали. Десяті частки беруть за тією ж рис-



1.1. Ноніус чашкового барометра [2]



1.2. Види ртутних барометрів [2]:  
а – чашковий; б – сифонний;  
в – чашково-сифонний



1.3. Ртутний чашковий барометр[2]



ною ноніуса, яка збігається з однією із поділок шкали. На рис.1.1. збігається восьмий індекс ноніуса, тобто маємо 0,8 мм. При одночасному співпаданні 0 і 10 кількість десятих часток дорівнює нулю. Цілі одиниці тиску беруть за точку шкали, яка співпадає з нульовим індексом ноніуса.

Ртутний стовпчик барометра піддається коливанням температури. На нього діють зміни сили тяжіння з висотою і широтою місця. Для порівняння показів барометрів, які знаходяться в різних умовах і для одержання істинного значення атмосферного тиску необхідно ввести послідовно (тобто одна за одною) ряд поправок: інструментальну, на температуру, на силу тяжіння.

Інструментальна поправка залежить від якості виготовлення приладу. Вона встановлюється як різниця показів барометра і барометра-еталона. Вона вказується в повірочному свідоцтві кожного барометра і не змінюється до чергового його порівняння.

Поправка на температуру є найбільш значною. При одному значенні атмосферного тиску висота ртутного стовпа в барометрі буде залежити від температури самого приладу. Це пов'язано зі зміною густини ртуті в залежності від її температури. Покази всіх барометрів приводять до температури 0°C і виконують його наступним чином. Вводять з повірочного свідоцтва барометра поправку до відліку за термометром. За допомогою спеціальної таблиці (додаток 3) за виправленим відліком термометра і за показом барометра знаходять відповідну поправку. Оскільки в таблиці поправки наведені через 1°C і для показів барометра через 10 гПа, то беруть поправку, яка найближче підходить до відрхованих показів термометра і барометра. Ці поправки при температурах барометра більше 0°C віднімаються, при температурах нижче 0°C додаються до відліків барометра.

Поправка на силу тяжіння приводить покази усіх ртутних барометрів до нормальної сили тяжіння, тобто такої, що має місце на рівні моря, на широті 45°. Ці поправки для різних широт і висот наведені в спеціальних таблицях (додаток 4). Поправки на широту для барометрів, які розміщені на північ від широти 45°, мають знак плюс, а на південь від цієї широти – знак мінус. Поправки на висоту місця також мають знак мінус для барометрів, встановлених вище рівня моря (хоча б ці барометри і знаходилися на широті 45°).

**П р и к л а д 1.** Ртутний барометр встановлено на висоті 570 м і на широті 53° пн. ш. Відлік за барометром 980,2 гПа. Виправлений відлік за термометром при барометрі 21,4°C. Інструментальна поправка барометра „– 0,2 гПа” Ввести поправки на відлік за барометром [2].

Порядок введення поправок такий.

1. У відлік вводять інструментальну поправку за повірочним свідоцтвом барометра:  $980,2 \text{ гПа} - 0,2 \text{ гПа} = 980,0 \text{ гПа}$ .



2. Вводять поправку на температуру ртуті в барометрі. Вона (за додатком 3) при температурі  $21,4^{\circ}\text{C}$  складає  $3,4$  гПа. Вона вводиться із знаком мінус тому, що температура більша, ніж  $0^{\circ}\text{C}$ . Відповідно:  $980,0$  гПа  $- 3,4$  гПа  $= 976,6$  гПа.
3. Вводять поправку на широту місця. Вона при широті  $53^{\circ}$  пн.ш. складає  $0,7$  гПа (за додатком 4а). Вона вводиться із знаком плюс тому, що широта більша, ніж  $45^{\circ}$ :  $976,6$  гПа  $+ 0,7$  гПа  $= 977,3$  гПа.
4. Вводять поправку на висоту місця. При висоті в  $570$  м її значення складає  $0,11$  гПа (за додатком 4б). Вона має знак мінус тому, що барометр вище рівня моря:  $977,3$  гПа  $- 0,11$  гПа  $= 977,19$  гПа.

Крім того, необхідно привести виправлений тиск до рівня моря, враховуючи температуру повітря, яка виміряна на метеорологічній станції.

П р и к л а д 2. Метеостанція розташована на висоті  $500$  м над рівнем моря. Виміряна температура повітря  $20^{\circ}\text{C}$ , а тиск з поправками  $900$  гПа [2].

Розв'язок цієї задачі складається із декількох моментів.

Визначають за формулою (2.5) значення баричної сходинки на висоті  $500$  м:  $h = (800:900) (1 + 0,004 \cdot 20) = 9,6$  м.

Визначають збільшення атмосферного тиску при опусканні на  $500$  м до рівня моря;  $500 : 9,6 = 52,1$  гПа.

Визначають тиск на рівні моря. Його наближене значення буде складати:  $900$  гПа  $+ 52,1$  гПа  $= 952,1$  гПа.

Визначають середнє значення атмосферного тиску на рівні моря і на висоті  $500$  м:  $(952,1$  гПа  $+ 900$  гПа)  $: 2 = 926$  гПа.

Визначають температуру повітря на рівні моря, враховуючи, що при опусканні на кожні  $100$  м вона зростає на  $0,6^{\circ}\text{C} / 100$  м. Її значення буде складати:  $20^{\circ}\text{C} + (500 \text{ м} \cdot 0,6^{\circ}\text{C}) : 100 \text{ м} = 23^{\circ}\text{C}$ .

Визначають середню температуру повітря на рівні моря і на заданій висоті  $500$  м:  $(23^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C}) : 2 = 21,5^{\circ}\text{C}$ .

Визначають уточнене значення баричної сходинки із урахуванням середньої температури повітря:  $h' = (8000 : 926) \cdot (1 + 0,004 \cdot 21,5) = 9,4$  м.

Обраховують остаточну поправку для приведення тиску до рівня моря:  $500 : 9,4 \text{ м} = 53,2$  гПа.

Визначають дійсний тиск на рівні моря при температурі повітря  $20^{\circ}\text{C}$ :  $900$  гПа  $+ 53,2$  гПа  $= 953,2$  гПа.

## 2.2. ВИЗНАЧЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ МЕТАЛЕВИМИ БАРОМЕТРАМИ

Металеві барометри застосовують при визначенні атмосферного тиску в польових умовах, а також для безперервної реєстрації його значень у часі. Принцип дії заснований на властивості металевих коробок, з яких викачано повітря, змінювати свою форму (деформуватися) під впливом зміни

атмосферного тиску. До приладів цієї групи належать анероїди (рис.1.4 і 1.5) і барографи (рис. 1.7 і 1.8).

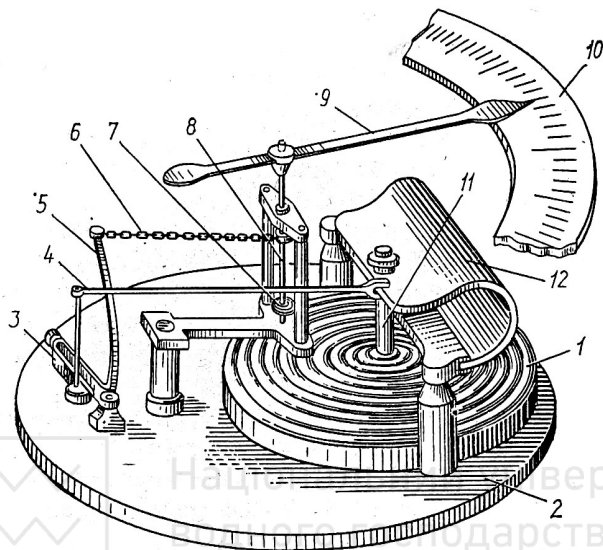
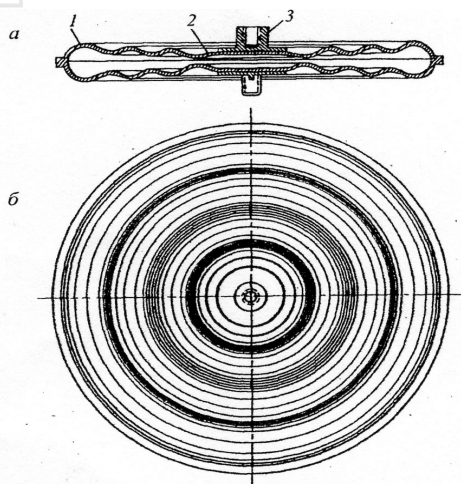


Рис. 1.4. Механізм анероїда [2]



1.6. Анероїдна коробка [5] :

а – розріз (1 – мембрана; 2- центр; 3- кріпильна ніжка), б – вид зверху



Анероїд БАММ (рис.1.4 і 1.5) включає такі основні частини: металева коробка 1; пружина 12; система важелів 3-5; ланцюжок 6; вісь 8; стрілка 9; пружина 7; кругова шкала 10; дугоподібний термометр.

Металева коробка є тонкостінною. Вона складається із двох спаяних між собою гофрованих круглих мембран 11 з жорсткими центрами і ніжками, які необхідні для кріплення коробки на металевій основі 2 приладу. Всередині коробки повітря дуже розріджене (до 0,01 гПа).

Пружина запобігає сплюснюванню коробки зовнішнім тиском. Вона з'єднана одним кінцем з ніжкою верхньої мембрани, а другим – з основою приладу. При збільшенні тиску повітря коробка стискається, при зменшенні – розтягується пружиною.

Система важелів, ланцюжок передають коливання верхньої мембрани на вісь, до якої прикріплена стрілка. Спиральна пружина утворює постійний натяг ланцюжка.

Кругова шкала фіксує зміну атмосферного тиску за положенням стрілки. Кожна поділлка шкали дорівнює 0,5 мм.рт.ст. або 0,5 гПа.

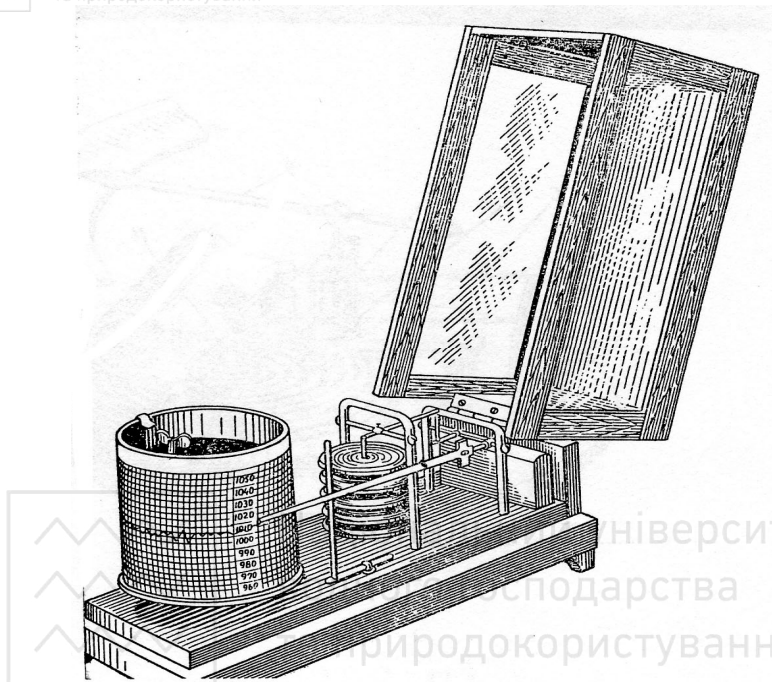
Дугоподібний термометр зі шкалою через 1°C прикріплено до циферблату анероїда з нижньої сторони. Він дозволяє визначити температуру анероїда.

Увесь механізм анероїда поміщають у металевий або пластмасовий футляр, у дні якого є отвір для доступу гвинта, що регулює положення стрілки. Зміна положення стрілки за допомогою гвинта призводить до зміни поправок анероїда. Після перевірки чіпати гвинт не дозволяється.

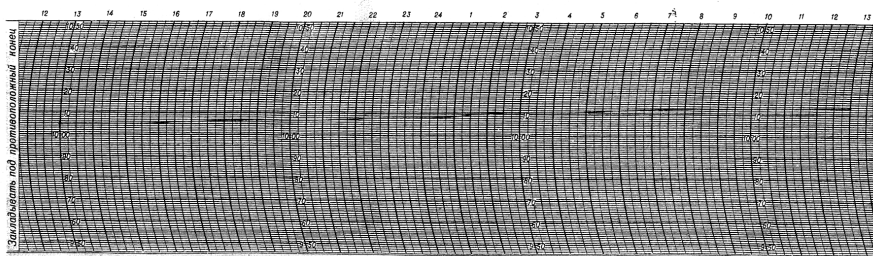
Анероїд встановлюють горизонтально на підставці, закріпленій на стінці або столі, в тих же умовах, що і ртутний барометр. У польових умовах відлік за анероїдом виконують також при його горизонтальному положенні на рівні грудей. Горизонтальність положення анероїда обумовлена тим, що при такому положенні визначають усі поправки до відліку за ним.

Спостереження за анероїдом і введення поправок в покази проводять в такому порядку.

1. Роблять відліки за термометрами при анероїді з точністю до 0,1°C.
2. Для зменшення сили тертя в передавальному механізмі (система важелів, ланцюжок, пружина) легко стукають пальцем по шклянній кришці приладу.
3. Беруть відлік положення стрілки з точністю до 0,1 мм (або гПа) після того, як вона заспокоїться. При цьому необхідно розташувати око так, щоб воно знаходилося над кінцем стрілки.
4. У покази анероїда вводять три поправки: шкалову, температурну, додаткову. Всі поправки наведено в повірочному свідоцтві анероїда.



1.7. Барограф метеорологічний М-22 [2]



1.8. Стрічка барографа





## Завдання 1. Вимірювання атмосферного тиску за ртутним чашковим барометром

Для виконання завдання необхідно мати екземпляр розбірного і діючого ртутного чашкового барометра, повірочне свідоцтво діючого барометра, таблиці поправок на широту місця і висоту, широта і висота метеорологічної станції.

1. Виконати відлік за діючим екземпляром барометра: а) зняти покази термометра при барометрі; б) привести меніск ртуті до нормального положення; в) встановити око на рівні вершини меніска і опустити нижній зріз ноніуса до цього ж рівня; г) виконати відлік за барометром.
2. Ввести поправки в одержаний відлік, використовуючи п р и к л а д 1.
3. Привести виправлений тиск до рівня моря при температурі повітря, виміряній на метеорологічній станції, використовуючи п р и к л а д 2.
4. Результати спостережень і обчислень записують за формою:

Широта місця спостережень \_\_\_\_\_

Висота барометра над рівнем моря \_\_\_\_\_

Температура повітря	Термометр при барометрі			Відлік за барометром	Поправка				Виправлений тиск	
	відлік	поправка	виправлена величина		інструментальна	температурна	на силу тяжіння		на рівні місця спостережень	на рівні моря
							на широту місця	на висоту місця		

Звіт про виконання завдання повинен включати: схему чашкового ртутного барометра; матеріали спостережень і їх обробку; короткий опис пунктів завдання.

## Завдання 2. Визначення перевищення одного пункту над іншим за допомогою анероїда

Для виконання завдання необхідно мати: розбірний і діючий екземпляри анероїда; аспіраційний психрометр; бланки для запису матеріалів спостережень.



1. Визначають величину атмосферного тиску за допомогою анероїда в першому і другому пунктах (вищому і нижчому) : а) відлік тиску виконують у кожному пункті не менше двох разів; б) спостереження на верхньому і нижньому пунктах повинні чергуватися; в) відлік виконують тільки після того, як анероїд прийме температуру навколишнього середовища, при цьому, температуру повітря визначають за сухим термометру аспіраційного психрометра з точністю до 0,1°C.
2. Вводять в покази анероїда поправки з повірочного свідоцтва.
3. Обчислюють середні величини тиску для верхнього і нижнього пунктів і середню температуру повітря.
4. Визначають перевищення верхнього пункту над нижнім (порядок визначення наведено в прикладі).

Приклад 3. Температура і тиск повітря складають: в нижньому пункті 15,6°C і 996,6 гПа; на верхньому пункті 12,4°C і 953,4 гПа [2].

За формулою Бабіне різниця висот буде складати при середній температурі 14°C:

$$h = (996,6 - 953,4) / (996,6 + 953,4) \cdot (1 + 0,004 \cdot 14) = 374,3 \text{ м.}$$

5. Матеріали спостережень і розрахунків записують за формою

Дата \_\_\_\_\_ Анероїд № \_\_\_\_\_

Місце спостереження	Відлік за термометром	Відлік за анероїдом	Поправки			Виправлений відлік анероїда	Середнє значення тиску
			шкалова	температурна	додаток		
Нижній пункт							
Верхній пункт							



### 3.ПРОМЕНИСТА ЕНЕРГІЯ І МЕТОДИ ЇЇ ВИЗНАЧЕННЯ

Основна частина променистої енергії Сонця – це ультрафіолетові промені (0,01 – 0,39 мкм), видимі промені (0,39 – 0,76 мкм) та інфрачервоні промені (0,76 – 500 мкм). Один мікромметр (1 мкм) відповідає  $10^{-6}$ м. Ця частина електромагнітного випромінювання Сонця називається сонячною радіацією.

Виділяють короткохвильову радіацію (довжина хвилі від 0,1 до 4 мкм) та довгохвильову радіацію з довжиною хвилі від 4 до 100 – 120 мкм.

До променистої енергії належить: пряма сонячна радіація, розсіяна і відбита радіація, випромінювання земної поверхні, зустрічне випромінювання атмосфери.

Пряма сонячна радіація (або сонячна радіація) – це радіація, яка поступає на земну поверхню або на будь-який рівень в атмосфері безпосередньо від сонячного диска і навколосонячної зони радіусом  $5^\circ$  у вигляді паралельних променів.

Кількісно пряма сонячна радіація характеризується потоком радіації (енергетичною освітленістю), щільністю потоку радіації (інтенсивністю) і інсоляцією.

Потік радіації – це кількість променистої енергії, яка поступає в одиницю часу на одиницю поверхні. У метеорології потік радіації виражають в кал/(хв·см<sup>2</sup>) або в системних одиницях в Вт/м<sup>2</sup> ( $1 \text{ кал}/(\text{хв} \cdot \text{см}^2) = 698 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ).

Щільність (інтенсивність) потоку прямої сонячної радіації ( $S$ ) – це кількість променистої енергії, яка поступає в одиницю часу на одиницю поверхні перпендикулярної сонячним променям. Її виражають у тих же одиницях.

Сонячна стала ( $S_0$ ) - це щільність потоку сонячної радіації перед її надходженням в атмосферу. За результатами найновіших вимірювань вона складає  $1353 \text{ Вт}/\text{м}^2 = 1,94 \text{ кал}/(\text{хв} \cdot \text{см}^2)$ . Таким чином,  $S_0$  - своєрідний еталон, який показує максимальну можливу кількість сонячної енергії на верхній межі атмосфери або при її відсутності на земній поверхні.

Щільність потоку прямої сонячної радіації біля земної поверхні значно менше сонячної сталої внаслідок поглинання сонячної радіації атмосферою і її розсіювання молекулами повітря та аерозольними частками.

Таке ослаблення прямої сонячної радіації атмосферою кількісно оцінюють формулою Бугера

$$S_m = S_0 P^m, \quad (3.1)$$

де  $S_m$  - щільність потоку прямої сонячної радіації біля земної поверхні;  $S_0$  - сонячна стала;  $P$  – коефіцієнт прозорості атмосфери, який дорівнює тій частині променистої енергії, що досягає поверхні землі при прямовисному падінні променів;  $m$  – оптична маса атмосфери або маса повітря, яку пронизують промені Сонця, якщо площа поперечного перетину потоку радіації дорівнює одиниці. Найменше значення оптичної маси буде при

висоті Сонця  $90^\circ$  ( $m = 1$ , тобто промені пронизують тільки одну товщину атмосфери). При будь-якому іншому положенні Сонця оптична маса визначається як

$$m = 1/\sin h_{\oplus}, \quad (3.2)$$

де  $h_{\oplus}$  - висота Сонця над горизонтом. Висота Сонця – це вертикальний кут між лінією, яка з'єднує око спостерігача із Сонцем і площиною горизонту. При висоті Сонця  $0^\circ$ , маса  $m = 39,6$  (тобто промені пройдуть 39,6 товщини атмосфери). Значення  $m$  при різних  $h_{\oplus}$  наведені в додатку 5.

Часто формулу Бугера представляють у вигляді

$$S_m = S_0 q^{mT}, \quad (3.3)$$

де  $q$  - коефіцієнт прозорості ідеальної атмосфери, без водяної пари і атмосфери;  $T$  – фактор каламутності атмосфери – число, яке показує, у скільки разів прозорість реальної атмосфери менша за прозорість ідеальної (чистої і ненасиченої водяною паром).

Величина  $q$  залежить від  $h_{\oplus}$  і для визначених значень  $m$  приймається постійною: при  $m = 1$ ,  $q = 0,905$ ; при  $m = 2$ ,  $q = 0,910$ ; при  $m = 3$ ,  $q = 0,922$ ; при  $m = 4$ ,  $q = 0,927$ ; при  $m = 6$ ,  $q = 0,930$ ; при  $m = 8$ ,  $q = 0,941$ ; при  $m = 10$ ,  $q = 0,946$ .

Фактор каламутності в середньому має такі значення (при  $m = 2$ ): при дуже низькій прозорості 5,20; при низькій прозорості 4,26; при понижений прозорості 3,26; при нормальній прозорості 2,92; при підвищеній прозорості 2,41; при високій прозорості 1,91 [2].

Інсоляція ( $S'$ ) – це потік прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню. Вона може бути визначена за співвідношенням

$$S' = S_m \sin h_{\oplus}. \quad (3.4)$$

Висота Сонця може бути виміряна кутомірними приладами (теодолітом) або визначена за формулою

$$\sin h_{\oplus} = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \tau, \quad (3.5)$$

де  $\varphi$  – географічна широта місця,  $\delta$  – схилення Сонця,  $\tau$  – часовий кут.

Схилення Сонця – кутова відстань від небесного екватора до Сонця. Значення  $\delta$  на кожний день наведено в додатку 6. Часовий кут – дуга небесного екватора між основою небесного меридіана і кругом схилення



(площиною, що проходить через Сонце та полюс світу). Часовий кут відповідає істинному сонячному часу, відрахованому від полудня.

Розсіяна сонячна радіація (розсіяна радіація) – це радіація, яка поступає на горизонтальну поверхню від усіх точок небосхилу (за виключенням диску Сонця та навколосонячної зони) в результаті розсіювання прямої сонячної радіації молекулами повітря і аерозольними частками. Її позначають буквою  $D$ . Кількісно вона оцінюється в  $\text{кал}/(\text{хв}\cdot\text{см}^2)$  або в системних одиницях в  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

Сумарна сонячна радіація (сумарна радіація) – це загальне надходження до горизонтальної поверхні прямої і розсіяної радіації, тобто

$$Q = S' + D. \quad (3.6)$$

Сумарна радіація частково поглинається земною поверхнею, а частково нею відбивається.

Відбита радіація ( $R$ ) – це частина сумарної радіації, яка відбита від земної поверхні. Найчастіше вона характеризується альбедо ( $A$ ). Альбедо – це відношення кількості відбитої радіації до кількості сумарної радіації, тобто

$$A = R/Q \quad \text{або} \quad A = (R/Q) 100\%. \quad (3.7)$$

Величина альбедо виражається в частках від одиниці або у відсотках.

Поглинута радіація (або баланс короткохвильової радіації земної поверхні) – це різниця між сумарною радіацією і відбитою, тобто

$$B_K = Q - R = Q (1 - A). \quad (3.8)$$

Усі розглянуті вище види випромінювання можна віднести до короткохвильового.

Власне випромінювання земної поверхні ( $E_3$ ) за законом Стефана – Больцмана пропорційне четвертій степені її абсолютної температури, тобто

$$E_3 = \delta \sigma T^4, \quad (3.9)$$

де  $\delta$  – відносна випромінювальна здатність поверхні, тобто це – частка від випромінювання абсолютно чорного тіла, яка відповідає випромінюванню даної поверхні (для більшості поверхонь  $\delta = 0,95$ );  $T$  – абсолютна температура випромінюючої поверхні;  $\sigma$  – постійна Стефана – Больцмана ( $\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{град.}^4 = 0,8125 \cdot 10^{-10} \text{ кал} / (\text{хв} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{град.}^4)$ ).

Зустрічне випромінювання атмосфери ( $E_A$ ) – це частина довгохвильового випромінювання атмосфери, яке направлене до земної поверхні.



Ефективне випромінювання земної поверхні ( $E_{ef}$ ) – це різниця між випромінюванням земної поверхні і зустрічним випромінюванням атмосфери, тобто

$$E_{ef} = E_3 - E_A . \quad (3.10)$$

Баланс довгохвильової радіації на земній поверхні ( $B_D$ ) – це величина  $E_{ef}$ , яка взята з оберненим знаком, тобто

$$B_D = - E_{ef} = E_A - E_3 . \quad (3.11)$$

Радіаційний баланс земної поверхні ( залишкова радіація) – це різниця між надходженням радіації на земну поверхню ( $S' + D + E_A$ ) і витратою радіації з неї ( $R + E_3$ ), тобто

$$B = S' + D - R + E_{ef} \quad (3.12)$$

Або

$$B = (S' + D) (1 - A) - E_{ef} \quad (3.13)$$

Радіаційний баланс додатній, коли надходження променистої енергії більше за її витрату. В цьому випадку поверхня нагрівається. Радіаційний баланс від'ємний, коли надходження менше, ніж витрата і тоді поверхня охолоджується.

### 3.1. ПРИНЦИП ДІЇ АКТИНОМЕТРИЧНИХ ПРИЛАДІВ

Для вимірювання радіаційних потоків застосовують актинометричні прилади, складовою частиною яких є термоелементи. За їх допомогою енергія випромінювання перетворюється в енергію електричного струму – термострум. Явище термоструму полягає в тому, що в замкнутому ланцюзі, складеному із двох різнорідних провідників, виникає електричний струм, якщо температура місць з'єднань (спаїв) різна. Якщо температури спаїв різні, то електричний струм в ланцюзі буде відсутній.

Величина електрорушійної сили термоструму пропорційна різниці температур спаїв. Використовують декілька термоелементів, які з'єднані послідовно і утворюють термобатарею (рис.3.1). При дії термобатареї усі непарні спаї розташовують так, щоб вони мали однакову температуру, яка відрізняється від температури парних спаїв, розміщених у досліджуваному середовищі.

В термоелементах використовують манганін (сплав міді, марганцю і нікелю) та константан (сплав міді і нікелю). Приймачем випромінювання найчастіше використовують зачернені пластинки, які поглинають 94 – 97% радіації, що на них попадає.

Для вимірювання сили терmostруму застосовують стрілочний гальванометр ГСА – 1 (рис.3.4). Він дозволяє вимірювати слабкий струм, що виникає в термобатареях актинометричних приладів.

Актинометричні прилади поділяються на абсолютні і відносні. Перші з них піргеліометри (рис.3.2 і 3.3) – дають значення випромінювання безпосередньо в теплових одиницях. На метеорологічних станціях застосовують переважно відносні прилади. Величина радіації вимірюється в поділках шкали гальванометра. Для одержання абсолютних величини радіації число поділок гальванометра множать на перевідний множник, який визначають шляхом порівняння показів приладу з показами повіреного еталона (піргеліометра).

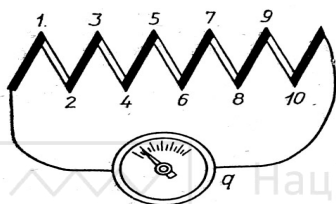


Рис. 3.1. Схема термобатареї [2]

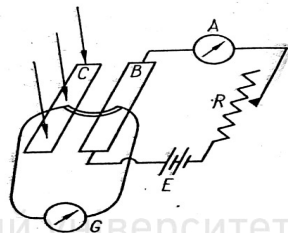


Рис. 3.2. Схема піргеліометра [2]

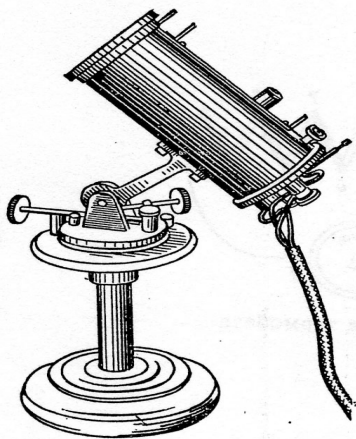


Рис. 3.3. Зовнішній вигляд піргеліометра[2]

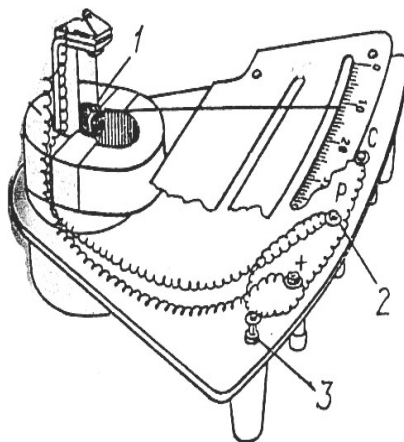


Рис. 3.4.Схема стрілочного гальванометра ГСА- 1 [2]



Для вимірювання прямої сонячної радіації застосовують актинометри; для вимірювання розсіяної, сумарної і відбитої радіації – піранометри і альбедометри; для вимірювання радіаційного балансу – балансоміри.

### 3.2. ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ПРЯМОЇ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ

Для вимірювання прямої сонячної радіації застосовують термоелектричний актинометр Савінова–Янишевського АТ-50. Це відносний прилад. Актинометр складається з термоелектричної зірочки, корпусу, паралактичного штатива, стійки (рис.3.6). Зіркоподібна термобатарея (термозірочка) має тонкий срібний зачернений диск 1 (рис.3.5.А), обернений до Сонця. До іншої сторони приклеєні внутрішні непарні спаї 2 термобатареї, яка складена з 36 термоелементів.

Зовнішні парні спаї 3 термобатареї підклеєні до мідного кільця 4. Термобатарея ізолювана від срібного диску і мідного кільця папіросним папером 5.

Корпус приладу складається з чашки 1 і трубки 4. Кільце з термобатареєю знаходиться в чашці (рис.3.6). Всередині трубки є п'ять діафрагм, які розташовані в порядку зменшення їх діаметрів від 20 до 10 мм в напрямку диску. Вони захищають термобатарею від впливу розсіяної і відбитої радіації та впливу вітру. На кінцях трубки розміщені кільця для націлювання актинометра на Сонце. На верхньому кільці 5 є отвір, а на нижньому кільці 2 – відмітка у вигляді точки. Трубка закривається зйомкою кришкою 9, яка служить для визначення нульового положення гальванометра і захисту приймача від забруднення.

Паралактичний штатив 6 дозволяє встановлювати прилад по широті місця (шкала 10), висоті і азимуту Сонця (рукоятки 3 і 8). Він також з'єднує трубку зі стійкою 7. Кінці термобатареї з'єднані з дротами, якими прилад підключають до гальванометра.

При вимірюваннях срібний диск поглинає сонячну радіацію. Температура диску і внутрішніх спаїв зростає. Зовнішні спаї мають температуру корпусу, яка близька до температури повітря. Під дією різниці температур в термобатареї виникає термострум, який вимірюється гальванометром.

Актинометр встановлюють на метеорологічній площадці строго горизонтально, відповідно до широти місця і напрямом полуденної лінії. Диск повинен бути розташований перпендикулярно до сонячних променів. Для цього націлюють прилад на Сонце, тобто за допомогою рукояток встановлюють прилад так, щоб при знятій кришці пучок світла через отвір на верхньому кільці трубки попадав на точку нижнього кільця.

Спостереження за прямою сонячною радіацією за актинометром виконують у такі строки: 0 год. 30 хв.; 06 год. 30 хв.; 09 год. 30 хв.; 12 год. 30 хв.; 15 год. 30 хв.; 18 год. 30 хв. за місцевим сонячним часом.



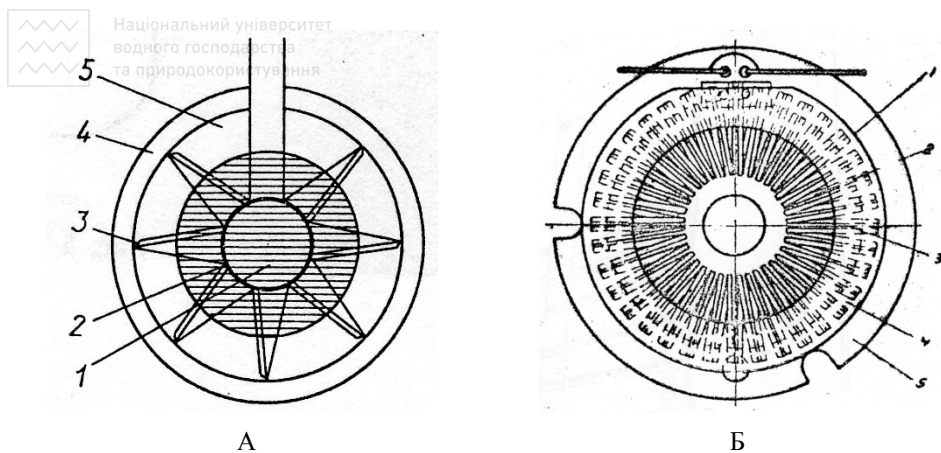


Рис. 3.5. Схема зіркоподібних батарей актинометрів [2]

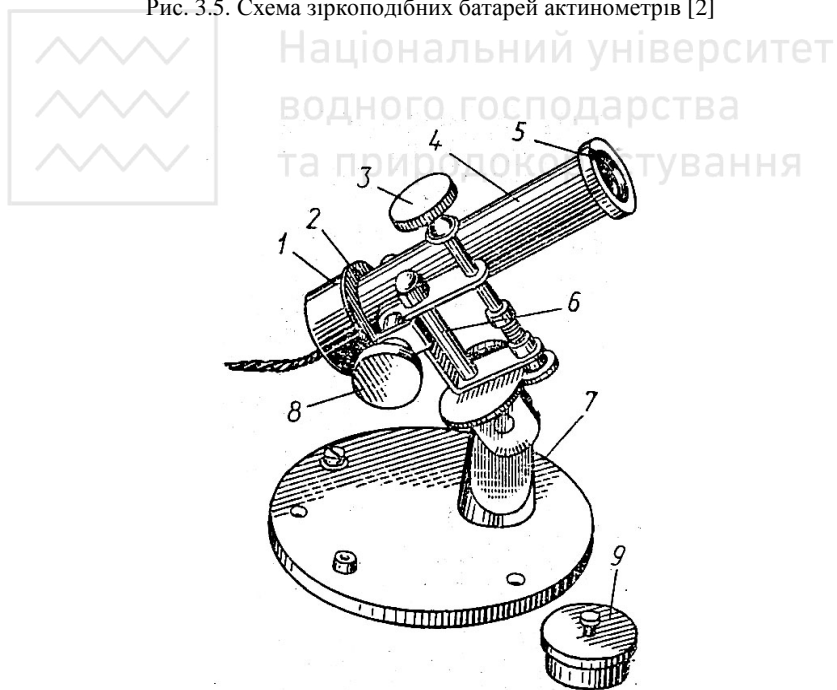


Рис. 3.6. Термоелектричний актинометр Савінова–Янишевського [2]



Порядок спостереження такий.

1. Націлюють прилад на Сонце при знятті з трубки актинометра кришки.
2. Надягають кришку на трубку і через 25 – 30 с. Виконують відлік нульового положення за гальванометром ( $n_1^0$ ).
3. Знімають кришку з трубки і перевіряють точність націлювання на Сонце.
4. Знімають 3 – 5 показів гальванометра з інтервалом 25 – 30 с ( $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ ).
5. Повторно надягають кришку на трубку і визначають місце нуля за гальванометром ( $n_2^0$ ).
6. Визначають температуру гальванометра за його термометром.

Обробка спостережень зводиться до наступних дій.

1. Визначають середнє місце нуля гальванометра

$$n^0 = (n_1^0 + n_2^0) / 2. \quad (3.14)$$

2. Визначають середнє значення відхилення стрілки гальванометра з 3-х показів по ньому

$$n = (n_1 + n_2 + n_3) / 3. \quad (3.15)$$

3. Визначають виправлений відлік за гальванометром ( $\check{n}$ ), тобто в середнє значення показів гальванометра ( $n$ ) вводять шкалову поправку ( $\Delta n$ ) з повірочного свідоцтва гальванометра за температурою ( $t$ )

$$\check{n} = n \pm (\Delta n). \quad (3.16)$$

4. Знаходять фактичне відхилення стрілки гальванометра як різницю

$$N = \check{n} - n^0. \quad (3.17)$$

5. Визначають інтенсивність прямої сонячної радіації у Вт/м<sup>2</sup>

$$S_m = a N, \quad (3.18)$$

де  $a$  – перевідний множник, який вказано в повірочному свідоцтві актинометра.

7. Обчислюють величину прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню (інсоляцію) за формулою (3.4).

### 3.3. ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ СУМАРНОЇ І РОЗСІЯНОЇ РАДІАЦІЇ

Для вимірювання цих видів сонячної радіації використовують термоелектричний піранометр Янишевського М-80. Він також може служити для вимірювання відбитої радіації.

Піранометр (рис.3.7) складається з таких основних частин: термобатарея, яка покрита напівсферичним скляним ковпаком 1; металева підставка 2; корпус 3; тінювий екран 4.

Термобатарея має квадратну форму (сторона квадрата 2;3 або 4 см) і складається з термопар (їх число відповідно 28; 87 або 112).

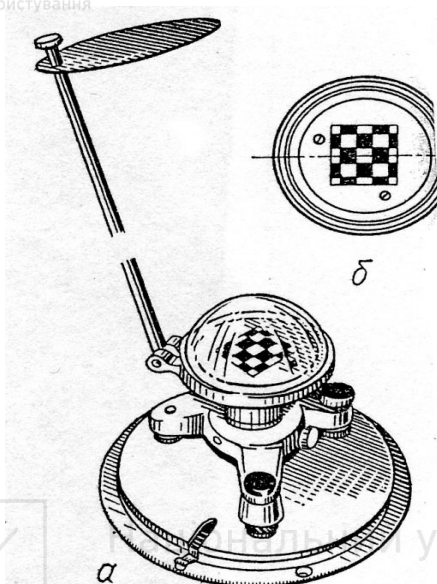


Рис. 3.7. Піранометр Янишевського [2]

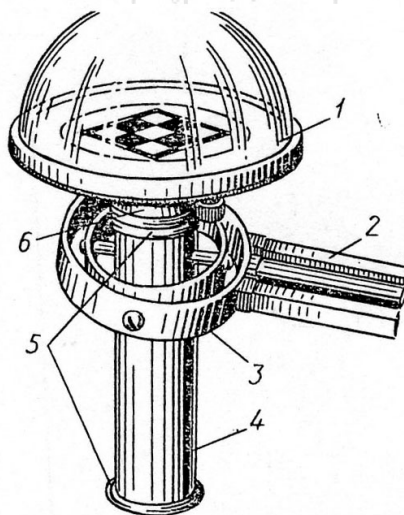


Рис. 3.8. Похідний альбедометр [2]



Термопар (манганін-константан) з'єднані послідовно. Термобатарея пофарбована в чорний та білий кольори. Парні спаї пофарбовані в один колір, а непарні – в інший. Термоелементи згруповані так, що чорні (сажа) і білі (манганін) поля чергуються в шаховому порядку і межа фарбування проходить посередині між спаями. Термобатарея може бути також радіальною у вигляді кільця. Довгохвильову радіацію сажа і магnezія поглинають однаково. Короткохвильову радіацію сажа поглинає в більшій мірі, ніж магnezія. Під впливом цього виду радіації між спаями виникає різниця температур і виникає термострум. Термобатарея покрита скляним ковпаком для захисту від довгохвильової радіації, вітру і опадів. Скло поглинає частину короткохвильової радіації з довжиною хвилі  $0,3 - 0,4$  та  $2,5 - 4,0$  мкм. Ковпак не вносить суттєвих похибок у вимірювання тому, що на цих ділянках спектру інтенсивність прямої і розсіяної радіації дуже мала.

Металева підставка утримує термобатарею і має рівень для установки піранометра в горизонтальному положенні.

Корпус несе металеву підставку з термобатареєю. Знизу до корпусу прикріплена сушила. Вона заповнена гігроскопічною речовиною, яка вбирає вологу. Це зберігає внутрішню поверхню скляного ковпака і саму батарею від конденсації.

Тіньовий екран захищає термобатарею впливу прямої сонячної радіації при вимірюванні кількості розсіяної радіації.

Піранометр встановлюють на висоті  $1,5$  м від земної поверхні на відкритій площадці. Його розташовують до Сонця завжди однією і тією ж стороною. Гальванометр встановлюють з північної сторони від піранометра.

Спостереження за піранометром проводять за середнім сонячним часом (п. 3.2). Порядок спостереження такий.

1. Перевіряють установку приладу за рівнем і відносно Сонця.
2. Закріплюють тіньовий екран.
3. Закривають кришкою термобатарею і при замкнутому ланцюгу піранометра і гальванометра визначають місце нуля гальванометра ( $n_1^0$ ).
4. Знімають кришку піранометра з термобатареї при тіньовому екрані і визначають відлік гальванометра по розсіяній радіації ( $n_1, n_2$ ) через  $25 - 30$  с.
5. Відводять тіньовий екран і беруть відлік гальванометра за сумарною радіацією ( $n_3, n_4, n_5$ ) через  $25 - 30$  с.
6. При тіньовому екрані беруть відлік гальванометра за розсіяною радіацією ( $n_6, n_7$ ) через  $25 - 30$  с.
7. Відводять екран, закривають кришкою термобатарею і повторно визначають місце нуля гальванометра ( $n_2^0$ ).



8. Визначають температуру гальванометра ( $t$ ).
9. Знімають тінювий екран, піранометр закривають футляром.

Обробка спостережень складається з таких обчислень:

1. Визначають середній відлік по гальванометру для розсіяної радіації

$$n_D = (n_1 + n_2 + n_6 + n_7) / 4; \quad (3.20)$$

2. Знаходять середній відлік за гальванометром для сумарної радіації

$$n_Q = (n_3 + n_4 + n_5) / 3; \quad (3.21)$$

3. Вводять шкалові поправки ( $\Delta n$ ) з повірочного свідоцтва гальванометра за ( $t$ ) і одержують виправлений середній відлік

$$\bar{n}_D = n_D \pm \Delta n \quad \text{та} \quad \bar{n}_Q = n_Q \pm \Delta n; \quad (3.22) \quad (3.23)$$

4. Знаходять середнє значення місця нуля гальванометра ( $n^0$ ) за формулою (3.14);

5. Одержують фактичні відхилення стрілки гальванометра для розсіяної і сумарної радіації

$$N_D = \bar{n}_D - n^0 \quad \text{та} \quad N_Q = \bar{n}_Q - n^0; \quad (3.24) \quad (3.25)$$

6. За допомогою перевідного множника ( $a$ ), вказаного в повірочному свідоцтві піранометра, визначають кількість розсіяної і сумарної радіації, Вт/м<sup>2</sup>, тобто

$$D = aN_D \quad \text{та} \quad Q = aN_Q. \quad (3.26) \quad (3.27)$$

При спостереженнях за піранометром можна обчислити пряму сонячну радіацію

$$S' = a(N_Q - N_D). \quad (3.28)$$

При висоті Сонця  $h_{\odot} < 20^\circ$  в одержані величини прямої сонячної радіації  $S'$  вводять поправочний множник ( $F_n$ ), який враховує залежність чутливості піранометра від висоти Сонця  $h_{\odot}$ . Величина ( $F_n$ ), приводиться в повірочному свідоцтві піранометра. Сумарна радіація в такому випадку визначається за залежністю

$$Q = a[(N_Q - N_D)F_n + N_D]. \quad (3.29)$$

Для визначення сумарної радіації при Сонці, зазвичай, спостерігають за двома приладами: пряму радіацію ( $S'$ ) - за актинометром; розсіяну ( $D$ ) - за піранометром. Надалі їх складають.



### 3.4. ВИЗНАЧЕННЯ ВІДБИТОЇ РАДІАЦІЇ І АЛЬБЕДО

Для вимірювання відбитої радіації і визначення відбивної спроможності підстильної поверхні, тобто альbedo, застосовують термоелектричний альбедометр. На практиці широко застосовують похідний альбедометр АПЗЗ×3 (рис.3.8). Він складається з таких основних частин: прийомна частина 1; трубка 4 з карданним підвісом 3; рукоятка 2.

Прийомна частина – це термоелектрична батарея піранометра. Вона пригвинчена на втулці 6 до трубки з карданним підвісом.

Трубка всередині містить стержень, по якому ковзає свинцева вага. Вона при поворотах приладу завжди рухається вниз. Це дозволяє надавати прийомній частині горизонтальне положення. Для пом'якшення ударів при поворотах приладу на кінцях трубки є гумові прокладки 5.

Спостереження за альбедометром проводяться за середнім сонячним часом (п.3.2) у такому порядку:

1. Закривають кришкою термобатарею і при замкнутому ланцюгу альбедометра і гальванометра визначають місце нуля гальванометра ( $n_1^0$ );
2. Знімають кришку з термобатареї, повертають її до земної поверхні і послідовно через 25 – 30 с беруть відлік ( $n_1, n_2$ ) гальванометра для відбитої радіації;
3. Повертають термобатарею до небесного схилу і послідовно через 25 – 30 с визначають відлік по гальванометру для сумарної радіації ( $n_3, n_4, n_5$ );
4. Повертають термобатарею до земної поверхні і послідовно через 25 -30 с беруть відлік за гальванометром для відбитої радіації ( $n_6, n_7$ );
5. Закривають кришкою термобатарею і повторно відмічають місце нуля гальванометра ( $n_2^0$ );
6. Визначають температуру гальванометра ( $t$ );

Обробка спостережень включає в себе такі операції:

1. Визначають середнє значення місця нуля ( $n^0$ ) гальванометра за формулою (3.14)
2. Визначають середнє із серії показів по гальванометру для відбитої ( $n_k$ ) і сумарної радіації ( $n_Q$ ), відповідно, за формулами (3.20) і (3.21);



3. Вводять шкалові поправки ( $\Delta n$ ) з повірочного свідцтва гальванометра за його температурою ( $t$ ) і одержують виправлений відлік ( $n_R$ ) і ( $n_Q$ ), відповідно, за формулами (3.22) і (3.23);
4. Визначають величину фактичного відхилення стрілки гальванометра для відбитої ( $N_R$ ) та сумарної ( $N_Q$ ) радіації, відповідно, за формулами (3.24) та (3.25);
5. Підраховують величини відбитої ( $R$ ) і сумарної радіації ( $Q$ ) в теплових одиницях, Вт/м<sup>2</sup>, відповідно, за формулами (3.26) та (3.27);
6. Обчислюють величину альbedo ( $A$ ) за формулою (3.7).

### 3.5.ВИЗНАЧЕННЯ РАДІАЦІЙНОГО БАЛАНСУ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

Радіаційний баланс вимірюється термоелектричним балансоміром М-10М (рис.3.9). Балансомір складається з таких основних частин: приймач радіаційних потоків 1; кругла оправа 2; рукоятка 3, яка приєднана до оправи, і через яку пропущені виводи до гальванометра.

Прийомна частина складається з двох однакових мідних пластинок, які мають форму квадрата із стороною 48 мм. Зовнішні поверхні пластинок покриті сажею. Між пластинками поміщені 10 термобатарей. Кожна батарея – це брусок, покритий ізоляційним шаром, на який намотана константанова стрічка перерізом 0,8X0,003 мм. Половина кожного витка стрічки посрібнена, початок і кінець кожного срібного шару служать термоспаями.

Оправа має форму диска діаметром 96 мм і товщиною 4 мм. В оправу вмонтовані пластинки і термобатарей.

Балансомір має дві прийомні поверхні. Одна з них повернута вгору і сприймає сумарну радіацію та зустрічне випромінювання атмосфери ( $Q$  і  $E_A$ ). Друга - повернута вниз і сприймає відбиту радіацію ( $R$ ) та випромінювання земної поверхні ( $E_3$ ). Крім того, пластинки самі випромінюють радіацію ( $E_B$  і  $E_H$ ). Пластинки нагріваються по-різному. Тому в термобатареях виникає термострум, величина якого визначається гальванометром. Число поділок гальванометра пропорційно величині радіаційного балансу земної поверхні. На нагрівання пластинок впливає вітер, тому у відлік гальванометра вводять поправочний множник ( $K_V$ ), який залежить від швидкості вітру.

Балансомір встановлюють на спеціальній колодці за допомогою шарнірів. До колодки приєднується стержень з тінювим екраном. Встановлюють балансомір на дерев'яній рейці на висоті 1,5 м від земної поверхні (рис. 3.10).

Спостереження за балансоміром і обробка результатів складається з цілого ряду операцій.

1. У більшості випадків прийомну поверхню затіняють тінювим екраном.

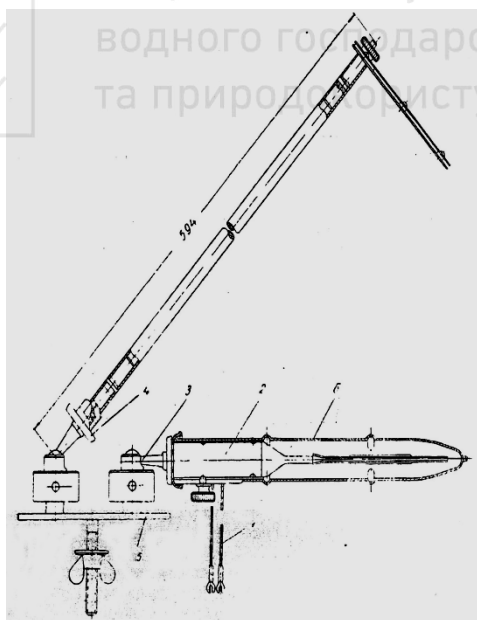
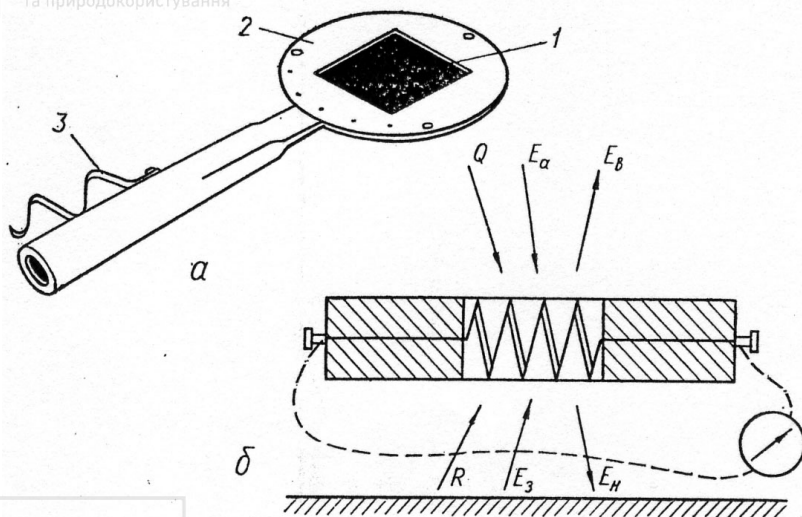


Рис. 3.9. Термоелектричний балансомір [2]





2. Визначають місце нуля гальванометра ( $n_1^0$ ) при під'єднанні балансоміра до гальванометра.
3. Через 25–30 с знімають серію показів ( $n_1, n_2, n_3$ ) за гальванометром.
4. При кожному відліку визначають швидкість вітру ( $V_1, V_2, V_3$ ) за анемометром, який встановлюють на невеликій відстані і на одному рівні з балансоміром.
5. Визначають місце нуля гальванометра ( $n_2^0$ ).
6. Визначають температуру гальванометра ( $t$ ).
7. Визначають середнє значення місця нуля гальванометра ( $n^0$ ) за формулою (3.14).
8. Визначають середнє відхилення стрілки гальванометра з серії відліків ( $n$ ) за формулою (3.15).
9. Визначають середню швидкість вітру ( $V$ )

$$V = (V_1 + V_2 + V_3) / 3. \quad (3.30)$$

10. Визначають виправлений відлік за гальванометром ( $\tilde{n}$ ) через введення шкалової поправки ( $\Delta n$ ) за формулою (3.16).
11. Визначають фактичне відхилення стрілки гальванометра ( $N$ ) за формулою (3.17).
12. Знаходять величину поправочного множника ( $K_V$ ) за значенням ( $V$ ) в повірочному свідоцтві балансоміра.
13. Обчислюють радіаційний баланс земної поверхні без прямої сонячної радіації

$$B - S' = aNK_V, \quad (3.31)$$

де  $a$  – перевідний множник балансоміра, який вказують в повірочному свідоцтві балансоміра.

14. На одну рейку з балансоміром встановлюють актинометр, за яким ведуть спостереження за ( $S'_B$ ) зразу ж після відліку за балансоміром (як вказано в п.3.1.).
15. Обчислюють повний радіаційний баланс земної поверхні, тобто

$$B' = aNK_V + S'_B. \quad (3.32)$$

### 3.6. ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ СОНЯЧНОГО СЯЙВА

На усіх метеорологічних станціях визначають тривалість сонячного саява, тобто тривалість часу, коли Сонце світило. Для цього використовують геліографи, серед яких найбільш розповсюдженим є універсальний геліограф Кемпбела – Стокса ГУ-1 (рис.3.11).

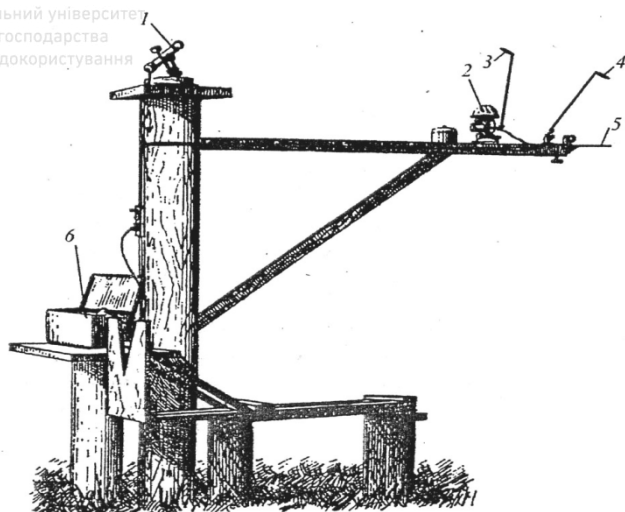


Рис. 3.10. Актинометрична стійка (нерухома): 1- актинометр; 2- піранометр; 3- 4 –  
тіньові екрани; 5 –балансомір; 6 – гальванометри [4]

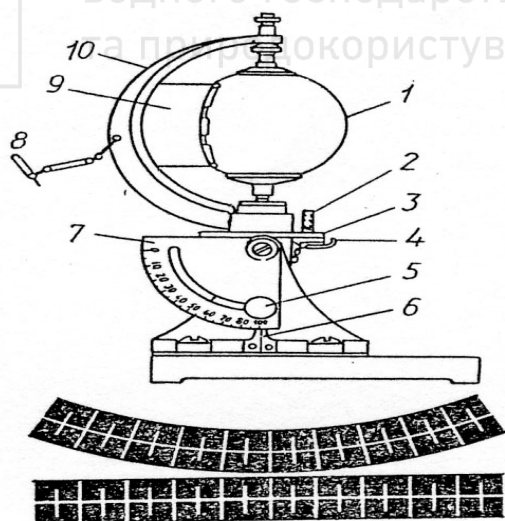


Рис. 3.11. Універсальний геліограф і стрічки до нього [2]



Геліограф включає такі основні частини: прийомна частина; сферичний екран на дугоподібному держаку; вертикальна вісь з двома дисками і сектором.

Прийомною частиною є скляна куля 1. Сферичний екран 9 знаходиться на відстані головного фокуса кулі на дугоподібному держаку 10. На внутрішній стороні екрану є три пази для закріплення спеціальних паперових стрічок з поділками на півгодинні проміжки часу.

Сонячні промені, проходячи через скляну кулю, збираються у фокусі на стрічці і залишають на ній пропалене місце. Якщо хмари закривають Сонце, лінії пропаленого місця переривається. По довжині лінії, використовуючи поділки стрічки, визначають тривалість сонячного сйва.

Навколо вертикальної осі обертається держак, до нижньої частини якого закріплений диск 3. На дискові є один отвір і чотири мітки з літерами А, Б, В, Г. Під цим диском є ще один нижній диск із покажчиком 4. Нижній диск нерухомий відносно верхнього, але може обертатися навколо горизонтальної осі. Цей же диск нерухомо скріплений із сектором 7, на якому нанесена шкала для установки приладу по широті. Для цього опускають гвинт 5 і, обертаючи прилад навколо горизонтальної осі, встановлюють поділку на шкалі у відповідності до широти місця спостережень проти індексу 6.

Шар разом із екраном встановлюють в одне із чотирьох положень, які фіксують літерами А, Б, В, Г і закріплюють штифтом 2. При цьому одна із літер диску 3 буде розташована проти покажчика 4.

Геліограф встановлюють у сонячний день. Його встановлюють на тому місці метеорологічної площадки, яке протягом усього дня і в усі місяці року освітлюється Сонцем. Його встановлюють чітко горизонтально на стовпі висотою не менше, ніж 2 м. Якщо таке місце відсутнє, то прилад встановлюють на спеціальній вишці або на даху будинку. На стовпі закріплюють дошку в горизонтальному положенні, яке перевіряють за рівнем.

В істинний полудень геліограф закріплюють на дошці і встановлюють його по меридіану відкритою стороною кулі на південь ( в положенні Б). Надалі прилад повертають так, щоб в істинний полудень (додаток 1) фокус був проти полуденної поділки на стрічці. В цьому положенні геліограф закріплюють гвинтами. Після цього встановлюють прилад по широті місця. Для цього ослаблюють гвинт 5 і повертають верхню частину приладу до співпадіння даної широти з індексом 6.

Для спостереження за геліографом в пази сферичного екрану вкладають стрічки у відповідності до пори року. У верхній паз – зимою (з 16 жовтня до кінця лютого). У середній паз – весною і восени (з 1 березня по 15 квітня і з 1 вересня по 15 жовтня). У нижній паз – літом (з 16 квітня по 31 серпня). У верхній і нижній пази закладають дугоподібні стрічки, в середній – прямі.

Стрічку закладають так, щоб її середня поділка точно співпадала з рисою, нанесеною на екрані приладу. Спеціальною голкою фіксують



положення його стрічки на екрані. При правильній установці прокол голки припадає на другу часову поділку від середини стрічки.

У короткі дні, коли Сонце знаходиться над горизонтом не більше 9 год., стрічку міняють один раз на добу – після заходу Сонця. Куля при цьому повернута на південь (в положенні Б).

При тривалості дня від 9 до 18 год. стрічку міняють два рази на добу: перший раз – після заходу Сонця; другий – в 12 годині. При цьому змінюють положення кулі: при вечірній зміні стрічки куля повертається на схід (у положенні А); при зміні в полудень – на захід (у положенні В).

При тривалості дня понад 18 год. зміну стрічок і поворот кулі проводиться три рази за добу, в 4, 12 і 20 годин. При зміні о 4 годині куля повернута на схід (у положенні А), в 12 годин – на захід (у положенні В) і в 20 годин – на північ (у положенні Г).

Стрічки змінюють в усіх випадках, навіть коли на ній відсутня лінія пропалу ( в хмарні дні). На звороті стрічки простим олівцем записують назву станції, рік, місяць, число, години і хвилини закладання стрічки в паз, а після зняття – число, години і хвилини зняття.

Під час спостережень за геліографом контролюють його горизонтальність. При правильній установці лінія пропалу на стрічці паралельна зрізам стрічки і обидва кінця лінії в день із ясным сходом і заходом Сонця повинні бути на однаковій відстані від середини лінії.

Необхідно перевіряти правильність установки приладу по полуденній лінії і широті місця, а також утримувати кулю в чистоті. При необхідності її протирають м'якою ганчіркою. Якщо куля покрита інеєм або памороззю, ганчірку змочують спиртом або авіаційним бензином.

Тривалість сонячного сйива визначають по довжині лінії пропалу за кожний часовий проміжок часу з точністю до 0,1 год. Надалі підраховують суми тривалості сйива за день, місяць, рік.

Недолік геліографа полягає в тому, що пропали на стрічці з'являються при інтенсивності радіації  $150 - 250 \text{ Вт/м}^2$ . Пропали починаються пізніше сходу Сонця і закінчуються раніше, коли Сонце ще над горизонтом. Тому виміряну тривалість сонячного сйива може бути меншою за фактичну. В жаркі і літні дні з мінливою купчастою хмарністю діаметр окремих миттєвих прогарів на стрічці складає перебільшену картину тривалості сйива.

### **Завдання 1. Вимірювання прямої сонячної радіації термоелектричним актинометром**

*Для виконання завдання необхідно мат: актинометр, гальванометр, повірочні свідоцтва актинометра і гальванометра, таблиці середнього сонячного часу в істинний полудень. Необхідно знати час спостережень і широту місця.*



1. Визначити висоту сонця на час спостережень для заданої широти місця, використовуючи приклад.

П р и к л а д 1. Визначити для пункту спостережень на широті  $50^{\circ}00'$  пн. ш. висоту Сонця ( $h_{\odot}$ ) на 15 год. 30 хв., на 05 лютого [2].

Визначають часовий кут ( $\tau$ ). Він відповідає істинному сонячному часу, відрахованому від полудня. За додатком 1 середній сонячний час в істинний полудень на 05 лютого складає 12 год. 14 хв. Різниця між конкретним моментом часу і сонячним часом в істинний полудень дає величину  $\tau$ , тобто 15 год. 30 хв. – 12 год. 14 хв. = 3 год. 16 хв.

Визначають схилення Сонця ( $\sigma$ ) за додатком 6. На 05 лютого величина схилення складає:  $\sigma = -16^{\circ}$ .

Використовуючи формулу (3.5) визначають висоту Сонця:

$$\sin h_{\odot} = \sin(50) \sin(-16) + \cos(50) \cos(-16) \cos(3,16) = 0,766(-0,2756) + 0,643 \cdot 0,961 \cdot 0,998 = (-0,2111) + 0,6173 = 0,4059.$$

Таким чином, висота Сонця складає:  $h_{\odot} = 23,9$  градуса.

2. Виміряти інтенсивність прямої сонячної радіації у встановленому вище порядку, тобто встановити:  $n_1^0$ ;  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ ;  $n_2^0$ ;  $t$ .
3. Провести обробку спостережень, тобто визначити:  $n^0$ ;  $n$ ;  $\bar{n}$ ;  $N$ ;  $S_m$ ;  $S'$ .
4. Результати вимірювань і обробки записати за формою:

Актинометр _____ Гальванометр _____ Місце спостережень _____ Дата _____ Перевідний множник актинометра $a =$ _____				Місце нуля гальванометра: до спостережень, $n_1^0 =$ _____ після спостережень, $n_2^0 =$ _____ середнє, $n^0 =$ _____			
Час спостережень	Висота Сонця, $h_{\odot}$ , $\sin h_{\odot}$	Відлік за гальванометром	$n$	$\bar{n}$	$N$	$S_m$ , Вт/м <sup>2</sup>	$S'$ , Вт/м <sup>2</sup>
		$n_1 =$ $n_2 =$ $n_3 =$					

*Звіт про виконання завдання повинен складатися зі схеми актинометра, результатів вимірювань і їх обробки,; короткого опису пунктів завдання.*

## Завдання 2. Вимірювання сумарної і розсіяної радіації термоелектричним піранометром

*Для виконання завдання необхідно мати: піранометр; гальванометр; повірені свідоцтва піранометра і гальванометра; таблиці середнього*



сонячного часу в істинний полудень. Необхідно знати час спостережень і широту місця.

1. Визначити висоту сонця на час спостережень для заданої широти місця, використовуючи приклад, наведений у завданні 1.
2. Виміряти  $n_1^0$  і розсіяну сонячну радіацію, тобто визначити:  $n_1, n_2, n_6, n_7$ .
3. Виміряти сумарну сонячну радіацію, тобто зафіксувати:  $n_3, n_4, n_5$ .  
Визначити  $n_2^0$ .
4. Провести обробку спостережень, тобто обчислити:  $n^0, n_D, n_Q, \bar{n}_D, \bar{n}_Q, N_D, N_Q, D, Q$  (з урахуванням значення  $h_{\oplus}$ ).
5. Результати вимірювань і обробки записати в таблицю за формою:

Піранометр _____ Гальванометр _____ Місце спостережень _____ Дата _____				Місце нуля гальванометра							
				до спостережень $n_1^0 =$		після $n_2^0 =$		середнє $n^0 =$			
Перевідний множник $a =$											
Час спостережень	$h_{\oplus}$	Відлік з екраном		$n_D$	$\bar{n}_D$	$N_D$	Відлік без екрана	$n_Q$	$\bar{n}_Q$	$N_Q$	$D / Q, \text{ Вт/м}^2$
		$n_1 =$ $n_2 =$ $n_6 =$ $n_7 =$					$n_3 =$ $n_4 =$ $n_5 =$				

Звіт про виконання завдання повинен складатися із схеми піранометра, результатів вимірювань і їх обробки, короткого опису пунктів завдання.

### Завдання 3. Вимірювання радіаційного балансу земної поверхні термоелектричним балансоміром

Для виконання завдання необхідно мати: балансомір; гальванометр; пові-



1. Визначити місце нуля гальванометра ( $n_1^0$ ). Провести серію вимірювань по гальванометру ( $n_1, n_2, n_3$ ). Визначити місце нуля гальванометра ( $n_2^0$ ).
2. По заданій середній швидкості вітру ( $V$ ) визначити поправочний множник ( $K_V$ ).
3. Провести обробку спостережень, тобто визначити:  $n, n^0, \tilde{n}, N, B - S'$
4. Результати вимірювань і обробки записати за формою:

Балансомір _____ Гальванометр _____ Дата _____		Місце нуля гальванометра				
		$n_1^0 =$	$n_2^0 =$	$n^0 =$		
Перевідний множник $a =$						
Час спостережень	Відліки за гальванометром	$n$	$\tilde{n}$	$N$	$K_V$	$B - S'$
	$n_1 =$ $n_2 =$ $n_3 =$					

Звіт про завдання повинен складатися із схеми балансоміра, результатів вимірювань і їх обробки, короткого опису пунктів завдання.

#### Завдання 4. Ознайомлення з будовою геліографа

Для виконання завдання необхідно мати: геліограф; експоновані стрічки геліографа.

1. Ознайомитися з будовою геліографа і з основними правилами установки приладу по широті і по полуденній лінії.
2. Навчитися закріплювати стрічки геліографа у відповідності до пори року.
3. Обробити експоновані стрічки геліографа, тобто визначити тривалість сонячного саява за кожну годину (з точністю до 0,1 год.) і підрахувати тривалість сонячного саява за день.
4. Результати обробки записати в таблицю за формою:



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Дата	Години	Тривалість сонячного сяйва за день, год.
	3-4,4-5,5-6,6-7,7-8, .....,19-20,20-21,21-22	

*Звіт про виконання завдання повинен складатися із схеми балансоміра, результатів вимірювань і їх обробки, короткого опису пунктів завдання.*



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування





## 4. ТЕМПЕРАТУРА ҐРУНТУ І ПОВІТРЯ ТА МЕТОДИ ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

Поглинута сонячна радіація перетворюється в тепло. Вона частково витрачається на нагрівання приземного шару повітря і на випаровування, а частково передається в шари ґрунту, що лежать нижче.

Атмосфера відносно слабо поглинає сонячну радіацію. Атмосферне повітря дуже слабко нагрівається сонячними променями. Основне джерело нагрівання нижніх шарів атмосфери – це тепло від земної поверхні.

У метеорології переважно застосовують для вимірювання температури шкалу Цельсія ( $^{\circ}\text{C}$ ) і шкалу Фаренгейта ( $^{\circ}\text{F}$ ). На шкалі Цельсія (міжнародна шкала) точка танення льоду позначена  $0^{\circ}\text{C}$ , а точка кипіння води  $100^{\circ}\text{C}$ . Проміжки між ними розділені на 100 частин. На шкалі Фаренгейта точка танення льоду позначена  $32^{\circ}\text{F}$ , а точка кипіння води  $212^{\circ}\text{F}$ . Проміжок між точками розділено на 180 частин. У більшості країн застосовують шкалу Цельсія. Для переведення значень температури на одній шкалі в іншу використовують співвідношення

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 (^{\circ}\text{C} + 32) \quad \text{і} \quad ^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32) \quad (4.1) \quad (4.2)$$

У тропосфері, в цілому, температура повітря з висотою знижується. Іноді спостерігається (в деяких шарах атмосфери) інверсія – збільшення температури з висотою. Ізотермія – це коли температура з висотою не змінюється. Вертикальний градієнт температури – це зміна температури на кожні 100 м висоти. В середньому для тропосфери і в середньому за багаторічний період він складає  $0,65^{\circ}\text{C}$  на 100 м. Він постійно змінюється в часі і змінюється для різних шарів повітря. Вертикальний градієнт є додатнім, якщо температура повітря з висотою зменшується і він є від'ємним, якщо температура повітря з висотою зростає. При ізотермії він дорівнює  $0^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$ .

Температуру будь-якого середовища вимірюють термометрами. Існують рідинні, деформаційні та електричні термометри.

### 4.1. ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

На метеорологічних станціях температуру визначають за допомогою рідинних термометрів, а її зміну в часі фіксують деформаційними термометрами.

Принцип дії рідинних термометрів заснований на властивості рідини змінювати свій об'єм в залежності від зміни температури. В рідинних термометрах використовують ртуть або спирт, рідше – толуол. Ртутні термометри більш чутливі, але ртуть замерзає при температурі  $-38,9^{\circ}\text{C}$ . Спирт замерзає при температурі  $-117,3^{\circ}\text{C}$ , а точка кипіння спирту  $+78,5^{\circ}\text{C}$ .



(ртуті  $+356,9^{\circ}\text{C}$ ). Тому для вимірювання високих температур застосовують ртутні термометри, а для вимірювання низьких – спиртові.

Ртутні термометри мають деякі переваги: 1) ртуть з її поверхні в капілярі майже не випаровується; 2) ртуть не змочує скла. Все це дозволяє більш точно визначити температуру.

Ртутний рідинний термометр (рис.4.1) складається з таких основних частин: скляний резервуар циліндричної або кулеподібної форми 6; скляна трубка-капіляр 5, яка припаяна до резервуару, а протилежний кінець якої запаяний; шкала 2 з молочного скла, яку встановлюють за капіляр; скляна захисна оболонка 4; скляне сидло 3 для закріплення шкали; пробка 1 для утримання верхнього кінця шкали.

У покази термометрів вводять поправки, які приведені в повірочному свідоцтві термометра.

Відлік по усіх рідинних термометрах проводяться з точністю  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

При використанні рідинних термометрів необхідно дотримуватися таких правил.

1. Під час зняття показів термометра правильно оцінювати положення рівня стовпчика рідини в капілярі відносно шкали. В термометрах наповнених ртуттю, меніск опуклий, тому відлік виконується за рівнем дотичної до меніска. В термометрах, наповнених спиртом, меніск увігнутий, тому відлік виконують за рівнем дотичної до увігнутої частини меніска.
2. При знятті відліку точка зору спостерігача повинна бути на рівні рідини в капілярі.

Ціна поділки шкали в психрометричних і витяжних термометрах відповідає  $0,2^{\circ}\text{C}$ , в максимальних, мінімальних, колінчатих і термометрі-щупі відповідає  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

## 4.2. ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ РІДИННИМИ ТЕРМОМЕТРАМИ

Для вимірювань використовують строкові (психрометричні), максимальні і мінімальні термометри. Спостереження проводять в 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 і 21 годину за грінвіцьким поясом.

Психрометричний термометр ТМ-4 – ртутний з циліндричним або кулеподібним резервуаром. Ціна поділки  $0,2^{\circ}\text{C}$ , точність відліку  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Термометр встановлюють вертикально. Для цього у верхній частині є металевий ковпачок (рис.4.4).

Максимальний термометр ТМ-1 застосовують для вимірювання найвищої температури між строками спостережень. Це – ртутний термометр з циліндричним (або кулеподібним) резервуаром. Межі шкали можуть бути від  $+51$  ( $+71^{\circ}\text{C}$ ) до  $-36$  ( $-21^{\circ}\text{C}$ ).

При виготовленні термометра в дно резервуара 1 впаюють скляний штифт 2, верхній кінець якого входить в капіляр 3 (рис.4.2). Тому вихід з резервуару дуже звужений. При підвищенні температури ртуть в резервуарі розширюється і підіймається по капіляру тому, що більше сил тертя в місці звуження. При зниженні температури ртуть починає зменшуватися в об'ємі. Але ртуть в капілярі не може повернутися в резервуар тому, що в місці звуження сили тертя перевищують сили зчеплення ртуті. Тому у вузькій

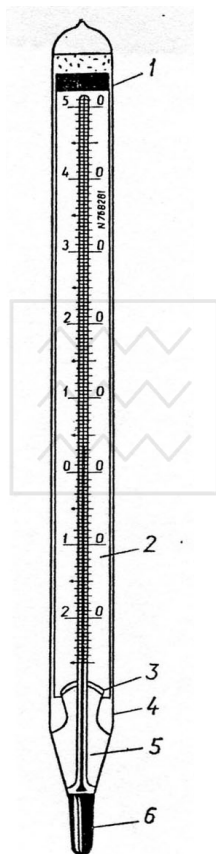


Рис. 4.1. Термометр рідинний[2]

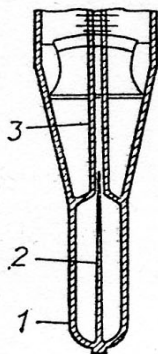


Рис. 4.2. Термометр максимальний [2]

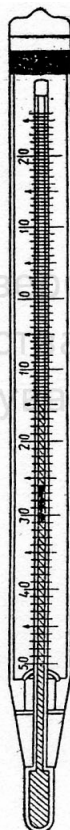
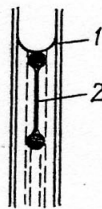


Рис. 4.3 Термометр мінімальний [2]





частині капіляру проходить розрив ртуті. Її стовпчик, який був у капілярі до початку зниження температури, залишається в ньому, показуючи максимальне значення температури.

Після відліку термометр струшують декілька разів. При цьому надлишкова частина ртуті скидається в резервуар.

Максимальний термометр встановлюють горизонтально. При відліку рекомендується злегка підняти кінець термометра, який є протилежним до резервуару, тому що ртуть в капілярі може легко відходити від резервуару.

Мінімальний термометр ТМ-2 застосовують при вимірюваннях найнижчої температури між строками спостережень. Це – спиртовий термометр, межі шкал можуть бути від  $+21(+30^{\circ}\text{C})$  до  $-41(-75^{\circ}\text{C})$ . Резервуар термометра циліндричний (рис.4.3). Капіляр на кінці, протилежному резервуару, має розширення, в якому збирається спирт при підвищенні температури за останню поділку шкали.

Мінімальні покази за термометром визначають за легким штифтом 2 (рис.4.3), який виготовлено з темного скла з потовщеннями на кінцях. При вертикальному положенні термометра (резервуар угору) штифт вільно переміщається в спирті, але не виходить з нього тому, що завдяки своїй легкості не може прорвати поверхневу плівку 1, яка обмежує меніск спирту.

Штифт підбрано так, що сили його тертя по стінках капіляра більші, ніж сили розширення спирту і менші, ніж сили поверхневого натягу плівки. Тому при підвищенні температури, спирт розширюється і вільно обтікає штифт. При пониженні температури, як тільки поверхнева плівка дійде до штифта, останній переміщується разом із спиртом в сторону резервуару. Штифт рухається до моменту, поки температура знижується. При підвищенні температури рух штифта припиняється. Положення штифта показує мінімальну температуру між строками спостережень. Відлік беруть по положенню кінця штифта, протилежного резервуару.

Після відліку термометр повертають резервуаром угору і очікують до тих пір, поки штифт дійде до меніска спирту. Надалі термометр встановлюють в горизонтальному положенні; після цього він підготовлений до наступного спостереження.

Всі термометри розміщують в психрометричній будці (рис.4.5 і 4.6). Вона захищає термометри від сонячної радіації, теплового випромінювання Землі, атмосферних опадів і вітру. Будка встановлюється на дерев'яну або металеву підставку 2 висотою 175 см, що дозволяє розміщувати резервуари психрометричного термометра на висоті 2 м. Будка має стінки з подвійних жалюзі, планки яких розташовані під кутом  $45^{\circ}$  до горизонту. Будка орієнтується дверцятами на північ, що дозволяє вберегти термометри від падіння сонячних променів під час відліку температури.

Термометри встановлюють в будці на металевому штативі 2 (рис.4.4). Психрометричні термометри закріплюють вертикально. Температуру повітря

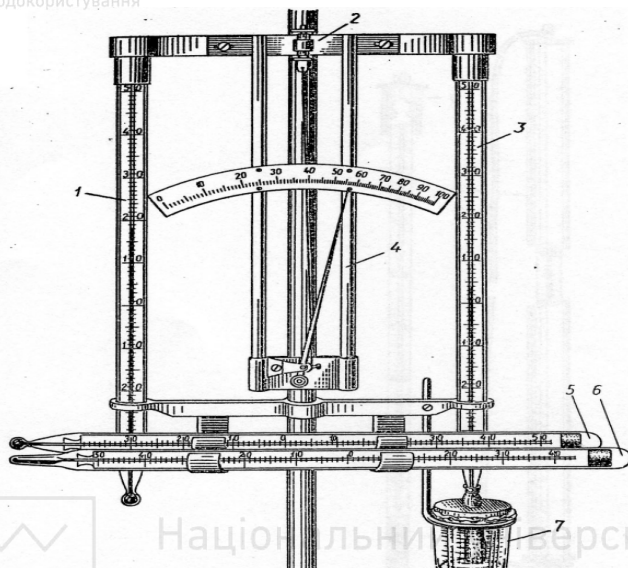


Рис. 4.4. Установка термометрів в психрометричній будці [2]

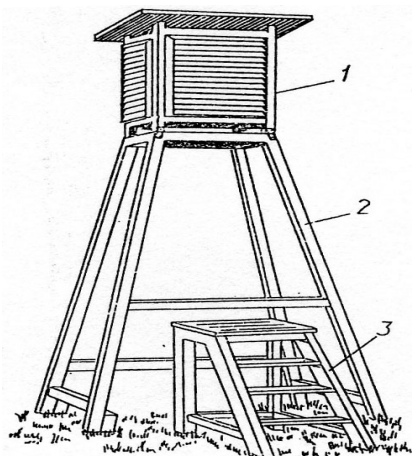


Рис. 4.5. Психрометрична будка [2]

визначають за так званим «сухим» термометром 1, який встановлюють зліва. Максимальний термометр встановлюють майже горизонтально з невеликим



нахилом в бік резервуара. Мінімальний термометр 6 укладають строго горизонтально. Обидва термометри закріплюють на спеціальних перекладах внизу штатива і розміщують резервуарами на схід.

Для вимірювання температури повітря в польових умовах використовують сухий термометр аспіраційного психрометра та термометр-пращ.

Термометр аспіраційного психрометра відрізняється меншими розмірами і формою резервуара. Він – ртутний з ціною поділки шкали  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Являє собою частину аспіраційного психрометра, який застосовують при визначенні характеристик вологості повітря (опис приладу буде наведено нижче).

Термометр-пращ ТМ-8 застосовують у польових умовах, коли висока точність показів є не обов'язковою. Він складається (рис.4.7) з термометра 1 і футляра 2. До термометра прив'язують шнур 3.

Термометр являє собою товстостінну трубку з вузьким капіляром і резервуаром, видутим в кінці цієї ж трубки. Безпосередньо на зовнішній стороні трубки нанесена шкала через  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Протилежна стінка термометра покрита молочним склом. На верхньому кінці термометра є кільце, до якого прив'язують шнур.

При спостереженнях термометр обертають за шнур в горизонтальній площині, на висоті витягнутої руки, протягом 2-3 хв. Після цього шнур намотують на вказівний палець і швидко роблять відлік. Спостерігач при цьому повинен стати спиною до Сонця і тримати термометр в тіні.

#### **4.3. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ДЕФОРМАЦІЙНИМ ТЕРМОМЕТРОМ**

До деформаційних термометрів належать термографи (М-16). Вони використовуються для безперервного запису змін температур повітря. Принцип дії побудовано на властивості твердих тіл змінювати лінійні розміри в залежності від зміни температури. Він складається (рис.4.8) з прийомної, передавальної та реєстрової частин.

Прийомна частина – це увігнута біметалева пластина 6, виготовлена з металів з різним термічним коефіцієнтом розширення (мідь і залізо або інвар і немагнітна сталь). Нерухомий кінець біметалевої пластини кріпиться до рами 5, що знаходиться на зовнішній стінці корпусу. Вільний кінець пластини може переміщуватися.

Передавальна частина – це система важелів, що з'єднані з колінчатим валом. До вільного кінця біметалевої пластини прикріплений важіль 7, який з'єднаний тягою 8 з важелем 3 колінчатого валу. Другим важелем колінчатого валу є стрілка 2, яка закінчується пером.

Реєстрова частина – це перо, барабан з паперовою стрічкою. Барабан 1 обертається за допомогою годинникового механізму (рис. 4.9). За швидкістю обертання барабану виділяють добові і тижневі термографи.

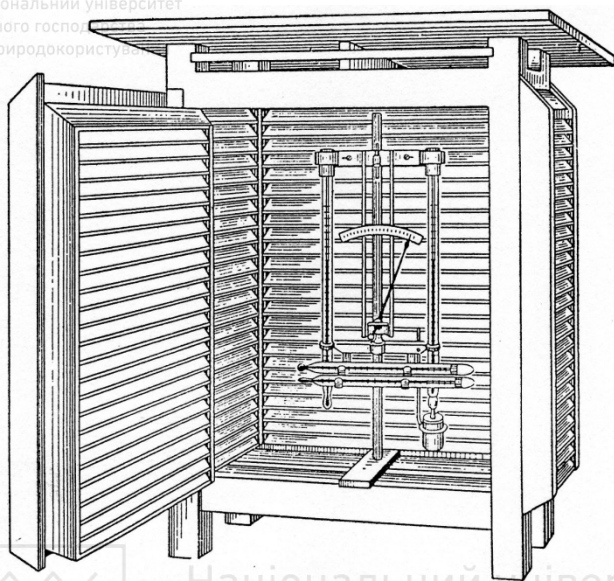


Рис. 4.6. Психрометрична будка  
(внутрішній вид і розташування приладів)

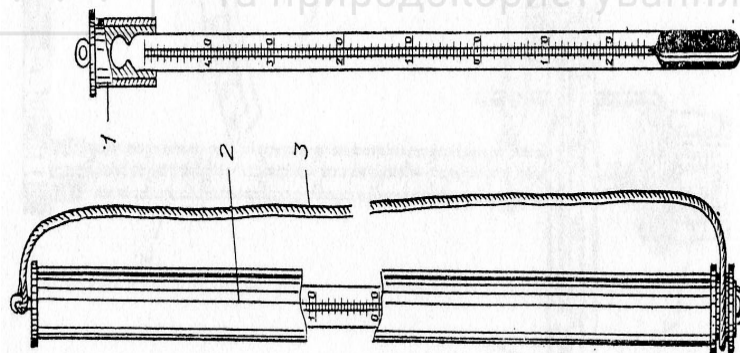


Рис. 4.7. Термометр-пращ з футляром [2]

На стрічці нанесена шкала градусів, горизонтальні лінії і шкала часу, вертикальні дуги (рис. 4.10). Перші нанесені через  $1^{\circ}\text{C}$ , а другі – через 15 хвилин на добовій стрічці і через 2 години на тижневій.



Термограф встановлюють в жалюзійній будці. Вона розташовується на відстані 5 - 6 м від психрометричної будки.

Перед встановленням термографа годинник заводять до упору. На барабан надягають стрічку, на звороті якої записують дату і час зміни стрічки. Для закріплення стрічки до барабана застосовують спеціальну пружину. Барабан насаджують на вісь корпусу і до нього підводять стрілку з пером. Установку пера на час виконують поворотом барабана. Установку на температуру виконують зміною положення біметалевої пластини, використовуючи гвинт 4. Термограф – це відносний прилад. Покази термографа порівнюють з показами психрометричного термометра.

Обробка стрічки термографа проводиться в такому порядку. Спочатку в спеціальній таблиці записують покази термографа за кожну годину. Надалі в таблиці записують покази за психрометричним термометром в строки спостережень. Визначають різницю між показами термометра і термографа в строки спостережень, яка є поправкою в ці строки. Шляхом прямолінійної інтерполяції визначають величину поправок на кожну годину спостережень. Дійсне значення температури повітря для кожної години знаходять як алгебраїчну суму показів термографа і поправки. Приклад обробки стрічки термографа наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Зразок обробки стрічки термографа [2]

Час спостережень, год.	09	10	11	12
Покази термографа, °C	18.6	20.8	21.6	24.0
Покази психрометричного термометра, °C	18.8			23.6
Поправка в строки спостережень, °C	+0.2			-0.4
Поправка в кожну годину спостережень, °C	+0.2	0.0	-0.2	-0.4
Виправлені покази термографа, °C	18.8	20.8	21.4	23.6

#### 4.4. ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ҐРУНТУ РІДИННИМИ ТЕРМОМЕТРАМИ

Спостереження за температурою ґрунту складається з вимірювання температури поверхні ґрунту і температури більш глибоких його шарів.

##### 4.4.1. ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВЕРХНІ ҐРУНТУ

Температура на поверхні ґрунту вимірюється трьома термометрами: строковим; мінімальним; максимальним. Строковий термометр (рис.4.1) застосовують для вимірювання температури поверхні ґрунту у строки



спостережень, а максимальний і мінімальний термометри – для визначення найбільш високої та найбільш низької температури між строками спостережень. Будова строкового, максимального і мінімального термометрів, які застосовують для вимірювання температури поверхні ґрунту, наведена в п. 4.2.

Усі три термометри встановлюють в північній частині метеорологічної площадки на відкритій ділянці розміром 4×6 м (рис.4.11). Попередньо з ділянки знімають рослинний покрив і ґрунт спускають. Усі три термометри розміщують горизонтально в середині ділянки, резервуарами на схід, на відстані 10-15 см один від одного в невеликих заглибленнях, які влаштовують легким втискуванням термометрів в ґрунт. Резервуари повинні щільно стикатися з ґрунтом і бути наполовину в нього занурені. Для того, щоб не ущільнювати ґрунт біля термометрів, для підходу до них під час відліку, з північної сторони кладуть рейковий настил 3.

Вдень, у літній період мінімальний термометр забирають з ділянки, оскільки верхня межа шкали в нього менша, ніж може бути температура ґрунту. За наявності снігового покриву усі три термометри розміщують на поверхні снігу.

#### **4.4.2. ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ҐРУНТУ НА РІЗНИХ ГЛИБИНАХ**

Для вимірювання застосовують термометри Савінова, витяжні термометри і термометр-щуп.

Термометри Савінова (колінчаті термометри ТМ-5) служать для вимірювання температури ґрунту на глибинах 5, 10, 15 і 20 см. Колінчаті термометри складають комплект із чотирьох ртутних термометрів з циліндричними резервуарами (рис. 4.12).

Такі термометри вигнуті під кутом 135° трохи вище резервуара з ртуттю (утворюються «коліно»). Довжина термометрів різна і відповідає глибині їх установки. Нижня частина скляної захисної оболонки від резервуару до початку шкали засипана піском або золою, над якою розміщена вата із сургучними перемичками. Це дозволяє виключити конвекційні токи повітря в скляній оболонці, які можуть виникнути внаслідок різниці температури ґрунту на різних глибинах. Шкала термометра виготовлена з молочного скла і має поділки 0,5°C.

Термометри Савінова встановлюють на тій же ділянці, де вимірюють температуру поверхні ґрунту. Їх встановлюють на 20 см на захід від надґрунтових термометрів, на відстані біля 10 см один від одного, на глибинах 5, 10, 15 і 20 см.

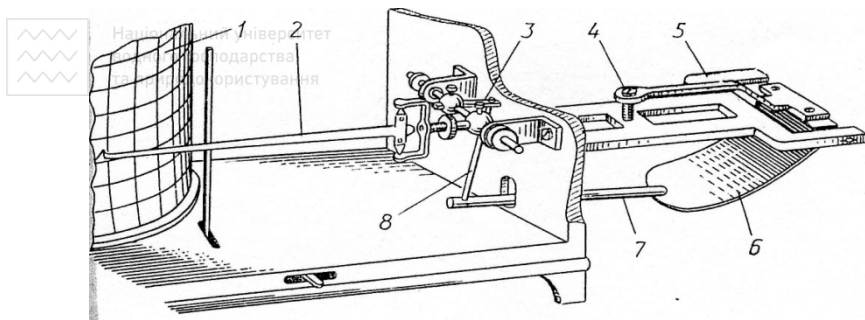


Рис. 4.8. Схема термографа [2]

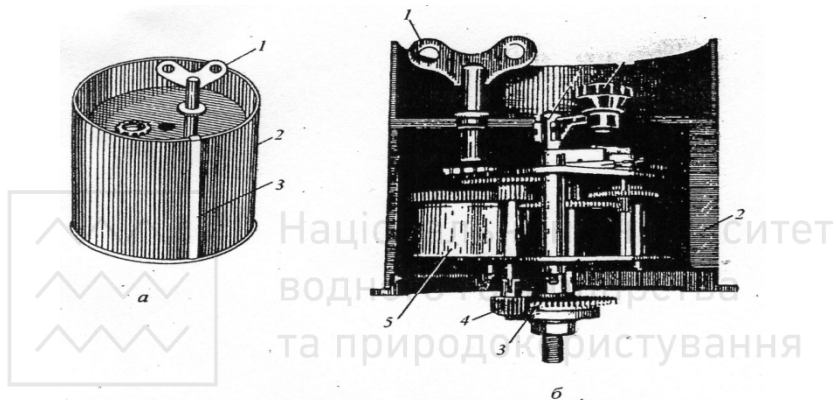


Рис. 4.9. Барабан з годинниковим механізмом: а – загальний вигляд; 1 – заводний ключ; 2 – корпус барабана; 3- жазивна пружина; б – розріз: 3 – нерухома шестерня; 4 – шестерня, яка обертається годинниковим механізмом (трибка); 5- барабан з пружиною [4]

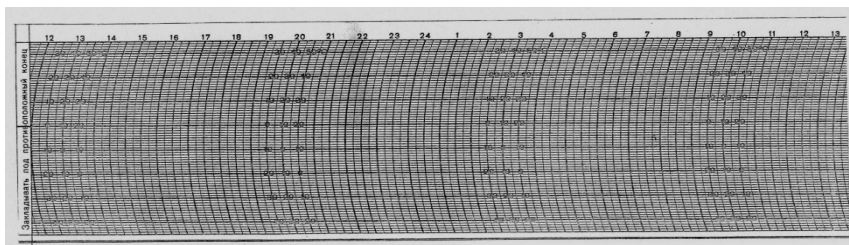


Рис. 4.10. Стрічка термографа

У напрямку із сходу на захід ( рис. 4.11) колінчаті термометри встановлюють з таким розрахунком, щоб їх резервуари знаходилися на заданих глибинах в горизонтальному положенні, а верхні частини були над поверхнею ґрунту (рис. 4.12). Для цього викопують траншейку у вигляді

трапеції ABCD. Північна сторона АВ траншейки вертикальна. У ній на відповідній глибині (5, 10, 15, 20 см) роблять заглиблення, паралельні поверхні ґрунту.

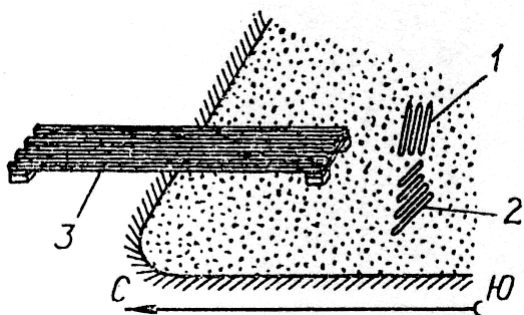


Рис. 4.11. Установка ґрунтових термометрів [2]



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

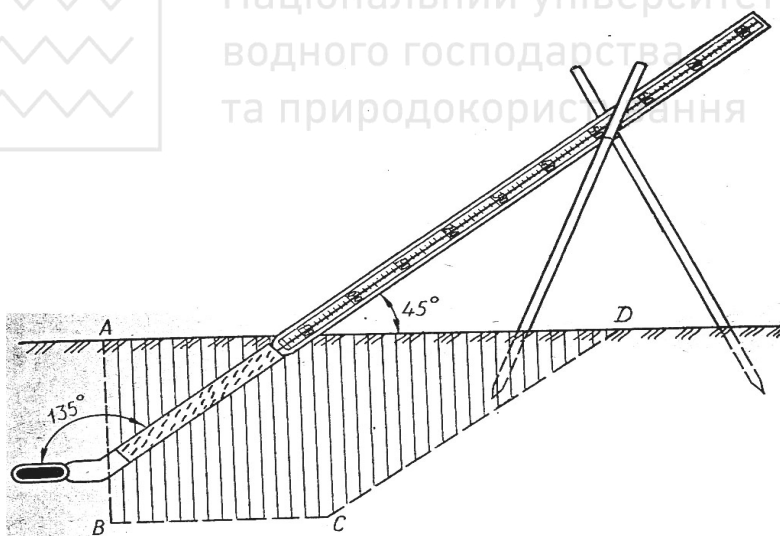


Рис. 4.12. Термометр Савінова [2]

В ці заглиблення встановлюють резервуари термометрів. Для контролю установки термометрів необхідно перевірити кут нахилу шкали термометра до поверхні ґрунту. Цей кут повинен бути  $45^\circ$ . Після цього траншейку засипають ґрантом, зберігаючи послідовність витягнутих пластів. Для



більшої стійкості, виступаючу частину термометрів закріплюють дерев'яними рогатками.

Спостереження за термометрами Савінова виконують тільки в теплий період року. Їх встановлюють весною і прибирають восени, тому що в промерзлому ґрунті термометри легко ламаються. Відлік за термометрами виконують послідовно, починаючи з термометра, встановленого на глибині 5 см.

Витяжні термометри (глибинні термометри ТМ-10) використовують для визначення температури ґрунту на глибинах від 0,5 до 3,2 м. (рис. 4.13). Це – ртутні термометри зі встановленою шкалою і поділкою 0,2°C з циліндричним або шароподібним резервуаром. Випускають комплекти з 5 або 8 термометрів. В першому випадку термометри встановлюють на глибинах 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 м. В другому випадку – на глибинах 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,2; 1,6; 2,4 та 3,2 м.

Кожен термометр встановлений у пластмасову оправу, яка має металевий наконечник і проріз для шкали. Резервуар термометра оточений мідними ошурками, які надають термометру властивість протягом деякого часу зберігати попередні покази при переносі термометра в інші температурні умови (тобто зберігати температуру ґрунту, виміряну на глибині установки). Оправа з термометром кріпиться до дерев'яної жердини, яка має на протилежному кінці ковпачок з кільцем.

Ґрунтові витяжні термометри встановлюють в захисній ебонітовій трубці. Для установки труб в ґрунті роблять, за допомогою бура, вертикальні свердловини з діаметром на 3-5 мм більше, ніж зовнішній діаметр, і які відповідають глибині установки. Витяжні термометри встановлюють на відкритому місці з природним покривом, на відстані 3-4 м від термометрів Савінова. Термометри розташовують в один ряд через кожні 50 см в напрямку зі сходу на захід (рис.4.13). Верхні кінці труб повинні виступати над поверхнею ґрунту на висоту, яка перевищує середню висоту снігового покриву в даному пункті. Для збереження природного покриву біля термометрів з північної сторони роблять спеціальний відкидний поміст, з якого виконують відлік.

При відліку температури ґрунту дерев'яну жердину з термометром виймають із захисної ебонітової трубки на відкриту поверхню. Температуру ґрунту на глибині до 80 см вимірюють в обов'язкові метеорологічні строки. Відлік по термометрах на глибинах 80 см і більше виконують один раз на добу тому, що із цієї глибини добові коливання температури не спостерігаються.

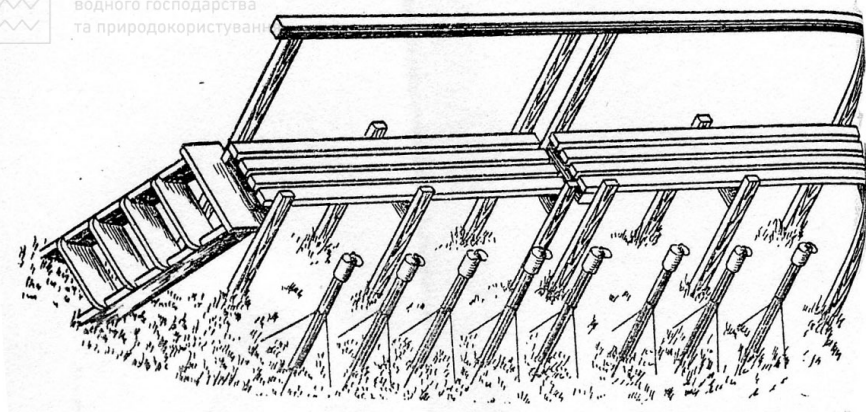


Рис 4. 13. Установка витяжных термометрів [2]

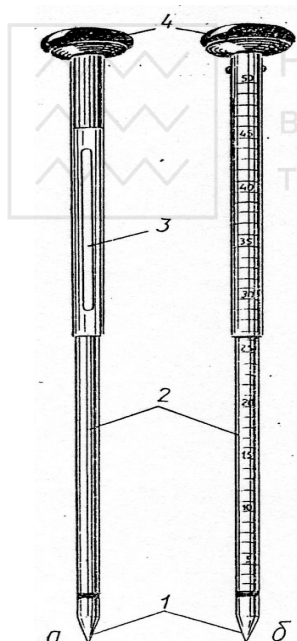


Рис. 4.14. Термометр-щуп [2]

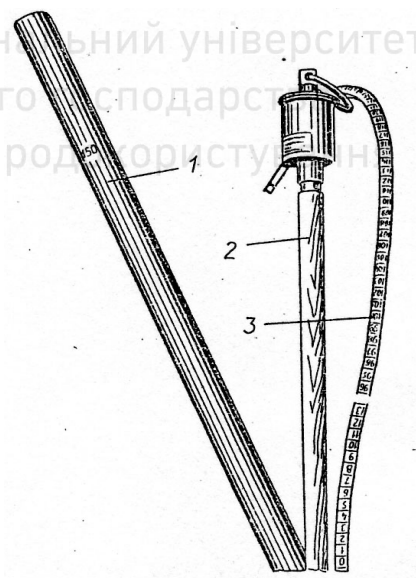


Рис. 4.15. Мерзлотомір Даниліна [2]



Термометр-щуп (рис.4.14) використовують для вимірювання температури ґрунту в польових умовах на глибині до 50 см. У цьому приладі використовують рідинний толуоловий термометр 3, який розміщують в оправі 2 з конусоподібним наконечником. У ньому знаходиться резервуар термометра. Контакт між ґрунтом і резервуаром термометра досягається за допомогою мідних або латунних ошурок, засипаних між наконечником і резервуаром. У верхній частині оправі є проріз, через який видно шкалу термометра. На протилежній стороні оправі нанесені поділки через 1 см, які дозволяють встановити термометр на задану глибину. Верхній кінець оправи закінчується ручкою 4, за допомогою якої термометр занурюють в ґрунт. Найменша глибина занурення термометра в ґрунт – 3 см, найбільша – 30 см. Час витримки прийнятної частини термометра в ґрунті 10 - 15 хв., і після цього беруть відлік температури. Використовують термометр-щуп тільки в теплий період року.

Мерзлотомір Даниліна використовують для визначення глибини промерзання ґрунту (рис.4.15). Приймальна частина мерзлотоміра - гумова трубка 3, довжиною 150 або 300 см з поділками в сантиметрах. Один кінець трубки приєднаний до дерев'яної штанги 2, яка закінчується ковпачком з кільцем, а інший – закритий гумовою пробкою. В комплект мерзлотоміра входить захисна трубка 1, яка закінчується латунним наконечником.

Мерзлотомір встановлюють до початку приморозків на ділянці біля витяжних термометрів. Для установки захисної трубки готують свердловину глибиною на 10 см більше довжини гумової трубки. Захисну трубку опускають в свердловину, проміжки між стінами свердловини і трубкою щільно засипають землею. У встановлену захисну трубку опускають гумову трубку, яка заповнена місцевою (колодязною) водою.

Спостереження по мерзлотоміру починають з моменту настання від'ємних температур і продовжують до повного відтаювання ґрунту. Глибину промерзання визначають по довжині стовпчика води, яка замерзла в трубці (з точністю до 0,5 см). Для цього трубку прощупують пальцями.

Для визначення глибини проникнення температури 0°C в ґрунт використовують також покази витяжних термометрів. У холодний період року найнижчі температури спостерігаються ближче до поверхні ґрунту, з глибиною температура зростає. На деякій глибині температура ґрунту буде дорівнювати 0°C. Цю глибину визначають шляхом інтерполяції.

**П р и к л а д 1.** Визначити глибину проникнення температури 0°C в ґрунт, коли покази витяжних термометрів на глибинах 20, 40, 80 і 160 см складають, відповідно, -2,2; -0,8; +1,2; +3,9°C [2].

Визначають, на скільки сантиметрів необхідно опуститися нижче глибини у 40 см, щоб температура підвищилася на 0,8°C, тобто досягла 0°C. На відстані 40 см (від глибини 40 см до 80 см) температура зростає з -0,8°C до +1,2°C, тобто на +2°C. З пропорції  $40 \text{ см} / 2^\circ\text{C} = X / 0,8^\circ\text{C}$  (де X – відстань, на яку необхідно опуститися з глибини 40 см до глибини, де температура



дорівнює  $0^{\circ}\text{C}$ ) впливає, що  $X = (40 - 0,8) / 2 = 16$  см. Таким чином, глибина проникнення температури  $0^{\circ}\text{C}$  складає :  $56 \text{ см} = 40 \text{ см} + 16 \text{ см}$ .

### Завдання 1. Ознайомлення з рідинними термометрами

Для виконання завдання необхідно мати термометри: строковий; максимальний; мінімальний; колінчаті; витяжні; психрометричний і термометр-прац.

1. Ознайомитися з будовою строкового, максимального і мінімального термометрів. Визначити ціну поділки шкали кожного з цих термометрів та межі шкали.
2. Зробити відлік по строковому термометру і ввести в його покази інструментальну поправку. Записати результати в таблицю.
3. Ознайомитися з методикою спостережень за максимальним термометром. Для цього нагріти його до  $30 - 35^{\circ}\text{C}$  і після 3 – 4 хв. зробити відлік та записати його. Надалі взяти термометр за середину (резервуаром униз) і струсити його, доки покази не будуть відповідати показам строкового термометра. Зробити повторний відлік, ввести поправки і записати результати в таблицю.
4. Ознайомитися з методикою спостережень за мінімальним термометром. Для цього необхідно охолодити його резервуар, прослідкувати за рухом штифта під час охолодження. Дочекається, коли термометр прийме початкову температуру. Зробити відлік, ввести поправки і записати результат.
5. Ознайомитися з будовою і способом установки термометрів Савінова; визначити ціну поділки шкали цих термометрів та її межі; виконати відлік; внести в нього поправки і записати результат в таблицю.
6. Ознайомитися з будовою і способом установки витяжних термометрів (на ділянці); виконати вимірювання температури ґрунту на визначеній глибині; у відлік за термометром внести поправки і записати результат у по формі:

Назва термометра	Відлік*	Поправка	Виправлена величина
Строковий			
Максимальний: до струшування після струшування			
Мінімальний: штифт спирт			

\*Під час спостережень усі термометри повинні розташовуватися горизонтально.



7.

Ознайомитися з будовою психрометричної будки і установкою в ній приладів; розглянути психрометричний термометр; зробити відлік і ввести поправку. Аналогічно зробити з термометром аспіраційного психрометра і термометром-пращем. Результати записати в таблицю.

*Звіт про виконання завдання повинен складатися із схем термометрів, оброблених записів показів термометрів і короткого опису пунктів завдання.*

## **Завдання 2. Ознайомлення з термографом**

*Для виконання завдання необхідно мати розбірний і діючий екземпляр добового термографа, невикористані стрічки термографа, чорнила.*

1. Ознайомитися з будовою термографа, дією прийомної, передавальної та записуючої частин.
2. Ознайомитися з порядком підготовки діючого термографа до роботи. Для цього необхідно виконати такі операції:
  - а) відвести за допомогою арретіра перо від барабана і зняти барабан з осі;
  - б) витягти з гнізда барабана пружину, яка закріплює стрічку;
  - в) накласти на барабан чисту стрічку (лівий її край повинен накладатися на правий як раз в тому місці, де вставляють пружину);
  - г) суміщають горизонтальні лінії на стрічці, закріплюють стрічку пружиною;
  - г) заводять годинниковий механізм барабана і насаджують барабан на вісь;
  - д) регулюють положення пера, тобто встановлюють його на поділки стрічки, що відповідає показам психрометричного термометра;
  - е) перевіряють натиск пера на стрічки;
  - є) наповнюють перо чорнилами, за допомогою аретира підводять перо до стрічки;
  - ж) повертають барабан навколо осі для того, щоб початок запису на стрічці відповідав показам годинника в цей момент;
  - з) записують години і хвилини установки на лівому верхньому куту стрічки;
  - і) прибирають «мертвий» хід обертання барабана проти годинникової стрілки.
3. Обробляють стрічку добового термографа за методикою, що наведена вище. Результати обробки викладають в табличній формі (табл. 4.1). Визначають за допомогою обробленої стрічки максимальну і мінімальну температуру повітря і час їх настання.

*Звіт про виконання завдання повинен складатися із схеми термографа; записів з даними обробки стрічки, короткого опису відповідних пунктів завдання.*





## 5. ВОЛОГІСТЬ ПОВІТРЯ І МЕТОДИ ЇЇ ВИЗНАЧЕННЯ

Вологість повітря визначається кількістю водяної пари, що знаходиться в повітрі. Кількість водяної пари дуже мінлива і коливається від майже нуля і до 4% по об'єму (відповідно при холодних полярних умовах і при теплій вологій погоді). Кількість водяної пари дуже швидко змінюється з висотою.

Водяна пара має пружність (тиск). Тиск водяної пари пропорційний її густині (масі в одиниці об'єму) і її абсолютній температурі. Пружність водяної пари, як і атмосферний тиск, виражають в гектопаскалях (гПа) або мілібарах (мб).  $1 \text{ гПа} = 1 \text{ мб}$ . Чим більше водяної пари в одиниці об'єму повітря, тим більша її пружність. Вона при даній температурі може збільшуватися тільки до деякого граничного значення, яке називають максимальною пружністю водяної пари (Е) або пружністю насиченої водяної пари (пружністю насичення). Вона залежить від температури повітря, від фазового стану випарної поверхні, тобто від агрегатного стану води, кривизни випарної поверхні та від інших факторів. В табл. 5.1 наведені значення пружності насичення водяної пари над плоскою поверхнею води ( $E_B$ ) і льоду ( $E_L$ ) при різних значеннях температури повітря.

Максимальна пружність водяної пари [2]

t, °C	-30	-20	-15	-12	-10	-5	0	10	20
$E_B$	0,51	1,25	1,91	2,44	2,86	4,21	6,11	12,27	23,37
$E_L$	1,38	1,03	1,65	2,17	2,60	4,01	6,11	-	-
$\Delta E$	0,13	0,22	0,26	0,27	0,26	0,20	0,00	-	-

При температурі повітря нижче  $0^\circ\text{C}$ ,  $E_B > E_L$ . Різниця пружності  $\Delta E$  дорівнює нулю при температурі повітря  $0^\circ\text{C}$  і більше; із зниженням температури повітря  $\Delta E$  швидко зростає і досягає максимуму при  $t = -12^\circ\text{C}$ , а надалі повільно зменшується.

Вологість повітря може бути виражена такими основними характеристиками.

Парціальний тиск водяної пари (е) або пружність водяної пари - це тиск, який мала б водяна пара, що знаходиться в газовій суміші повітря, якби вона одна займала об'єм, що дорівнює об'єму суміші при цій же температурі. Одиниці вимірювання в гПа і мб. Для стану насичення  $e = E$ .

Абсолютна вологість або густина водяної пари (а) – це маса водяної пари в одиниці об'єму повітря. Визначається в гПа, в  $\text{кг}/\text{м}^3$  або  $\text{г}/\text{м}^3$ . Коли відома пружність водяної пари в гПа (е) і абсолютна температура повітря в Кельвінах (Т), то



$$a = 0,217 \frac{e}{T} \quad \text{або} \quad a = 217 \frac{e}{T} . \quad (5.1)$$

(5.2)

У першому випадку (а) виражено в  $\text{кг/м}^3$ , а в другому – в  $\text{г/м}^3$ .

Масова частка водяної пари або питома вологість повітря ( $S$ ) - це відношення маси водяної пари ( $m_n$ ) до маси вологого повітря ( $m_n + m_c$ , де  $m_c$  - маса сухого повітря) в тому ж об'ємі. Одиниці вимірювання в  $\text{г/кг}$  або в  $\text{г/г}$  і в  $\text{кг/кг}$ .

$$S = \frac{m_n}{m_n + m_c} = \frac{a}{\rho_v} = 622 \frac{e}{P} \quad (5.3)$$

або

$$S = 0,622 \frac{e}{P} \quad (5.4)$$

де  $\rho_v$  – густина вологого повітря,  $P$  – атмосферний тиск в  $\text{гПа}$ . У першому випадку ( $S_2$ ) виражається в  $\text{г/кг}$ , а в другому – в  $\text{кг/кг}$  і  $\text{г/г}$ .

Відношення суміші ( $W$ ) – це відношення маси водяної пари ( $m_n$ ) до маси сухого повітря ( $m_c$ ), з яким водяна пара перемішана в даному об'ємі, тобто

$$W = \frac{m_n}{m_c} = 622 \frac{e}{P - e} \quad (5.5)$$

або

$$W = 0,622 \frac{e}{P - e} . \quad (5.6)$$

У першому випадку ( $W$ ) визначається в  $\text{г/кг}$ , в другому – в  $\text{г/г}$  в  $\text{кг/кг}$ .

Відносна вологість повітря ( $f$ ) – це відношення фактичної пружності водяної пари ( $e$ ) до пружності насиченої водяної пари ( $E$ ) при даній температурі, тобто

$$f = \frac{e}{E} 100\% . \quad (5.7)$$

Визначається у відсотках, %.

Дефіцит тиску (вологи) або дефіцит насичення (вологості повітря), ( $d$ ) – це різниця між пружністю насиченої водяної пари ( $E$ ) при даній температурі і фактичною пружністю ( $e$ ), тобто

$$d = E - e . \quad (5.8)$$

Визначається в  $\text{гПа}$  і  $\text{мб}$ .

Точка роси ( $t_d$ ) – це температура, при якій водяна пара, що є в повітрі, досягає стану насичення при постійному тиску та її масовій частці, тобто –



це температура, при якій відносна вологість повітря досягає 100%. Визначається точка роси за значеннями пружності водяної пари.

Між розглянутими характеристиками вологості повітря існують визначені зв'язки. Тому за допомогою формул (або спеціальних таблиць, які називаються психрометричними) визначають одну із них, знаючи іншу.

Для вимірювання вологості повітря застосовують різні методи: абсолютний (або ваговий); за точкою роси; психрометричний; гігрометричний (або сорбційний). У метеорології застосовують останні два методи.

### 5.1. ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ ПСИХРОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

У психрометричному методі визначення вологості повітря засновано на показах двох однакових термометрів. Резервуар одного з термометрів увесь час (або на період спостережень) підтримується в змоченому (водою) стані (змочений термометр). З поверхні резервуара цього термометра проходить випаровування води. Його інтенсивність залежить від вологості, оточуючого повітря. Чим більш сухе повітря, тим інтенсивніше випаровування з резервуара «змоченого» термометра і тим нижче його покази. Різниця показів «сухого» і «змоченого» термометрів залежить від вологості повітря. За цією різницею можна визначити характеристики вологості повітря.

Сухий термометр показує температуру повітря, а змочений – власну температуру, яка залежить від інтенсивності випаровування вологи з поверхні його резервуара.

Вологість повітря психрометричним методом визначається за психрометричною формулою. Вона виводиться з рівності між надходженням і витратою тепла з поверхні змоченого термометра.

Витрату тепла, що витрачається на випаровування з поверхні змоченого термометра, визначають за формулою Дальтона

$$Q_1 = \frac{C(E_1 - e)}{P}, \quad (5.9)$$

де  $Q_1$  – кількість тепла, втраченого на випаровування з поверхні резервуара термометра в одиницю часу;  $E_1$  – максимальна пружність водяної пари при температурі випарної поверхні, тобто змоченого термометра;  $e$  – пружність водяної пари, що знаходиться в повітрі;  $P$  – атмосферний тиск;  $C$  – коефіцієнт пропорційності.

Витрачаючи тепло на випаровування, термометр охолоджується. Виникає різниця температур резервуара термометра і оточуючого повітря.

В результаті до резервуара змоченого термометра з повітря починає надходити тепло. Його кількість ( $Q_2$ ) можна підрахувати за формулою Ньютона

$$Q_2 = B(t - t'), \quad (5.10)$$

де  $t$  – температура сухого термометра;  $t'$  – температура змоченого термометра;  $B$  – коефіцієнт пропорційності.

Визначення вологості повітря виконують при сталих показках змоченого термометра. Тому можна вважати, що надходження тепла до нього дорівнює витраті тепла на випаровування, тобто  $Q_1 = Q$  і звідки

$$\frac{C(E_1 - e)}{P} = B(t - t'). \quad (5.11)$$

З даної рівності визначають пружність водяної пари, тобто

$$e = E_1 - \frac{B}{C} P(t - t'). \quad (5.12)$$

Якщо позначити  $\frac{B}{C}$  через  $A$ , то отримаємо психрометричну формулу, за якою визначають вологість повітря психрометричним методом, тобто

$$e = E_1 - A P(t - t'), \quad (5.13)$$

де  $A$  – постійна психрометра (психрометричний коефіцієнт), яка залежить головним чином від швидкості руху повітря біля резервуару термометра, а також від конструкції приладу.

В залежності від характеру випарної поверхні, тобто в залежності від того, що буде на поверхні змоченого термометра, або вода, або лід, психрометричну формулу записують у вигляді

$$e = E_{1B} - A P(t - t')(1 + 0,0015t'), \quad (5.14)$$

коли на поверхні резервуару змоченого термометра буде вода і у вигляді

$$e = E_{1л} - 0,88229 A P(t - t'), \quad (5.15)$$

коли на поверхні резервуару змоченого термометра буде лід.

У формулах (5.14) і (5.15)  $E_{1B}$  і  $E_{1л}$  – відповідно, максимальні пружності водяної пари над плоскою поверхнею чистої води і льоду при температурі змоченого термометра, які розраховані за залежностями



відповідно до «Технического регламента Всемирной Метеорологической Организации» [6];  $A$  – психрометричний коефіцієнт, який дорівнює  $7,947 \cdot 10^{-4} \text{град}^{-1}$ , що відповідає психрометричному термометру ГОСТ 15055 – 69, при швидкості вентиляції змоченого термометра 0.8 м/с.

Додатковий член  $(1 + 0,0015 t')$  у формулі (5.14) враховує залежність прихованої теплоти пароутворення від температури, а коефіцієнт 0,88229 у формулі (5.15) – відмінність питомої теплоти сублімації від питомої теплоти конденсації.

Для вимірювання вологості повітря психрометричним методом використовують станційний і аспіраційний психрометри.

Станційний психрометр складається з двох психрометричних термометрів ТМ – 4 з ціною поділки  $0,2^\circ\text{C}$ , з якомога близькими характеристиками. Термометри розміщують поряд у вертикальному положенні і закріплюють на штативі в психрометричній будці. Лівий термометр «сухий», а правий – «змочений» (рис. 4.4).

Резервуар змоченого термометра 3 щільно огорнутий шматочком батисту, нижній кінець якого занурений в стаканчик 7 з дистильованою водою. Стаканчик встановлюють в дротяному кільці, яке закріплено гвинтом на штативі. Для того, щоб краї стаканчика не заважали вільному обміну повітря і була виключена можливість утворення біля резервуару термометра повітря з підвищеною вологістю повітря, нижня поверхня резервуару повинна бути на 2 – 3 см над рівнем води в стаканчику, і на 2 см над кришкою стаканчика. Кришка повинна мати проріз, через який пропускають кінець батисту. Кришка виготовлена з цинку або скла і необхідна для захисту води від забруднення.

Важливим для забезпечення правильних показів психрометра є якість і стан батисту. Він дозволяє забезпечити випаровування вологи з поверхні змоченого термометра. Батист повинен мати необхідні психрометричні властивості. В психрометрі застосовують батист, який підіймає воду на 7-8 см за 15 хвилин.

Для забезпечення точних вимірювань необхідно правильно пов'язувати батист (рис 5.1). Для цього термометр закріплюють нерухомо (наприклад, вкладають в книгу). Надалі, підбирають шматок батисту і приміряють його до резервуару термометра. Батист повинен обгортати резервуар термометра тільки раз, при чому краї батисту повинні заходити один на одного не більше  $\frac{1}{4}$  кола резервуару. Після цього батист змочують дистильованою водою і в мокрому стані обгортають навколо резервуара термометра. Батист закріплюють петлями з ниток в двох місцях. Петлю міцно затягують над резервуаром і слабо зав'язують під резервуаром (рис.5.1) для того, щоб не порушити тягу води. При спостереженнях необхідно постійно слідкувати за чистотою батисту. Його рекомендують змінювати два рази на місяць, а у запилених місцях - значно частіше.

Після пов'язки батисту термометр встановлюють у психрометричній будці на штативі. Вільний кінець батисту опускають у стаканчик з дистильованою водою. Її необхідно підливати в стаканчик не пізніше, ніж за 30 хв. до спостереження для того, щоб до моменту відліку по психрометру вона мала температуру зовнішнього повітря і не впливала на покази змоченого термометра. В літній період, при високих температурах повітря, батист іноді не встигає подавати достатню кількість води до резервуару. В цьому випадку необхідно за 10-15 хв. до відліку зняти кришку, підняти стаканчик і занурити у воду резервуар термометра. Надалі знову помістити стаканчик на попереднє місце.

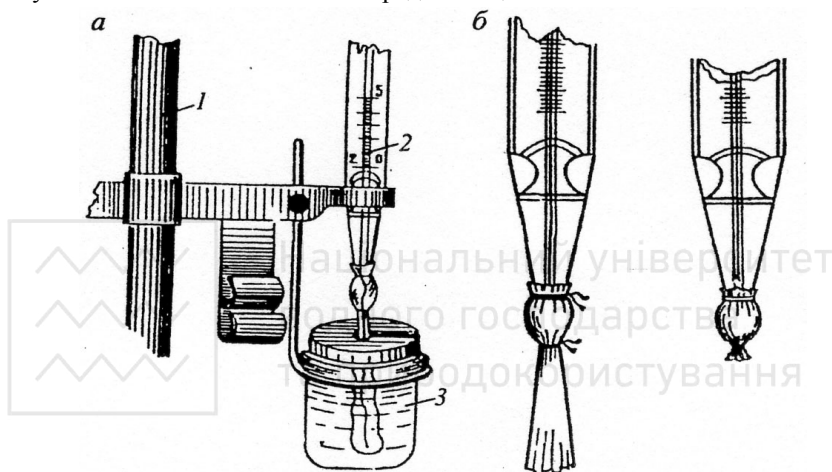


Рис. 5.1. Установка термометра в штативі станційного психрометра: а – установка термометра: 1 – штатив, 2 – термометр, 3- стаканчик з дистильованою водою; б - обв'язка резервуару термометра батистом при додатній температурі (зліва) і від'ємній температурі (справа) [4]

Восени, із настанням приморозків, батист змоченого термометра туго затягується ниткою під резервуаром. Його вільний кінець обрізають на 2-3 мм нижче резервуара (рис 5.1). Психрометричний стаканчик прибирають з будки в приміщення. Пов'язка батисту повинна бути обрізаною, поки спостерігаються від'ємні температури. Відлік за змоченим термометром проводять при температурах не нижче  $-10^{\circ}\text{C}$ . За 30 хв. до спостереження стаканчик з водою кімнатної температури приносять у психрометричну будку. Занурюють у воду резервуар термометра, обтягнутий батистом. Необхідно, щоб температура змоченого термометра піднялася на  $2-3^{\circ}\text{C}$  вище нуля. Це говорить, що уся стара льодова корка на батисті розтанула. Після цього стаканчик прибирають, будку закривають і через 30 хв. проводять відлік.



Коли вимірювання проводять при температурі нижче  $0^{\circ}\text{C}$ , то необхідно визначити, в якому стані знаходиться вода на батисті термометра. Вона може бути в твердому стані (лід) або в рідкому (переохолоджена вода). Для того, щоб визначити це, необхідно доторкнутися до батисту олівцем, на кінці якого є шматок льоду або снігу, і слідкувати за показами термометра. На батисті буде переохолоджена вода, якщо в момент дотику покази термометра змінюються (підвищаються). Від дотику з льодом вода перейшла в твердий стан (лід), при цьому виділилась теплота плавлення льоду, яка підвищила покази термометра. На батисті буде лід, якщо в момент дотику покази термометра не зміняться. В книжці спостережень обов'язково треба відмітити «лід» або «вода».

При температурі повітря нижче  $-10^{\circ}\text{C}$  відлік за змоченим термометром взагалі не виконують. При низьких температурах пружність водяної пари стає незначною. Найменші похибки у визначенні показів за змоченим термометром призводять до дуже великих похибок у визначенні характеристик вологості повітря. Якщо у відлік допущена похибка в  $0,1^{\circ}\text{C}$ , то при температурі повітря  $-30^{\circ}\text{C}$  похибка у визначенні відносної вологості повітря складає 18%; при  $-20^{\circ}\text{C}$  – 8%; при  $-10^{\circ}\text{C}$  – 4%; при  $0^{\circ}\text{C}$  – 2% і при  $10^{\circ}\text{C}$  – 1%.

Обчислення характеристик вологості повітря за показами психрометра можна виконувати за допомогою психрометричних формул при психрометричному коефіцієнті  $A = 0,0007947 \approx 0,0008 \text{ град}^{-1}$ . Враховуючи громіздкість розрахунків максимальної пружності водяної пари за залежностями «Технического регламента.....», у кожному конкретному випадку на метеорологічних станціях використовують психрометричні таблиці. Вони складені на основі цих формул. Способи користування цими таблицями наведено нижче (п. 5.3).

Аспіраційний психрометр МВ-4М призначений для вимірювання температури і вологості повітря в стаціонарних, експедиційних умовах, а також у промислових і побутових приміщеннях. Його застосовують при вимірюваннях серед рослин. Вологість можна вимірювати на будь-якому рівні без спеціальних захисних установок (будки).

Принцип дії аспіраційного психрометра такий же, як і у станційного. Але він має аспіратор (вентилятор), який утворює протяжку повітря біля резервуарів з постійною швидкістю  $2 \text{ м/с}$ .

Прилад має два однакових ртутних термометра 1 (рис.5.2) з резервуарами циліндричної форми. Межі шкал термометрів - від  $-31^{\circ}\text{C}$  до  $+51^{\circ}\text{C}$ , ціна поділки шкали –  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Термометри закріплені в спеціальній оправі, яка складається з трубки 5, планок 6, аспіратора 4. Трубка 5 роздвоюється донизу на дві трубки 8, в яких розміщені трубки 9. У них розміщені резервуари термометрів. Ці подвійні трубки захищають резервуари від нагрівання сонячними променями. Пластмасові кільця 7

ізолюють трубки від корпусу для того, щоб тепло від нього не передавалося резервуарам.

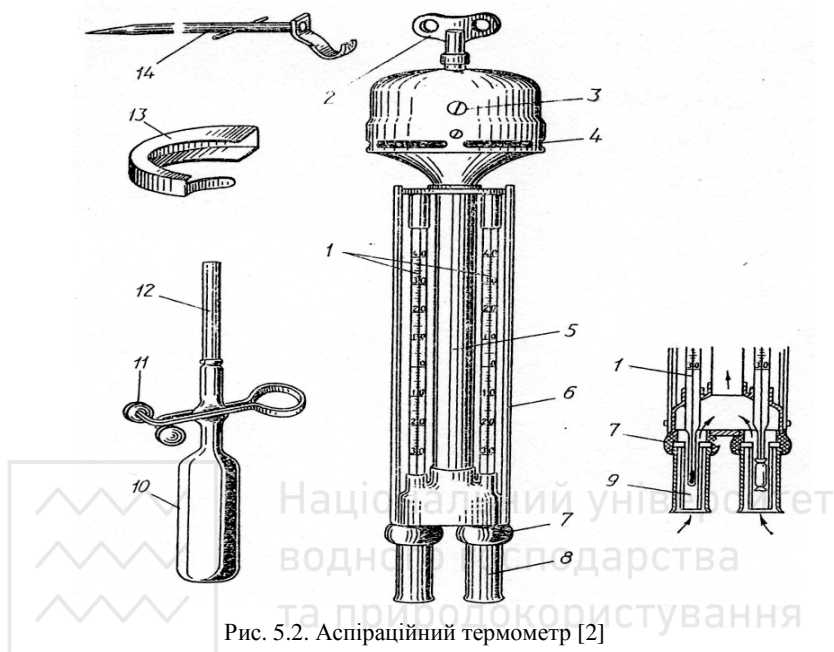


Рис. 5.2. Аспіраційний термометр [2]

Аспіратор 4 насаджений на верхній кінець трубки 5. В середині аспілятора знаходиться пружинний механізм вентилятора, який утворює рух повітря через трубки і біля резервуарів. Пружина заводиться ключем 2. У результаті роботи аспілятора зовнішнє повітря просмоктується біля резервуарів з постійною швидкістю.

Для вимірювання вологості повітря в замкнутих малодоступних камерах застосовують аспіратор М-34 з електродвигуном перемінного струму (127 в і 220 в). Розміри і зовнішній вигляд такий же, як і у звичайного психрометра, але пружинний механізм замінено електродвигуном.

Для кращого відбиття сонячних променів металеві частини аспіраційного психрометра нікельовані і відполіровані.

Психрометр підвішують на залізний крюк-підвіс 14, який вгвинчують на потрібну висоту у дерев'яний стовп.

При роботі з аспіраційним психрометром необхідно слідкувати за збереженням його полірування, за справністю трубок, що закривають резервуари і постійністю аспірації.





Для перевірки швидкості аспірації визначають швидкість обертання барабана пружини, встановленого в головці психрометра. Для цього заводять пружину і очікують, коли у віконечку 3 аспірагора з'явиться мітка, нанесена на барабан пружини. В цей момент вентилятор затримують шматочком картону. Після цього пружину заводять ще раз і аспіратор пускають одночасно із секундоміром. Коли у віконечку повторно з'явиться мітка, секундомір зупиняють і фіксують час повного обороту. Якщо час оберту відповідає часу, вказаному в повірочному свідоцтві, то прилад справний. В середньому барабан робить повний оберт за 80-95 с. Тривалість дії механізму, який обертає вентилятор, складає 8-10 хв.

Пов'язка батисту на резервуар правого термометра, який є «змоченим», виконується таким же чином, як і для станційного психрометра для зимового періоду, тобто батист підрізають безпосередньо під резервуаром термометра.

Прилад найкраще встановлювати на окремому стовпі, завжди з навітряної сторони, щоб повітря йшло від приладу до стовпа. Для цього на чотирьох діаметрально розташованих сторонах стовпа роблять отвори, в які можна вгвинчувати кріюк-підвіс. Спостережник при відліку повинен знаходитися з підвітряної сторони. Для вимірювань психрометр встановлюють на стовпі вертикально так, щоб резервуар знаходився на висоті двох метрів над поверхнею землі. При деяких спеціальних дослідженнях психрометр можна розташувати в горизонтальному положенні і на іншій висоті. В такому випадку психрометр повинен бути завжди однаково повернутим до вітру, а трубки затінені екраном від сонячних променів.

При вітрі зі швидкістю понад 4 м/с під час спостережень на аспіратор надягають з навітряної сторони захист 13, який запобігає дії вітру на швидкість аспірації.

Перед вимірюванням психрометр виносять з приміщення і встановлюють у тому місці, де визначають вологість повітря. Зимою – за 30 хв., влітку - за 15 хв. до моменту відліку. Після цього, за 30 хв. до відліку взимку і за 4 хв. до відліку влітку, змочують термометр, обгорнутий батистом. Для змочування беруть гумову грушу 10 і наповнюють її дистильованою водою. Легким натискуванням доводять воду в скляній піпетці до риски і утримують її на цьому рівні за допомогою затискувача 11. Якщо риска відсутня, то підводять воду не ближче, ніж на один сантиметр до краю. Потім обережно вводять піпетку в трубку, в якій знаходиться резервуар термометра, обернений батистом. Очікують деякий час (3 - 5 с) для того, щоб батист набрав воду і після цього відкривають затискувач.

При відліку вентилятор повинен працювати на повну силу. Тому його заводять одразу після змочування термометра. В зимовий період за 4 хв. до



відліку вентилятор заводять повторно. При відліку визначають температуру по сухому і змоченому термометрах.

При від'ємних температурах, після відліку визначають, у якому стані знаходиться батист (на ньому лід або вода). Цю перевірку виконують так само, як і для станційного психрометра. При температурі повітря нижче  $-10^{\circ}\text{C}$  вимірювання не проводять.

Характеристики вологості повітря за показами аспіраційного психрометра обчислюють за допомогою психрометричних таблиць або за психрометричними формулами з психрометричним коефіцієнтом  $A = 0,0006620 \approx 0,0007 \text{ град}^{-1}$ .

## 5.2. ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ ГІГРОМЕТРИЧНИМ (СОРБЦІЙНИМ) МЕТОДОМ

Гігрометричний метод заснований на здатності тіл адсорбувати (поглинати) водяну пару з повітря і в результаті цього деформуватися або змінювати фізичні властивості. Прилади, які засновані на психрометричному методі, називаються гігрометрами. Виділяють гігрометри деформаційні, вагові (абсолютні), дифузійні, конденсаційні, електролітичні та інші. Найбільш широко в метеорології використовують волосяний і плівковий гігрометри.

Гігрометр волосяний метеорологічний М-19 (МВ-1) використовують для вимірювання відносної вологості повітря. Дія приладу базується на властивості знежиреного людського волоса змінювати свою довжину в залежності від відносної вологості повітря.

Прийомною частиною цього гігрометра (рис.5.3) є знежирений людський волос 1, який натягнутий на металеву рамку 2. Верхній кінець волоса закріплений регулюючим гвинтом 11 з контргайкою 12. Цей гвинт дозволяє змінювати натяг волоса в рамці. Нижній кінець волоса з'єднаний з блоком 6 у вигляді металевої дужки 10, посадженої на стержень 8. Стрілка 4 і стержень закріплені на одній осі 9. Зміна довжини волоса в результаті зміни вологості повітря викликає поворот стрілки навколо осі і зміщення її вільного кінця за шкалою 3 з поділками від 0 до 100%. При підвищенні вологості повітря волос подовжується і стрілка відходить вправо. При зменшенні вологості повітря волос скорочується і стрілка відходить вліво. Обертанням регулюючого гвинта стрілку можна встановити на потрібну поділку шкали. Натяг волоса утворюється вагою 5, якою закінчується стержень.

Зв'язок між довжиною волоса і відносною вологістю повітря нелінійний, тому шкала гігрометра нерівномірна. Гігрометр розрахований на роботу при температурах від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+55^{\circ}\text{C}$ . Межі вимірювання

відносної вологості повітря - від 30% до 100%; похибка вимірювання  $\pm 10\%$ . Ціна поділки шкали - 1%. Відлік роблять до цілої поділки шкали.

Волосний гігromетр встановлюють в психрометричній будці на спеціальному штативі (рис. 4.4) між сухими і змоченим термометрами.

Чутливість гігromетра з часом змінюється, тому його покази необхідно порівнювати з відносною вологістю, визначеною за допомогою психрометра. При температурі  $-10^{\circ}\text{C}$  гігromетр є основним приладом для вимірювання вологості повітря. Прилад є відносним, і тому для отримання дійсних значень відносної вологості повітря в зимовий період (при температур нижче  $-10^{\circ}\text{C}$ ) в покази гігromетра вводять поправки.

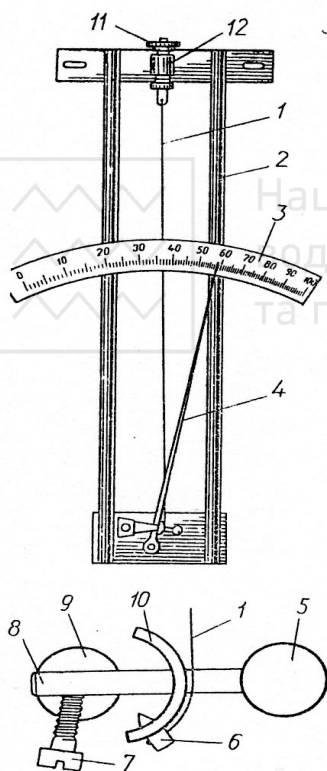


Рис 5.3. Волосяний гігromетр [2]

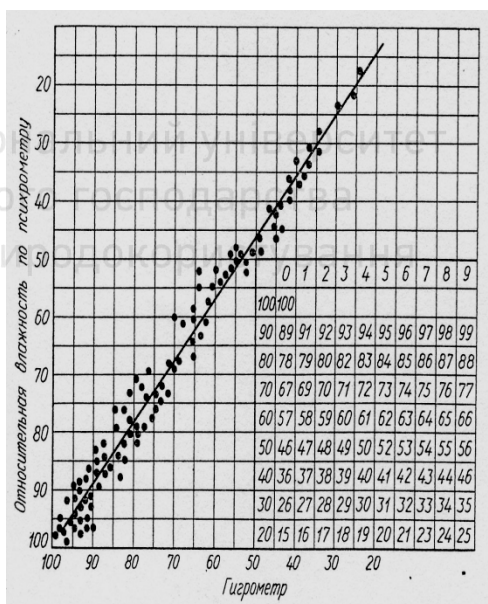


Рис. 5.4. Графік поправок для волосяного гігromетра [2]



Вони визначаються на основі паралельних і одночасних вимірювань за станційним психрометром і гігрометром протягом 1 – 1,5 місяця до настання стійких температур нижче  $-10^{\circ}\text{C}$ . На основі цих вимірювань будують графік зв'язку між показами психрометра і гігрометра, який використовують для переведу показів гігрометра в покази психрометра.

Для цього на міліметровому папері на вертикальній осі відкладають відносну вологість за психрометром, а на горизонтальній осі – покази гігрометра. Значення відносної вологості за психрометром і гігрометром, які виміряні одночасно, відмічають на графіку точкою, що лежить на перетині ліній, що відповідають цим значенням (рис.5.4). Коли усі точки нанесені, вони утворюють (якщо гігрометр справний) відносно вузьку смугу, яка розташована під кутом приблизно  $45^{\circ}$  до осі координат. Посередині цієї смуги проводять лінію (її рівняння можна визначити методом найменших квадратів), за якою переводять покази гігрометра в покази психрометра. Для зручності на основі графіка складають перевідну таблицю (рис.5.4), за якою легко знайти відповідні значення. В цій таблиці знаходяться покази гігрометра у лівому вертикальному стовпці (десятки % відносної вологості) і у верхньому горизонтальному рядку (одиниці %). Виправлені значення відносної вологості визначають за перетином десятків і одиниць відсотків відносної вологості за гігрометром. Виправлені величини відносної вологості, а також температура повітря дозволяють одержати інші характеристики вологості повітря, використовуючи психрометричні таблиці.

Плівковий метеорологічний гігрометр М-39 застосовують для вимірювання відносної вологості повітря. Принцип дії приладу заснований на властивості гігроскопічної органічної плівки змінювати свої лінійні розміри в залежності від відносної вологості повітря.

Прийомною частиною гігрометра (рис.5.5) є натягнута на металеве кільце гігроскопічна тваринна плівка 1 (мембрана), в центрі якої знаходиться металева шайба. Кільце кріпиться гвинтами 2 до металевої рамки 3. Мембрана за допомогою тяги з'єднана з передаточним механізмом приладу, який складається з осі, стрілки 4 і гирі 7. Ги́ря забезпечує постійний натяг плівки. Через передаточний механізм деформація мембрани, яка проходить в результаті зміни вологості повітря, передається на стрілку. При збільшенні вологості повітря плівка розширюється, тому вісь і закріплена на ній стрілка під дією гирі повертаються за годинниковою стрілкою. При зниженні вологості плівка стискається і за допомогою тяги повертає вісь і стрілки проти годинникової стрілки.

Гігрометр розрахований на роботу при температурах повітря від  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+35^{\circ}\text{C}$ . Відлік вологості повітря виконують за шкалою 6. Межі вимірювання - від 30% до 100%, похибка вимірювання  $\pm 10\%$ , ціна поділки шкали - 1%. Шкала рівномірна, на відміну від волосяного гігрометра.

Відлік по гігрометру виконують одразу після відліку за психометричним термометром для того, щоб різниця в часі між спостереженнями була якомога меншою. Початкова установка стрілки приладу на потрібну поділку шкали здійснюється обертанням гвинтів 2.

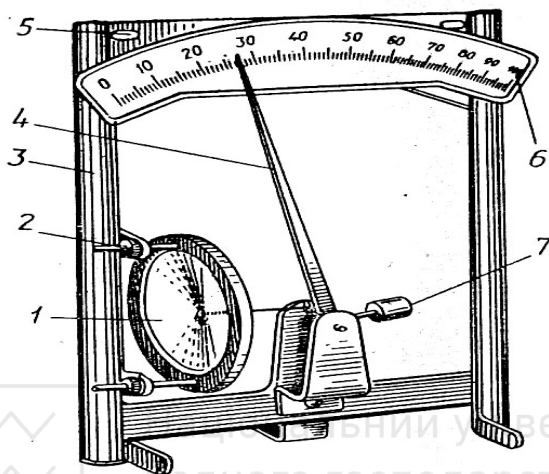


Рис. 5.5. Плівковий гігрометр [2].

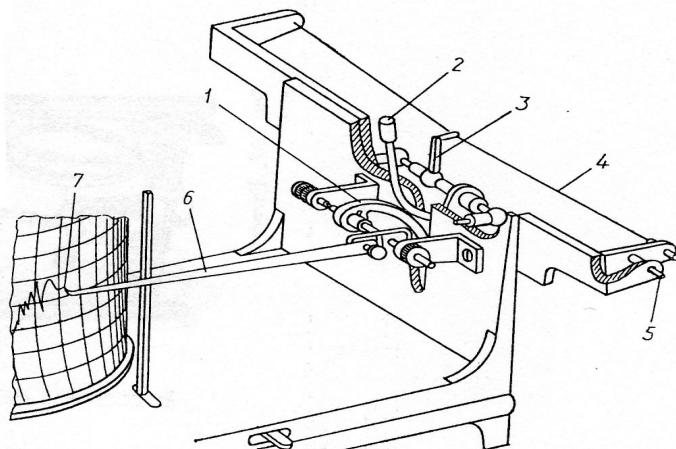


Рис. 5.6. Схема гігрографа [2]



Плівковий гігрометр – це відносний прилад. В його покази, як і в покази волосяного гігрометра, вводять поправки, які одержані за графіком зв'язку показів плівкового гігрометра і психрометра.

Гігрограф метеорологічний М-21 застосовують для безперервної реєстрації змін відносної вологості повітря в часі. Гігрографи бувають волосяними і плівковими (М-39).

Прийомною частиною волосяного гігрографа (рис.5.6) є жмут знежиреного людського волосся 4, кінці якого закріплені до ебонітових втулок на металевому кронштейні. В середній частині жмут волосся зачеплений гачок 3. Зміна довжини волосся через систему важелів 1 і 2 та двох колінчатих валиків передається на стрілку 6 з пером 7. Криволінійні важелі компенсують нерівномірність подовження волосся. Кривизна важелів спеціально розрахована. Вони забезпечують рівномірність переміщення пера при нерівномірних змінах довжини жмута волосся у зв'язку зі зміною вологості.

Волос гігрографа завжди знаходиться в натягнутому стані завдяки протизазі, якою закінчується важіль 2. На задану поділку вологості повітря перо гігрографа виводять спеціальним встановлювальним гвинтом 5. Його обертання змінює натяг волосся.

Реєстровальна частина гігрографа улаштована так само, як і в інших самописців. Гігрографи можуть бути добовими та тижневими в залежності від швидкості обертання барабана. Стрічка гігрографа розграфлена паралельними горизонтальними лініями і вертикальними дугами. По дугах визначають час, а по лініях – відносну вологість повітря. Кожна поділка на стрічці за вологістю повітря відповідає 1%, а за часом – 15 хв. для добового та двом годинам для тижневого гігрографа.

Гігрограф встановлюють в одній будці з термографом. Перед роботою приладу барабан заводять до упору і натягають стрічку, на звороті якої вказують час установки. Перо встановлюють на поділку, яка відповідає фактичній відносній вологості, визначеній за психрометром.

Гігрограф є відносним приладом, тому результати вимірювання вологості повітря порівнюють з показами психрометра. Для цього під час відліку за психрометром роблять помітки на стрічці гігрографа легким підйомом пера.

Стрічку гігрографа оброблюють графічним методом. Будують графік і таблицю за відліком психрометра і відліком, знятим із стрічки гігрографа, аналогічно тому, як це виконують для гігрометра. Подальша обробка стрічки полягає в тому, що використовуючи одержаний графік для кожного відліку за гігрографом, знятого зі стрічки, знаходять відповідний відлік за психрометром, який і буде виправленим відліком гігрографа.



### 5.3. ПСИХРОМЕТРИЧНІ ТАБЛИЦІ

Психрометричні таблиці використовують для визначення характеристик вологості атмосферного повітря на основі вимірювань значень температури повітря ( $t$ , «сухий» термометр) і температури «змоченого» термометра ( $t'$ ), які виражені в градусах Цельсія. Вони дозволяють визначити такі характеристики вологості повітря: пружність водяної пари ( $e$ , мб); точку роси ( $t_d$ , °C); відносну вологість повітря ( $f$ , %); дефіцит пружності водяної пари ( $d$ , мб).

Крім цього, таблиці дозволяють визначити будь-яку характеристику вологості за відомими значеннями температури повітря і будь-яку з перерахованих характеристик вологості.

В основу розрахунку таблиць покладена залежність максимальної пружності водяної пари від температури, яка уточнена за результатами досліджень термодинамічних властивостей вологого повітря. Ця залежність у відповідності із «Техническим регламентом Всемирной Метеорологической Организации» має вигляд [6]:

для пружності водяної пари над водою ( $E_{1B}$ )

$$\begin{aligned} \log_{10} E_{1B} = & 10.79574 \left(1 - \frac{T_1}{T}\right) - 5.02800 \log_{10} \left(\frac{T_1}{T}\right) \\ & + 1.50475 \cdot 10^{-4} \left[1 - 10^{-8.2969} \left(\frac{T_1}{T}\right)\right] + \\ & + 0.42873 \cdot 10^{-3} \left[10^{4.76955} \left(1 - \frac{T_1}{T}\right) - 1\right] + 0.78614; \end{aligned} \quad (5.16)$$

для максимальної пружності водяної пари над льодом ( $E_{1Л}$ )

$$\begin{aligned} \log_{10} E_{1Л} = & -9.09685 \left(\frac{T_1}{T} - 1\right) - 3.56654 \log_{10} \left(\frac{T_1}{T}\right) + \\ & + 0.87682 \left(1 - \frac{T}{T_1}\right) + 0.78614. \end{aligned} \quad (5.17)$$

Тут  $T_1 = 273,16^\circ\text{K}$  ( $t_1 = 0,01^\circ\text{C}$ ) – температура рівноваги між льодом, водою і водяною парою (потрійна точка води);  $T$  – температура за абсолютною шкалою, яка зв'язана з температурою ( $t$ ) за шкалою Цельсія співвідношенням  $T = 273,15 + t$ .

Розрахунок таблиць заснований на психрометричній формулі для випадку: коли на батисті змоченого термометра вода – формула (5.14); коли на батисті лід – формула (5.15).

Психрометричні таблиці включають вісім основних таблиць.



Таблиця 1 служить для визначення температури точки роси ( $t_d$ , °C), пружності водяної пари ( $e$ , мб), дефіциту пружності водяної пари ( $d$ , мб) при різних значеннях температури повітря ( $t$ , °C) і відносній вологості ( $f$ , %).

Таблиця 2 служить для визначення  $t_d$ ,  $e$ ,  $f$ ,  $d$  на основі вимірних значень температури повітря ( $t$ ) і температури змоченого термометра ( $t'$ ).

Таблиця 3 служить для визначення поправок  $\Delta e$  (мб) до пружності водяної пари  $e$  (мб) на тиск повітря ( $P$ ) для станційного психрометра при ( $t - t'$ ) від 0°C до 10°C (вода!), при ( $t - t'$ ) від 10°C до 30 °C (вода!) і при ( $t - t'$ ) від 0°C до 10°C (лід!).

Таблиця 4 служить для визначення поправок  $\Delta e$  (мб) до пружності водяної пари  $e$  (мб) на тиск повітря ( $P$ ) для аспіраційного психрометра при ( $t - t'$ ) від 0°C до 10°C (вода!), при ( $t - t'$ ) від 10°C до 30 °C (вода!) і при ( $t - t'$ ) від 0°C до 10°C (лід!).

Таблиця 5 служить для визначення максимальної пружності водяної пари  $E_{1B}$  (мб) над плоскою поверхнею чистої води при різних температурах ( $t$ , °C).

Таблиця 6 служить для визначення максимальної пружності водяної пари  $E_{1L}$  (мб) над плоскою поверхнею чистого льоду при різних температурах ( $t$ , °C).

У таблицях 7 і 8 наведені значення температури точки роси  $t_d$  (табл. 7) і температури точки інею  $t_i$  (табл. 8) при різних величинах пружності водяної пари  $e$  (мб).

У табл. 2 характеристики вологості обчислені для кожної пари значень температури повітря  $t$  і температури змоченого термометра  $t'$  в межах (по  $t$ ) від -20,0 до +5,9°C для льоду і від -10,0 до +29,9°C для води з дискретністю 0,1°C для показів кожного термометра. Температура точки роси  $t_d$  розрахована для кожного значення ( $e$ ) у відповідності до формули (5.16) і відповідає визначенню точки роси, прийнятому Всесвітньою Метеорологічною Організацією (ВМО). Відносна вологість повітря ( $f$ ) і дефіцит пружності водяної пари ( $d$ ) обчислені відносно води, що відповідає загальноприйнятій практиці і рекомендаціям ВМО. Для більш точного визначення точки роси ( $t_d$ ) при від'ємних і малих додатних температурах, в табл. 2, при  $t < 7,0^\circ\text{C}$  пружність водяної пари ( $e$ ) приведена з точністю до сотих часток мілібара. При  $t \geq 7,0^\circ\text{C}$  пружність водяної пари розрахована з точністю до десятих часток мілібара.

Наведені в табл. 2 характеристики вологості повітря при визначенні їх за даними сухого і змоченого термометрів, у відповідності до формул



(5.14) і (5.15), обчислені для тиску повітря 1000 мб (гПа). При тиску, відмінному від 1000 мб (гПа), пружність водяної пари, а разом із нею й інші характеристики вологості, потребують введення поправки. Вони визначаються за табл. 3 (а, б, в). За виправленим значенням пружності водяної пари визначають інші характеристики вологості при даній температурі повітря за допомогою цієї ж табл. 2.

Таблицю 2 використовують для визначення пружності водяної пари та інших характеристик вологості при вимірюваннях аспіраційним психрометром при швидкості вентиляції 2 м/с і психрометричному коефіцієнті термометрів  $A = 0,0006620 \approx 0,0007 \text{ град}^{-1}$ . В цьому випадку для визначення сумарної поправки до пружності водяної пари на відмінність психрометричного коефіцієнта термометрів і атмосферного тиску від 1000 мб, які прийнято при розрахунку табл. 2, використовують табл. 4 (а, б, в).

Таблиця 1 служить для визначення характеристик вологості повітря за вимірними значеннями температури і відносної вологості при температурах нижче  $-10^{\circ}\text{C}$ , коли відносна вологість на метеорологічних станціях визначена за гігрометром. При визначенні характеристик вологості за вимірними значеннями відносної вологості або точки роси, поправка на тиск не вводиться. Таблиця 1 охоплює інтервал температур від  $-84,5$  до  $-9,9^{\circ}\text{C}$ .

### **Завдання 1. Ознайомлення з правилами користування психрометричними таблицями**

*Для виконання завдання необхідно з'ясувати фізичний зміст характеристик вологості повітря, вивчити пояснення до психрометричних таблиць, розглянути структуру кожної з таблиць.*

Розглянемо основні типові завдання, для вирішення яких використовують психрометричні таблиці.

1. Визначити характеристики вологості повітря за показами станційного психрометра, якщо атмосферний тиск  $P = 1000$  мб (гПа), із урахуванням фазового стану випарної поверхні змоченого термометра.

В табл. 2 вибирають колонку, яка відповідає значенню температури сухого термометра ( $t$ ). В першій графі під буквою  $t'$  знаходять температуру змоченого термометра. В чотирьох наступних графах знаходять  $t_d$ ,  $e$ ,  $f$ ,  $d$ .

**П р и к л а д 1.**  $t = 7,7^{\circ}\text{C}$ ;  $t' = 2,3^{\circ}\text{C}$ ;  $P = 1000$  мб. Станційний психрометр[6]. В колонці табл. 2 (вода!)  $t = 7,7^{\circ}\text{C}$  в графі  $t'$  знаходимо рядок  $2,3^{\circ}\text{C}$ , в якому визначаємо:  $t_d = -9,8^{\circ}\text{C}$ ;  $e = 2,9$  мб;  $f = 28 \%$ ;  $d = 7,6$  мб.



При температурі змоченого термометра  $t'$  нижче  $0^{\circ}\text{C}$  на батисті може спостерігатися лід або переохолоджена вода. В цьому випадку в табл.2 слід вибрати колонку для визначення характеристик вологості, враховуючи фазовий стан випарної поверхні змоченого термометра, у відповідності із надписом у верхньому куті на сторінці (Лід! або Вода!)

П р и к л а д 2.  $t = 1,2^{\circ}\text{C}$ ;  $t' = -2,3^{\circ}\text{C}$  (лід);  $P = 1000$  мб. Станційний психрометр [6].

В колонці табл. 2 (лід!)  $t = 1,2^{\circ}\text{C}$  в графі  $t'$  знаходимо рядок  $-2,3^{\circ}\text{C}$ , в якому визначаємо:  $t_d = 11,3^{\circ}\text{C}$ ;  $e = 2,59$  мб;  $f = 39$  %;  $d = 4,07$  мб.

2. Визначити характеристики вологості повітря за показами станційного психрометра, якщо відоме конкретне значення атмосферного тиску, із урахуванням фазового стану випарної поверхні змоченого термометра.

Якщо при вимірюваннях вологості станційним психрометром тиск відрізняється від 1000 мб (гПа), то в одержані з табл. 2 значення слід внести поправку на тиск. Поправка на тиск до пружності водяної пари ( $\Delta e$ ) визначається за табл. 3а (для  $t - t'$  від 0 до  $10^{\circ}\text{C}$ ) або 3б (для  $t - t'$  від 10 до  $30^{\circ}\text{C}$ ), якщо на батисті змоченого термометра буде вода. Поправка на тиск до пружності водяної пари ( $\Delta e$ ) визначається за табл. 3в, якщо на батисті змоченого термометра буде лід. Поправку ( $\Delta e$ ) додають до одержаного за табл. 2 значення  $e$ , якщо атмосферний тиск менше 1000 мб (гПа) і віднімають, якщо атмосферний тиск більше 1000 мб (гПа). За виправленим значенням  $e_{\text{випр}} = e_{1000} + \Delta e$ , в тій же колонці табл. 2 в графі «e» знаходять найближче до  $e_{\text{випр}}$  (або рівне йому) значення і в цьому рядку визначають виправлені значення  $t_d$ ,  $f$ ,  $d$ .

П р и к л а д 3.  $t = -6,5^{\circ}\text{C}$ ;  $t' = -8,2^{\circ}\text{C}$  (лід);  $P = 853$  мб. Станційний психрометр [6].

В табл. 2 (лід!), знаходимо в колонці  $t = -6,5^{\circ}\text{C}$  при  $t' = -8,2^{\circ}\text{C}$  значення  $e = 1,85$  мб. Різниця  $(t - t') = -6,5 - (-8,2) = 1,7^{\circ}\text{C}$ . В табл. 3в для  $(t - t') = 1,5^{\circ}\text{C}$  і для  $P = 850$  мб знаходимо  $\Delta e = 0,16$  мб. Так як  $P \leq 1000$  мб, то  $e_{\text{випр}} = 1,85 + 0,16 = 2,01$  мб. В табл. 2, в колонці  $t = -6,5^{\circ}\text{C}$  (лід!) знаходимо найближче до 2,01 значення  $e^* = 2,05$  мб, якому відповідають  $t_d = -14,1^{\circ}\text{C}$ ;  $f = 55$  %;  $d = 1,71$  мб.

3. Визначити характеристики вологості повітря за показами аспіраційного психрометра, якщо відоме конкретне значення атмосферного тиску, із урахуванням фазового стану випарної поверхні змоченого термометра.

При визначенні вологості аспіраційним психрометром зі швидкістю вентиляції термометрів 2 м/с і психрометричному коефіцієнту  $A$ , що



дорівнює  $0,0006620 \approx 0,0007 \text{ град}^{-1}$  також використовують табл. 2. Для визначення поправки  $\Delta e$  до пружності водяної пари на тиск і на відмінність психрометричного коефіцієнту аспіраційного психрометра від станційного використовують табл. 4а, б, в. Всі характеристики вологості знаходять за виправленими значеннями пружності водяної пари, так само, як і при вимірюваннях за допомогою станційного психрометра. При цьому поправка  $\Delta e$  для усіх значеннях  $P$  – додатна.

П р и к л а д 4.  $t = 12,3^\circ\text{C}$ ;  $t' = 7,2^\circ\text{C}$ ;  $P = 1000$  мб. Аспіраційний психрометр[6].

В табл. 2 (вода!), знаходимо в колонці  $t = 12,3^\circ\text{C}$  при  $t' = 7,2^\circ\text{C}$  значення  $e = 6,1$  мб. Різниця  $(t - t') = 12,3 - 7,2 = 5,1^\circ\text{C}$ . В табл. 4а для значення  $5^\circ\text{C}$ , яке найближче до  $(t - t') = 5,1^\circ\text{C}$  і по  $P = 1000$  мб знаходимо  $\Delta e = 0,66$  мб  $\approx 0,7$  мб. Виправлене значення  $e_{\text{випр}} = 6,1 + 0,7 = 6,8$  мб. В табл. 2, в колонці  $t = 12,3^\circ\text{C}$  (вода!) знаходимо за  $e_{\text{випр}} = 6,8$  мб:  $t_d = 1,5^\circ\text{C}$ ;  $f = 48\%$ ;  $d = 7,5$  мб.

4. Визначити характеристики вологості за вимірними значеннями температури повітря ( $t$ ) і температури точки роси ( $t_d$ ).

В цьому випадку за температурою повітря ( $t$ ) знаходять в табл. 2 колонку з відповідними характеристиками вологості і в другій графі вибирають значення  $t_d^*$ , найближче до виміряного значення точки роси. В рядку цього значення одержують усі інші характеристики вологості ( $e$ ,  $f$ ,  $d$ ). Поправки на тиск при цьому не вводяться. В книжки спостережень і телеграми ставлять вимірне значення  $t_d$ , а не табличне  $t_d^*$ .

П р и к л а д 5. Температура повітря  $t = 11,4^\circ\text{C}$ ,  $t_d = 0,5^\circ\text{C}$  [6].

В табл. 2 в колонці  $t = 11,4^\circ\text{C}$  у другій графі знаходимо  $t_d^* = 0,4^\circ\text{C}$ , в рядку якого визначаємо  $e = 6,5$  мб;  $f = 47\%$ ;  $d = 7,2$  мб.

5. Визначити характеристики вологості повітря за вимірним значенням температури повітря і відносної вологості повітря за гігрометром.

За табл. 1 на основі виміряного значення температури повітря вибирають відповідну колонку (виміряна температура знаходиться між вказаними межами або дорівнює одній з них). В першій графі колонки за значенням відносної вологості  $f$  знаходять рядок. В трьох наступних графах ряду знаходять пружність водяної пари  $e$ , температуру точки роси  $t_d$  та дефіцит пружності водяної пари  $d$ . Виміряні значення відносної вологості округлюють до 5%.

П р и к л а д 6. При температурі повітря  $t = -31,2^\circ\text{C}$  виміряна за гігрометром відносна вологість  $f = 67\%$ . [6].



В табл. 1 в колонці  $t$  «від - 31,4 до - 31,2» у рядку  $f = 65\%$  знаходять:  
 $e = 0,293$ ;  $t_d = - 35,7^\circ\text{C}$ ,  $d = 0,157$  мб.

*Звіт про завдання повинен складатися з розв'язаних прикладів і короткого опису порядку розв'язку.*

## Завдання 2. Вимірювання вологості повітря станційним психрометром

*Для виконання завдання необхідно мати станційний психрометр, анероїд, психрометричні таблиці, шматки батисту, дистильовану воду.*

1. Вивчити будову, правила установки і методику спостережень за станційним психрометром.
2. Підготувати прилад до спостережень, тобто пов'язати резервуар змоченого термометра батистом, закріпити термометр на штативі, змочити батист водою.
3. Провести серію (3 - 5) вимірювань за термометрами станційного психрометра.
4. Зняти відлік за барометром.
5. Ввести поправки у відлік за барометром і термометрами.
6. Визначити характеристики вологості повітря, записати результати спостережень за формою:

№ відліку	Р, мБ (гПа)	Термометри						e	f	d	t <sub>d</sub>
		сухий			змочений						
		відлік	поправка	виправлена величина	відлік	поправка	виправлена величина				

*Звіт про виконання завдання повинен складатися зі схеми станційного психрометра, результатів спостережень та їх обробки, короткого опису пунктів завдання.*

## Завдання 3. Вимірювання вологості повітря аспіраційним психрометром

*Для виконання завдання необхідно забезпечити аспіраційним психрометром, анероїдом, психрометричними таблицями, батистом і дистильованою водою.*

1. Ознайомитися з будовою аспіраційного психрометра, правилами його установки і методикою спостережень.



2. Підготувати прилад до спостережень, тобто пов'язати резервуар змоченого термометра батистом, закріпити психрометр на задану висоту, змочити батист водою, завести пружину аспіратора.
3. Повести серію (3-5) вимірювань за термометрами аспіраційного психрометра.
4. Зняти відлік за анероїдом.
5. Ввести поправки у відлік за барометром і термометрами.
6. Визначити характеристики вологості повітря, записати результати спостережень в таблицю за формою, яка застосована для станційного психрометра.

*Звіт про виконання завдання повинен складатися зі схеми аспіраційного психрометра, результатів спостережень та їх обробки, короткого опису пунктів завдання.*

#### **Завдання 4. Ознайомлення з гігрометрами**

*Для виконання завдання необхідно мати волосний і плівковий гігрометри, матеріали одночасних спостережень за психрометром і гігрометром, міліметровий папір.*

1. Ознайомитися з будовою волосного і плівкового гігрометрів.
2. Виконати серію (2-3) вимірювань за встановленими на штативі гігрометрами.
3. Використовуючи вихідні матеріали, побудувати поправочний графік і скласти таблицю поправок гігрометра.

*Звіт про виконання завдання повинен складатися зі схеми волосного і плівкового гігрометрів, поправочного графіка гігрометра і короткого опису пунктів завдання.*



## 6. АТМОСФЕРНІ ОПАДИ І СНІГОВИЙ ПОКРИВ ТА МЕТОДИ ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

Атмосферні опади – це вода в твердому або рідкому стані, яка випадає на земну поверхню у вигляді дощу, снігу, крупи або граду. До опадів також відносять продукти конденсації водяної пари, які утворюються безпосередньо на земній поверхні або предметах земної поверхні.

Необхідною умовою випадіння опадів з хмар є укрупнення елементів хмар – водяних крапель і льодових кристалів. Вони повинні збільшити свої розміри настільки, щоб швидкість їх падіння була значно більшою, ніж швидкість висхідних потоків повітря.

Здатність хмари давати опади залежить від ступеня її колоїдної стійкості, яка обумовлена фізичною будовою хмари. Колоїдно-стійкі хмари однорідні за своєю структурою і складаються тільки з одних крапель або тільки з кристалів. Особливо великою стійкістю буде при однакових розмірах елементів хмар. Не дають опадів хмари *As* (високо – купчасті), *Cu* (купчасті), які складаються з мілких крапель приблизно однакової величини. Не дають опадів хмари верхнього ярусу *Ci* (перисті), *Ss* (перисто-купчасті), *Cs* (перисто-шаруваті), які складаються з льодових кристалів.

В хмарах, які складаються з крапельно-рідинних елементів різних розмірів, може спостерігатися коагуляція. Однак вона проходить відносно повільно. Такими хмарами є *St* (шаруваті), *Sc* (шарувато-купчасті), з яких можуть випадати опади у вигляді мряки (опади у вигляді дуже дрібних крапель діаметром не більше 0,5 мм).

Колоїдно-нестійкі хмари мають як рідкі, так і тверді елементи – краплі і кристали. Коагуляція елементів хмар проходить в них бурхливо і супроводжується випадінням опадів. До цих хмар відносять *Sv* (купчато-дощові), *Ns* (шарувато-дощові) іноді *As* (високо - шаруваті).

В залежності від виду і форми атмосферні опади, які випадають з хмар, розділяють на тверді і рідкі (надалі будуть вказані умовні позначки, які використовують для візуальної оцінки характеру опадів).

До рідких опадів належать:

- Дощ – опади у вигляді крапель, падіння яких явно помітно. Випадіння дощу проходить без різких коливань інтенсивності, безперервно або з короткими перервами;

- Зливовий дощ – дощ, який відрізняється раптовістю початку і закінченням випадіння, короткочасністю і різкими коливаннями інтенсивності;

- Мряка – опади у вигляді дуже дрібних крапель, падіння яких майже не помітне на око, вони здаються ніби зваженими в повітрі.



До твердих опадів належать:

\* Сніг – випадає у вигляді кристалів (сніжинок). Випадіння спостерігається без різких коливань інтенсивності.

Зливовий сніг – сніг, який відрізняється раптовістю початку і закінченням випадіння, різкими коливаннями інтенсивності і короткочасністю.

Мокрий сніг – випадає у вигляді снігу, який тане, і дощу. Має особливості, що властиві снігові.

Зливовий мокрий сніг – мокрий сніг зливого характеру з особливостями, вказаними в описі зливого снігу.

Снігова крупа – непрозорі снігові крупинки білого або матово-білого кольору, м'які крихкі і легко розчавлюються пальцями. Випадають при температурі повітря біля 0°C.

Снігові зерна – непрозорі матово-білого кольору палички і крупинки. Останні схожі на снігову крупу, але значно дрібніші від неї.

Δ Льодова крупа – тверді льодові прозорі крупинки, в центрі яких є невелике непрозоре ядро.

■ Льодовий дощ – дрібні, тверді повністю прозорі кульки, які утворюються з дощових крапель, коли вони при своєму падінні попадають з теплого шару атмосфери в холодний, де і замерзають. Непрозоре біле ядро відсутнє.

▲ Град – шматки льоду різної форми і розмірів. Ядро градин зазвичай не прозоре, іноді оточене прозорим шаром, іноді чергується прозорими і непрозорими шарами.

## 6.1. ВИМІРЮВАННЯ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ З ХМАР

Вимірювання кількості опадів виконують за допомогою приладів, які називаються опадомірами (дощомірами). Вони складаються з прийомного циліндричного відра, яке встановлюють так, щоб верхній його край знаходився на висоті 2 м від поверхні землі.

Для того, щоб виміряти кількість опадів найбільш точно, в опадомірах застосовують вітровий захист відра.

Для реєстрації кількості і тривалості рідких опадів застосовують самописці дощу – плювіографи.

Опадомір Третьякова 0-1 – основний прилад для вимірювання опадів на метеорологічних станціях (рис. 6.1). Він складається з двох металевих відер, кришки до них, планкового вітрового захисту, тагана і мірного стакана.

Опадомір встановлюють на дерев'яному стовпі або спеціальній металевій підставці висотою 1,6 м. Поряд із стовпом (підставкою) встановлюють сходинки.

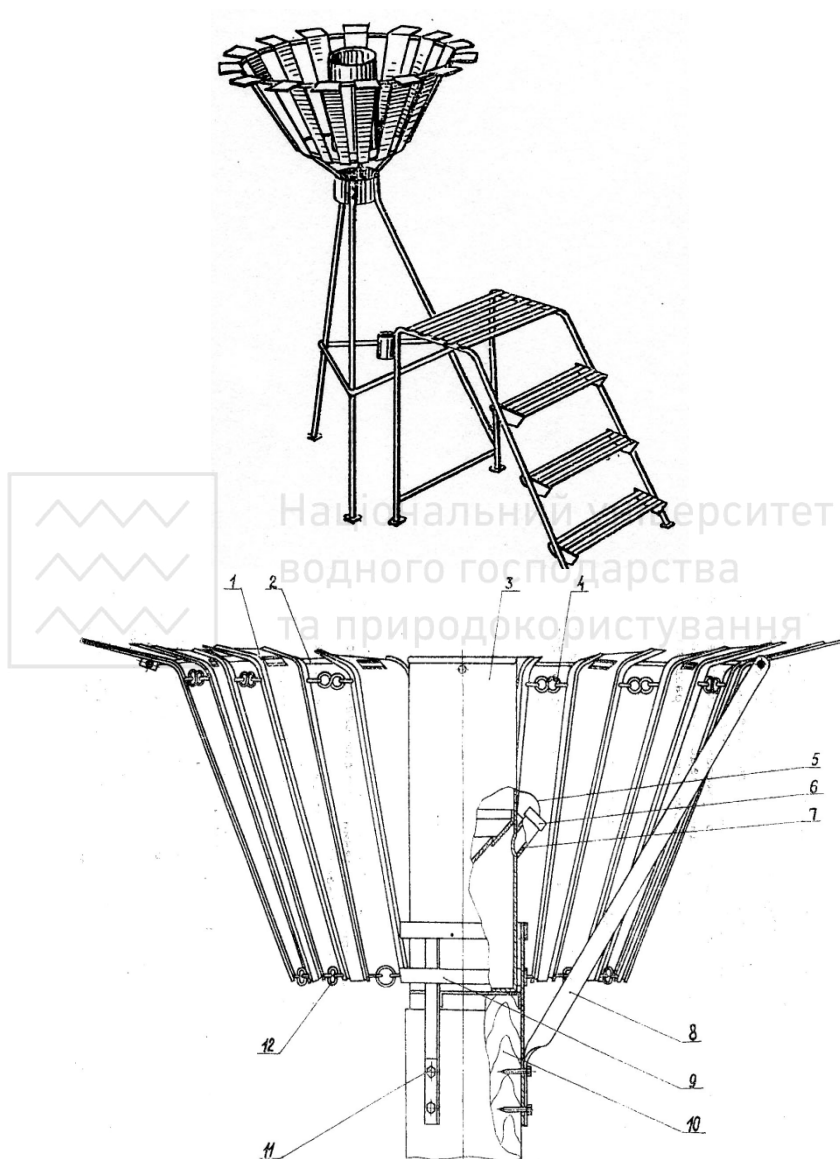


Рис. 6.1. Опадомір Третьякова





В місцевостях, де висота снігового покриву перевищує один метр, на зиму встановлюють другий стовп і сходинки до нього, на один метр вище звичайного. Використовують другу установку, коли висота снігового покриву в оточенні метеорологічної станції досягає 60 см і більше.

Відро опадоміра має форму циліндра висотою 40 см, його прийомна поверхня дорівнює  $200 \text{ см}^2$ . Ця поверхня повинна бути постійною, тому верхній край відра має захисне кільце або простий фальц до 10 мм. Всередині відра влягає діафрагма лійкоподібної форми з отвором для стікання води в його нижню частину. Діафрагма зменшує випаровування зібраних опадів. У літній період отвір діафрагми додатково накривають лійкою з невеликим отвором в центрі, що додатково зменшує випаровування. Восени лійку знімають з діафрагми для того, щоб можливі тверді опади могли потрапити на дно відра.

Нижче діафрагми із зовнішньої сторони до відра припаяна невелика трубка (носик) 7 для зливу води в мірний стакан. Трубку закривають ковпачком 6, прикріпленим ланцюжком 5 до відра.

Відро встановлюють в кільцеву оправу (таган) 9, яку нерухомо закріплюють на стовпі 10 з таким розрахунком, щоб верхній зріз відра займав горизонтальне положення і розташовувався на висоті 2 м від земної поверхні.

Мірний стакан (рис.6.2) має 100 поділок, кожне з яких дорівнює  $2 \text{ см}^3$ , що відповідає 0,1 мм шару води у відрі.

Вітровий захист 1 складається з 16 планок, які мають форму рівнобічної трапеції. Верхні кінці планок відігнуті у зовнішню сторону під кутом  $110^\circ$  до основної частини планки. Коли захист зібрано, відігнуті кінці планок розташовані на одному рівні і в одній площині з верхнім краєм відра. Планки кріпляться кільцевим прутом 2 і укосинами з'єднуються між собою ланцюжками вверху і внизу. Відстань між планками повинна бути 4-5 см. При вітрі планки можуть вільно колихатися в деяких межах навколо кільцевого прута. Якщо вітровий захист встановлено правильно, то він являє собою конус з кутом нахилу його утворюючої до горизонту в  $70^\circ$ .

Вітровий захист не може повністю виключити вплив вітру на покази опадоміра. Тому на метеорологічній площадці при установці опадоміра вибирають ділянку, де швидкість вітру зменшена. При цьому опадомір повинен бути віддаленим від предметів, які можуть закривати його при косому випаданні опадів. В опадомір не повинен попадати сніг з високих предметів. Вони повинні знаходитися на відстані не менше потрійної висоти предмета.

Під час спостережень проводять зміну відер. Закрите кришкою відро виносять з приміщення і встановлюють в таган. Зняте відро з опадами



закривають кришкою і переносять в приміщення. Зміна відер обов'язкова навіть в ті дні, коли опади не були помічені спостерігачем.

Зібрані у відрі опади переливають в мірний стакан. Якщо у відрі тверді опади, то їх кількість вимірюють після того, як вони розтануть (відро при цьому повинне бути закрите кришкою).

Стакан ставлять на горизонтальну поверхню і виконують відлік по нижньому краю меніска в цілих поділках стакана. Якщо вода не займає цілої поділки, то відраховують ту поділку, до якої рівень води найближчий. Якщо вода встановлюється між поділками на середині, то записують більшу цифру.

Результати вимірювань в поділках стакана записують у відповідну графу спостережної книжки. Справа від числа поділок стакана записують кількість опадів в міліметрах. Воно дорівнює числу поділок, яке зменшують в 10 разів, плюс поправка 0,2 мм, якщо виміряна кількість опадів була більше 0,1 мм або плюс поправка 0,1 мм, якщо кількість опадів була менше (дорівнювала) 0,1 мм. Приклад запису: 76 – 7,8 мм. В тих випадках, коли кількість опадів перевищує місткість стакана, вимірювання виконують в декілька прийомів. В книжку заносять кожний відлік. Надалі всі їх складають. Приклад запису:  $94 + 88 + 45 = 222 - 22,4$  мм.

Сумарний опадомір застосовують в малонаселених і важкодоступних місцях. Він дає можливість виміряти кількість опадів, які випали протягом тривалого проміжку часу, наприклад, за місяць, вегетаційний період і т. д.

Сумарний опадомір (рис.6.3) складається з прийомного циліндра 2, планкового захисту 1, збірника опадів 4, металевої підставки 5. Приймний циліндр – це металеве відро, перетином 500 см<sup>3</sup>. Верхній кінець конусоподібного планкового захисту знаходиться в одній горизонтальній площині з прийомним циліндром. У верхній частині збірника опадів зроблено люк 3 для вимірювання опадів.

Для збереження опадів від випаровування в збірник опадів наливають мінеральне масло. При вимірюванні опадів люк збірника опадів відкривають і зі збірника виливають опади в мірний стакан. Якщо в збірнику опадів є сніг або лід, то їх попередньо розтоплюють і одержану воду переливають в мірний стакан.

Польовий дощомір. Для вимірювання рідких опадів в польових умовах застосовують дощомір Ф.Ф. Давітая. Це скляна посудина 2 висотою 34 см з прийомною поверхнею 30 см<sup>2</sup>. Нижня частина посудини, яка закривається скляною лійкою, на стінках має поділки, кожне з яких відповідає шару опадів в 1 мм.

Дощомір встановлюють на дерев'яній або металевій підставці з таким розрахунком, щоб верхній край дощоміру знаходився на висоті 1,5 м від земної поверхні.

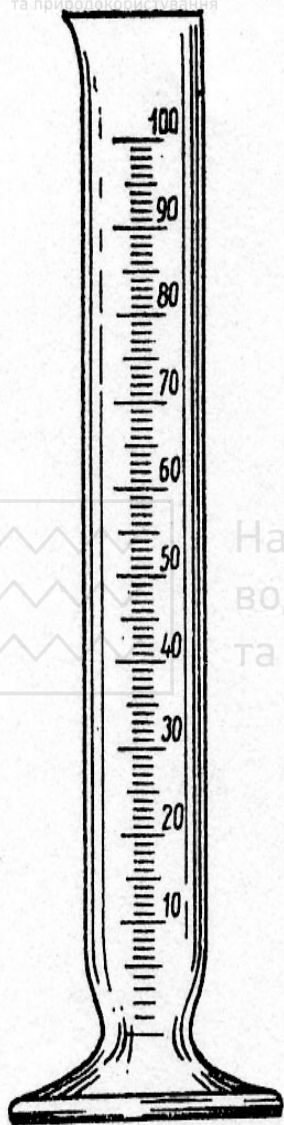


Рис. 6.2. Вимірювальний  
стакан опадоміра [2]

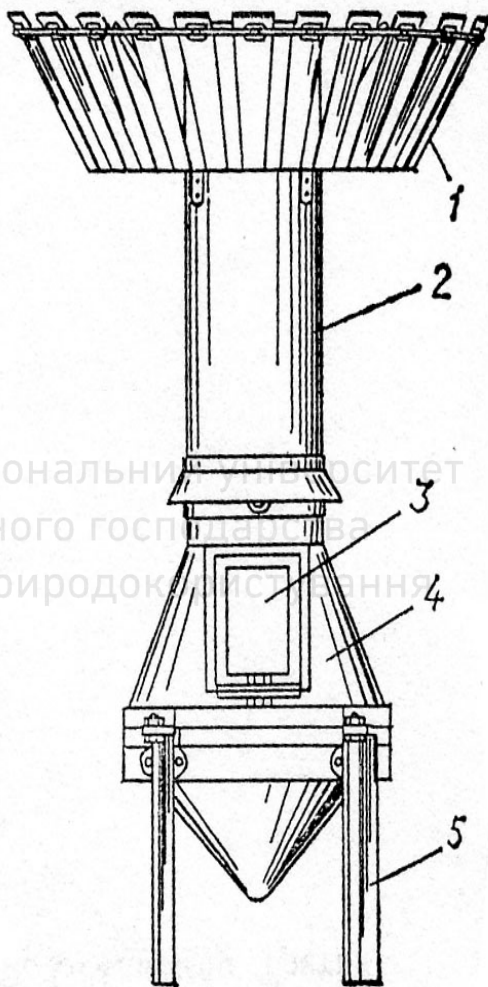


Рис. 6.3. Сумарний опадомір [2]



Плювіограф П – 2 використовують для безперервної реєстрації рідких опадів (рис.6.4). Він дозволяє виміряти загальну кількість опадів, які випали за визначений проміжок часу, також інтенсивність опадів (кількість опадів в одиницю часу - мм/хв).

Прийомною частиною приладу є циліндрична посудина 1 з прийомною поверхнею 500 см<sup>2</sup>. В нижній частині посудини, яка має форму конуса з декількома отворами для стоку води, припаяна зливна трубка. Остання входить в ліжку іншої трубки 7, яка з'єднана з поплавковою камерою 3. В середині камери знаходиться пустотілий металевий поплавок 9, що має вертикальний стержень 8, на якому в горизонтальній площині закріплена стрілка 6, з насадженим пером. Збоку поплавної камери є невелика трубка 10, в яку вставлено сифон 4. Він необхідний для автоматичного зливу води з поплавкової камери, коли вода підіймається до рівня вигину сифону.

Поряд з поплавковою камерою, на тій же полиці, на вертикальному стержні, встановлено барабан 2 з годинниковим механізмом. На барабані закріплена стрічка (рис.6.4). Вона розграфлена системою вертикальних і горизонтальних ліній, які перетинаються. Вертикальні лінії відповідають визначеним моментам часу, горизонтальні – кількості опадів, що випадають.

Відстань між сусідніми потовщеними вертикальними лініями становить проміжок часу в 1 годину, а між тонкими лініями – 10 хвилин. Відстань між двома сусідніми потовщеними горизонтальними лініями становить 1 мм опадів, а між тонкими лініями – 0,1 мм опадів.

Час відраховується за стрічкою з точністю до 1 хвилини, а кількість опадів – з точністю до 0,1 мм. За допомогою важеля, який розміщений на кришці поплавкової камери, перо може бути підведеним до барабану або відведеним від нього.

При випадінні дощу вода стікає по зливній трубці і попадає в камеру. Поплавок в камері починає підійматися і перо викреслює на стрічці криву. Підйом кривої тим крутіший, чим інтенсивніше випадають опади. Коли вода заповнює камеру і підіймається до сифону, він починає діяти. Вода з камери виливається у відро 5, яке встановлено на дні корпусу плювіографа. В цей момент перо спускається вниз і креслить на стрічці вертикальну лінію від верхнього краю до нульового положення (рис.6.6). Якщо дощ продовжується, камера знову наповнюється водою і перо поступово підіймається уверх. Якщо дощ припинився, перо буде креслити на стрічці горизонтальну лінію.

Плювіограф встановлюють горизонтально на відкритій ділянці, на підставці (рис 6.5) з таким розрахунком, щоб верхній край приладу знаходився на висоті 2 м від земної поверхні. Стрічку плювіографа змінюють щоденно о 19 годині поясного часу. На звороті стрічки вказують

час установки і знімання стрічки, а також виміряну за мірним стаканом кількість опадів, злитих сифоном у відро.

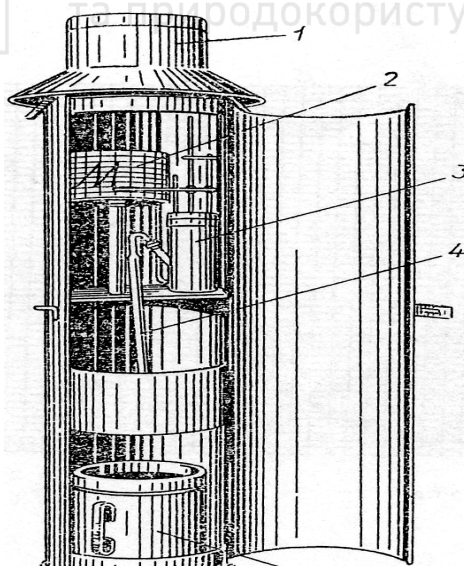
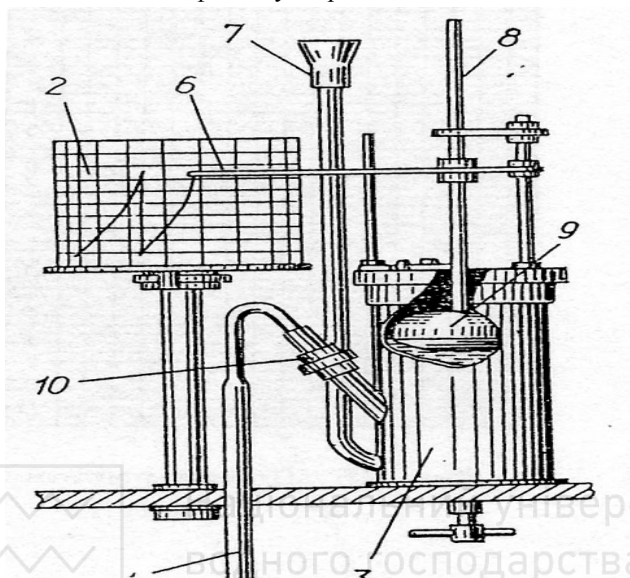


Рис. 6.4.Плювіограф [2]



Восени, з припиненням рідких опадів, з пловіографа виймають барабан і поплавкову камеру та заносять їх в приміщення. Вісь барабана змащують вазеліном, прийомну посудину накривають кришкою, а корпус закривають.

На рис. 6.6 наведений зразок запису дощу. Із запису видно, що дощ почався в 20 год. 40 хв. і поступово з наростаючою інтенсивністю продовжувався до 23 год. 47 хв., коли почав діяти сифон. Після дії сифону дощ продовжувався з постійною інтенсивністю до 0 год. 30 хв., з цього часу дощ шов більш слабкий до 4 год. 50 хв., при цьому о 1 год. 35 хв. був злив сифону. За час з 20 год. 40 хв. до 23 год. 47 хв., тобто за 3 години 07 хвилин (187 хвилин) випало до початку першої дії сифону 10 мм. Між першим і другим зливом сифону з 23 год. 47 хв. до 1 год. 35 хв., тобто за 1 годину 48 хвилин (108 хвилин) випало 9,9 мм опадів і після другої дії сифона з 1 год. 35 хв. до 4 год. 50 хв. випало 3,3 мм.

Усього з початку дощу з 20 год. 40 хв. до 4 год. 50 хв. випало 23,2 мм. На стрічці позначено час накладання стрічки на барабан приладу і час її зняття, а також запис кількості води в контрольній посудині після зливів сифону.

Обробка запису дощу виконується двома способами: а) за рівними інтервалами часу і б) за характерними точками.

Обробка стрічки за рівними інтервалами, наприклад, за годинними відрізками часу, полягає у визначенні кількості опадів за ці проміжки. При цьому, якщо при зміні стрічки перо було встановлено точно на тому місці, де йому відповідно часу належить бути на стрічці, і якщо годинник барабану іде правильно, то кількість опадів за годинні проміжки визначається за різницею ординат в точках перетину кривої запису з відповідними сусідніми вертикальними лініями повних годин відповідно до написів над товстими вертикальними лініями.

Наприклад, кількість опадів (рис.6.6) між 21 і 22 годинами (2,4 мм) знаходимо, якщо від ординати кривої на потовщеній вертикальній лінії, що відповідає 22 год. (2,7 мм), віднімо ординату кривої на вертикальній лінії, що відповідає 21 год. (0,3 мм). Таким чином, визначаємо кількість опадів, що випали між 22 та 23 год.

Для проміжку 23 – 24 год. кількість опадів знаходимо наступним чином: відрахувавши ординату в момент початку дії сифону – 10 мм, віднімо від неї ординату 23-годинної вертикалі – 5,3 мм, одержимо кількість опадів, що дорівнює 4,7 мм. Надалі з ординати, відрахованої на потовщеній вертикальній 24-годинній лінії (після зливу) – 2,0 мм, віднімають ординату, що відповідає моменту закінчення дії сифону, в даному випадку 0,0 мм. Складаючи дві одержані різниці 4,7 мм + 2,0 мм, отримуємо кількість опадів (6,7 мм), які випали за проміжок часу між 23 і 24 годинами. Для подальших годинних інтервалів визначення кількості

опадів проводиться аналогічним способом. Таким чином виконується обробка запису дощу і за іншими, більш короткими інтервалами часу – 5, 20 хвилин. При цьому на ділянках з рівномірним ходом запису ці інтервали можуть бути збільшені.

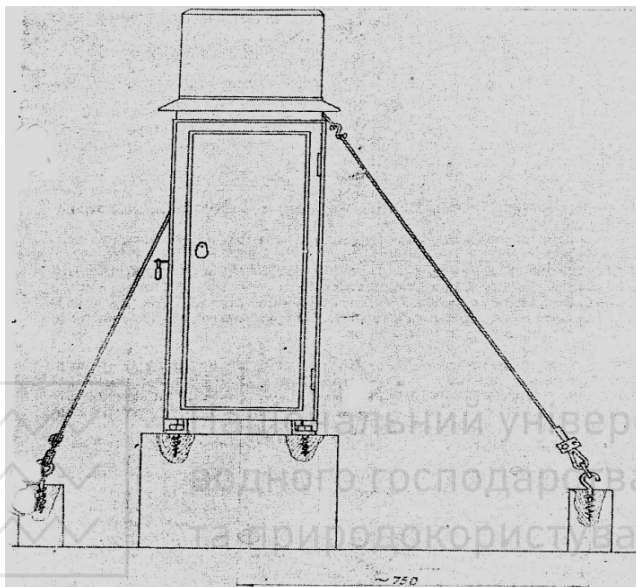


Рис. 6.5. Установка пелювіографа [2]

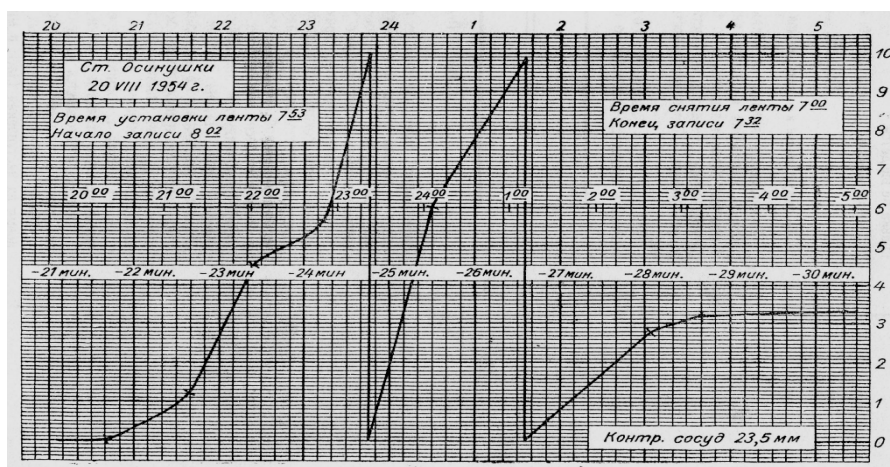


Рис. 6.6. Зразок запису за самописцем дощу [7]



У випадку, якщо перо не було встановлено на стрічці точно за часом і якщо годинник самописця йшов неправильно (відставав або йшов уперед) відносно дійсного часу, слід попередньо розрахувати дійсне положення на стрічці вертикальних годинних ліній, що відповідають цілим годинам, і після цього виконати по них відлік ординат так, як було вказано.

Розглянемо приклад подібної обробки стрічки. Нехай запис почався о 7 год. 53 хв. (рис.6.6), а на стрічці його початок знаходиться вправо від вертикальної лінії «8 год.» на відстані 2 хвилини (внаслідок неточної установки барабану). В цьому випадку першу мітку часу, що відповідає 8 годинам, слід зробити олівцем вправо від лінії «8 год.» на відстані 9 хвилин від неї. Нехай мітка часу, зроблена пером приладу при зніманні (зміні) стрічки на другий день точно о 7 годині ранку, знаходиться також вправо від лінії «7 год.» на відстані 32 хвилини. Отже, протягом доби годинник приладу йшов уперед на  $32 - 9 = 23$  хвилини, тобто в середньому на 1 хвилину за 1 годину. В такому випадку мітки повних годин від 8 годин попередньої доби до 7 годин наступної доби повинні знаходитися вправо від лінії «8 год.», «9 год.», «10 год.» і т. д. на відстанях, які повинні поступово і рівномірно збільшуватися (при відставанні годинника барабана зменшуватися) від 9 хвилин (початкова відстань у 8 годин попередньої доби) до 32 хвилин (остання відстань у 7 годин наступної доби), тобто мітка о 9 годині буде знаходитися вправо від лінії «9 год.» на відстані 10 хвилин, мітка в 10 годин буде знаходитися вправо від лінії «10 год.» на відстані 11 хвилин, ....мітка о 20 годині буде знаходитися вправо від лінії «20 год.» на відстані 21 хвилини, о 21 годині – на відстані 22 хвилини і т. д. (рис.6.6). За нанесеними мітками для цілих годин знімають відлік опадів. В нашому прикладі між 21 і 22 годиною кількість опадів складає  $4,5 - 0,7 = 3,8$  мм.

Обчислена кількість опадів за дощ порівнюється з показом контрольної посудини, вказаними на стрічці. Якщо підрахована за стрічкою кількість опадів не відповідає виміряній контрольною посудиною, то слід ввести поправку. Для цього із кількості опадів, взятої з контрольної посудини, віднімається кількість опадів, отримана по стрічці. Одержана різниця ділиться на число зливів, відмічених на стрічці за дану добу. Частка від ділення додається до кожного відліку кількості опадів, одержаних по запису дощу одразу після зливу. Якщо частка буде менше 0,1 мм., то поправка не вводиться. Для приведеного прикладу (рис.6.6) ця поправка дорівнює  $(23,5 - 23,2) : 2 = 0,15$  мм. Її слід ввести у відлік опадів о 24 годині і о 1 годині.

Обчислена кількість опадів, а також тривалість їх випадіння протягом кожної години (з точністю до 1хв.) заноситься в місячну таблицю у вигляді





дробів, в чисельнику яких ставиться кількість опадів в міліметрах, а в знаменнику – тривалість випадіння опадів в хвилинали.

Обробка запису дощу за характерними точками зводиться до виділення на запису дощу характерних (переломних) точок, для яких визначається час їх настання від початку дощу і кількість опадів, що випали від початку дощу, після чого визначається загальна тривалість дощу і сумарна кількість опадів.

При обробці стрічки увесь запис дощу розбивається на окремі частини, кожна з яких на своїй відстані зберігає приблизно постійний кут нахилу лінії запису, тобто на частини з постійною інтенсивністю дощу.

У випадку нечітко виражених моментів зміни інтенсивності рекомендується використовувати спеціальну прозору палетку (рис.6.7), на якій проведені дві паралельні лінії на відстані 1,5 мм одна від одної. Ця палетка накладається на криву запису дощу таким чином, щоб досліджувана ділянка запису знаходилася посередині між паралельними лініями палетки.

У тих місцях, де крива перетинається з паралельними лініями палетки, відмічають точки перелому (рис. 6.7). Палетку виготовляють з целулоїду або з кальки.

Після виділення характерних точок на кривій визначають час їх настання (години і хвилини) і виконують підрахунок кількості опадів, що випали з моменту початку дощу, враховуючи хід годинника і розмітку годинних ліній.

Якщо дощ йшов з перервами, які не перевищували 1 годину, то такий дощ вважають за один. Якщо перерви перевищували 1 годину, то такі дощі вважаються як окремі.

Розглянемо приклад обчислення поправки на час при розшифруванні стрічки за характерними точками. На рис. 6.6 проти кожної години на стрічці (потовщена лінія) виписані зі знаком мінус кількості хвилин, на які пішов уперед годинник приладу від початку установки стрічки (в 7 год. 53 хв. – постійний початок). Надалі в місцях переломних точок знімають відлік часу за стрічкою, в які вводиться виписана на стрічці поправка, що відповідає даному годинному інтервалу, в якому спостерігався перелом запису.

Наприклад, початок дощу за записом відповідає 20 год. 40 хв. В дійсності ж в проміжок часу з 20 до 21 години годинник приладу пішов уперед від постійного початку на 22 хвилин. Отже, у відлік по стрічці – 20 год. 40 хв. необхідно ввести із знаком мінус поправку, що дорівнює 22 хвилини. виправлений час – 20 год. 18 хв. буде відповідати дійсному моменту початку дощу. Для наступної переломної точки між 21 і 22 годинами поправка складає 23 хвилини і дійсний час її спостереження буде відповідати 21 год. 17 хв. і т. д. Кінець дощу - о 4 год. 20 хв.

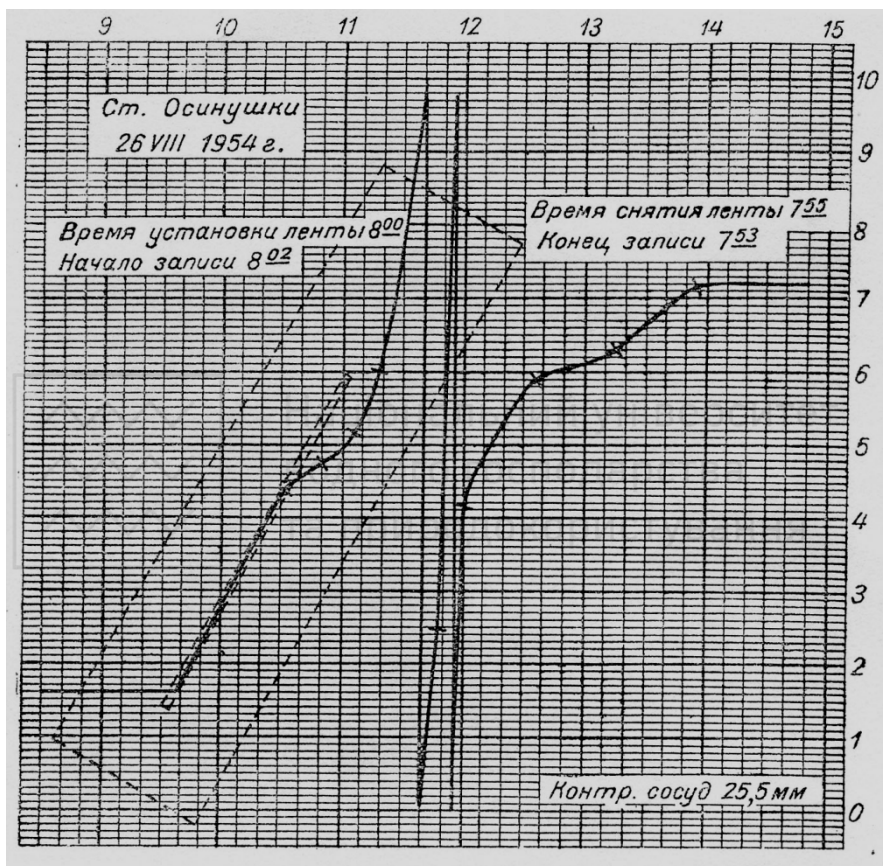


Рис. 6.7. Зразок використання палетки [7]

Якщо, як в даному випадку, протягом годинного проміжку спостерігалось декілька характерних точок, то в кожний відлік вводиться поправка, що відповідає даному годинному інтервалу. Аналогічним способом вводиться поправка на час і при обробці стрічки за малими інтервалами (5, 10 хвилин).



У випадку, якщо часова поправка складає понад 1 хвилину, її величина для проміжних точок знаходиться шляхом інтерполяції між сусідніми значеннями для цілих годин.

При невідповідності кількості опадів, обчислених за стрічкою, кількості опадів, виміряних контрольною посудиною, в запис вводиться поправка на кількість опадів за тим же способом, що і при обробці за годинними інтервалами. Подальша обробка запису дощу за характерними точками полягає в обчисленні кількості опадів за окремі проміжки часу та їх інтенсивності мм/хв. В табл. 6.1 наведено приклад повної обробки запису дощу, розміщених на рис. 6.6 і 6.7.

Таблиця 6.1

Обробка запису дощу [7]

Дата випадіння дощу		Час					Сума опадів від початку дощу, мм			Кількість опадів на інтервал, мм	Тривалість інтервалу, хв.	Інтенсивність дощу за інтервал, мм / хв.
		по стрічці		поправки	виправле- ний		по стрічці	поправка	виправлена			
рік	число	год.	хв.		год.	хв.						
1954	20.8	20	40	-23	20	18						
		21	40	-23	21	17	1.2	-	1.2	1.2	59	0.04
		22	23	-24		59	4.2	-	4.2	3.0	42	0.07
		23	12	-25	22	47	5.5	-	5.5	1.3	48	0.03
		47	-25	23	22		10.0	-	10.0	4.5	35	0.13
		0	30	-26	0	04	16.0	0.15	16.2	6.2	12	0.52
		1	35	-27	1	12	19.9	-	21.1	4.9	68	0.07
		3	05	-28	2	37	22.7	0.15	22.0	0.9	85	0.01
		40	-29	3	11		23.1	-	23.4	1.4	34	0.04
		4	50	-30	4	20	23.2	-	23.5	0.1	69	0.00
Всього										23.5	8 год. 02 хв.	
	26.8	9	38	0	9	38						
		10	32	0	10	32	2.7	-	2.7	2.7	52	0.05
			50	0		50	3.1	-	3.1	0.4	18	0.02
		11	07	0	11	07	3.5	-	3.5	0.4	17	0.02
			19	0		19	4.4	-	4.4	0.9	12	0.07
			40	0		40	8.4	-	8.4	4.0	21	0.19
			48	0		48	10.9	0.0	10.9	2.5	8	0.31
			53	0		53	18.2	-	18.2	7.3	5	1.46
		12	00	0	12	00	22.3	0.0	22.3	4.1	7	0.58
			35	0		35	24.1	-	24.1	1.8	35	0.05
		13	16	0	13	16	24.5	-	24.5	0.4	19	0.02
			53	0		53	25.4	-	25.4	0.9	37	0.02
		Всього										25.4



За даними таблиці (графи 6, 7 і 13) можна побудувати графік ходу дощу в часі, який дозволяє наочно судити про найбільш інтенсивні частини дощу.

## **6.2. СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СНІГОВИМ ПОКРИВОМ**

Опади в зимовий період можуть випадати переважно у вигляді снігу. Утворюється сніговий покрив, який відіграє велику роль у тепловому балансі і режимі вологості ґрунту і повітря.

Сніг має малий коефіцієнт теплопровідності, що дозволяє захистити ґрунт від глибокого промерзання і різких коливань температури. Найкраще захищає ґрунт від охолодження свіжий крихкий сніг. Із збільшенням щільності снігу коефіцієнт теплопровідності збільшується і тим самим зменшується його роль як теплового ізолятора.

Велика відбивна здатність (до 90%) і відносна випромінювальна здатність (до 99,5%) снігового покриву запобігають прогріванню його поверхні. Малий коефіцієнт теплопровідності зменшує надходження тепла від ґрунту до поверхні снігового покриву. В ясну погоду радіаційний баланс поверхні снігового покриву завжди від'ємний, а її температура нижча за температуру прилеглих шарів повітря. Сніговий покрив – важливе джерело зволоження ґрунту навесні.

Основні величини, що характеризують сніговий покрив: тривалість залягання, його висота, його щільність.

Щільність снігу – відношення маси проби снігу до її об'єму або вага 1 см<sup>3</sup> снігу. Крихкий свіжий сніг має щільність біля 0,05 г/см<sup>3</sup>. В кінці зими щільність зростає до 0,4 – 0,7 г/см<sup>3</sup>.

Теплопровідність снігу прямо пропорційна його щільності. Коефіцієнт теплопровідності складає 0,13 – 0,25 Вт/(м · град) при середній щільності 0,2 – 0,3 г/см<sup>3</sup>, тобто теплопровідність снігу приблизно в 10 разів менша, ніж ґрунту.

Висота і щільність снігу дозволяють розрахувати запас води в сніговому покриві, що має значний практичний інтерес.

Спостереження за сніговим покривом – щоденні спостереження за змінами снігового покриву і періодичні ландшафтно-маршрутні снігомірні зйомки для визначення накопичення снігу і запасу води в сніговому покриві за елементами природного ландшафту.

### **6.2.1.ЩОДЕННІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СНІГОВИМ ПОКРИВОМ**

Ці спостереження виконують на метеорологічних станціях і вони складаються із визначення ступеня покриття сніговим покривом;



визначення висоти снігового покриву і його структури; наявності і товщини льодової кірки; визначення стану ґрунту під снігом.

Ступінь покриття снігом оточуючої місцевості визначають шляхом її огляду. Він виконується завжди з одного і того ж підвищеного місця поблизу метеорологічної станції. Оцінюють ступінь в балах за десятибальною шкалою. Один бал дорівнює 0,1 частини оточуючої місцевості. Якщо снігом покрита вся видима місцевість, то це – 10 балів. Якщо снігом покрита половина, то записують 5 балів. Якщо є лише окремі невеликі плями снігу і ступінь покриття менший за 1 бал, то записують 0.

Характер залягання снігового покриву визначають візуально, використовуючи таку шкалу: а) рівномірний (без кучугур); б) помірно – нерівномірний (невеликі кучугури); в) дуже нерівномірний (великі кучугури); г) з проталинами; д) лежить тільки плямами.

Ступінь покриття і характер залягання снігового покриву визначають в ранковий строк спостережень або дещо пізніше, після сходу Сонця.

Висоту снігу на метеорологічних станціях вимірюють в декількох місцях, оскільки навіть на невеликій площі він залягає нерівномірно. Для цього застосовують снігомірні рейки – постійні і переносні.

Постійна рейка (рис.6.8) являє собою дерев'яний брусок довжиною біля 2 м, шириною 5 – 6 см і товщиною 2 – 3 см. Рейка пофарбована білою фарбою. На лицевій стороні рейки нанесена шкала в сантиметрах. Кожна непарна поділка фарбується чорною фарбою. Поділки кратні 10 підписують цифрами.

Висоту снігового покриву визначають на двох ділянках: захищеній і відкритій або тільки на відкритій. Рейки на цих ділянках встановлюють з осені до початку снігопадів. Захищену ділянку вибирають в місці, де немає умов для накопичення снігу у вигляді кучугури. Відкриту ділянку вибирають в місці, доступному вільній дії вітру. У більшості випадків таким місцем є метеорологічна площадка. На вибраній ділянці встановлюють по три рейки на відстані приблизно 10 м одна від одної на вершинах рівностороннього трикутника. Рейки нумерують, розташування і нумерація рейок зберігається з року в рік. На метеорологічній площадці одну з рейок розташовують поблизу втяжних (глибинних) термометрів.

Постійну рейку встановлюють на дерев'яний загострений брусок довжиною 40 -50 см із запиленою сходинкою, яка повинна знаходитися на поверхні землі (рис.6.8).

Відлік за усіма трьома рейками виконують щоденно в строки, найближчі до 8 год. поясного декретного (зимового) часу. При цьому підходити до рейок необхідно не ближче, ніж на 2 – 3 м, щоб не порушувати залягання снігового покриву. Відлік беруть з точністю до 1 см. З вимірювань за трьома рейками беруть середнє значення (в цілих



сантиметрах). Наприклад: відлік по рейках – 27; 23; 17 см. Середня висота дорівнює  $(27 + 23 + 17) / 3 = 22,3$  см. Записують 22 см.

У тих випадках, коли восени не змогли встановити постійну рейку, висоту снігового покриву можна вимірювати за допомогою переносної рейки, яку встановлюють в точках постійних рейок.

### 6.2.2. ПЕРІОДИЧНІ ЛАНШАФТНО–МАРШРУТНІ СНІГОМІРНІ ЗЙОМКИ

Сутність цих зйомок полягає у вимірюванні висоти і щільності снігового покриву за задалегідь (восени) вибраним маршрутом довжиною 1 – 2 км, який охоплює характерні місця за умовами рельєфу, рослинності і підстильної поверхні.

Частота зйомок – 1 раз в декаду. Перед весняним сніготаненням і в період сніготанення зйомки проводять частіше (1 раз в 5 днів).

Маршрути розташовують на відстані не більше 5 км від станції. В лісостеповій зоні з горбистим рельєфом довжина маршруту 2000 м. Тут вимірювання ведуть через 20 м (висота снігового покриву) і через 200 м (щільність снігу). В лісовій зоні і при рівнинному рельєфі, на невеликих полях, довжина маршруту 1000 м. Висоту снігу вимірюють через 20 м, а щільність – через 100 м.

Основними приладами при снігомірній зйомці є переносна рейка і ваговий снігомір.

Переносна рейка (рис.6.8) – це дерев'яний брусок розміром  $180 \times 4 \times 2$  см, нижній кінець якого загострений і оббитий залізом. На лицевій стороні рейки нанесені поділки в сантиметрах. Початок поділок збігається з нижнім ребром наконечника. При вимірюваннях висоти снігового покриву переносну рейку загостреним кінцем вертикально опускають в сніг до поверхні ґрунту. Рейка повинна торкатися поверхні ґрунту, але не входити в землю гострим кінцем.

Ваговий снігомір ВС – 43 застосовують для вимірювання щільності снігу (рис.6.9). Прилад складається з металевого циліндра 9 з площею перетину  $50 \text{ см}^2$  і ваг-безмена 1. На одному кінці циліндра знаходиться товсте кільце з гостроконечними краєм у вигляді пилки 7. На другий кінець надягають кришку 10 з багнетним затвором. На зовнішній стороні циліндра нанесена шкала із сантиметровими поділками від 0 до 60 см. Нульова поділка шкали збігається з нижнім зрізом заточеного кільця. Вздовж циліндра вільно переміщується металеве кільце 8 з прикріпленою до нього дужкою 6 для підвішування циліндра до ваг.

Ваги снігоміра складаються з латунної лінійки, яка розділена призмю на два нерівних плеча. Призма направлена загостренням вниз і розташована під покажчиком-стрілкою 3. На цю призму надягають підвіс

4, за кільце якого спостерігач тримає ваги. На кінці меншого плеча за допомогою другої призми кріпиться гачок 5 для підвішування циліндра. На більшому плечі нанесені поділки (від 0 до 30), кожна поділка відповідає 5 г. На цьому плечі знаходиться рухома гиря 2 з прорізом, через який видно шкалу лінійки. В центрі твору є риска, за допомогою якої роблять відлік по лінійці. Положення рівноваги визначають за збігом покажчика-стрілки з рисою на підвісі. При зважуванні порожнього циліндра риска на гирі повинна стояти на нульовій поділці. Якщо при рівновазі гирі риска на ній не збігається з нульовою поділкою, то її нове положення приймають за нуль і поправку на нуль враховують в усіх подальших розрахунках.

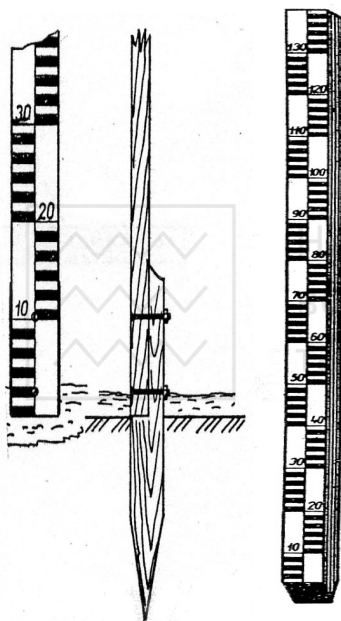


Рис. 6.8. Снігомірні рейки [2]

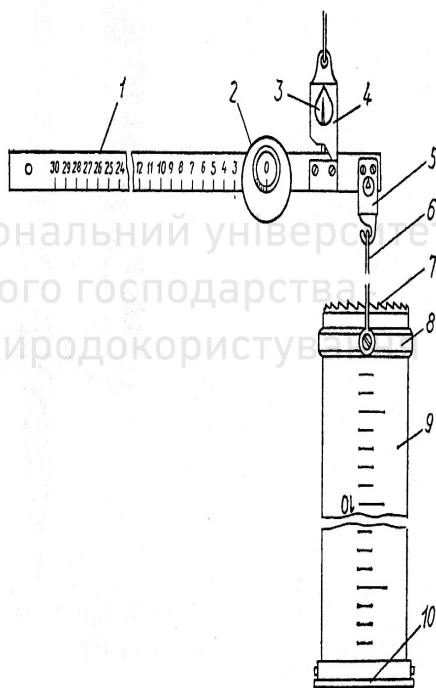


Рис. 6.9 Ваговий снігомір[2]

Спостереження за ваговим снігоміром проводять у такому порядку. Приблизно за 30 хв. перед спостереженнями снігомір виносять з приміщення. Це необхідно для того, щоб прилад прийняв температуру оточуючого повітря. В іншому випадку під час спостережень сніг буде



прилипати до відносно теплих стінок циліндра, що може утруднити роботу спостерігача. Після цього циліндр, слабо натискуючи, занурюють в сніг і визначають висоту снігового покриву за шкалою циліндра.

Надалі лопаткою, яка входить в комплект снігоміра, зчищають сніг з однієї його сторони і акуратно підводять лопатку під циліндр для того, щоб увесь сніг залишився в ньому. Обережно виймають циліндр із снігу і перевертають кришкою вниз. Після цього проводять зважування, визначаючи число поділок на шкалі лінійки ( $n$ ). В тих випадках, коли сніговий покрив перевищує висоту циліндра, пробу снігу усій товщі беруть в декілька прийомів. Коли висота снігу менша, ніж 5 см, щільність снігу не визначають. При визначенні щільності на ділянці з постійними рейками роблять три вимірювання і щільність обраховують як середнє із результатів цих вимірювань. В тих випадках, коли при взятті проб під снігом буде виявлена вода, то висоту її шару вимірюють з точністю до 1 мм. При визначенні щільності снігу необхідно також виміряти товщину льодової кірки (мм), яка може знаходитися на поверхні, в середині або під сніговим покривом. Крім цього, вимагається визначити стан ґрунту під снігом (мерзлий або талий) і структуру снігового покриву. Остання визначається, виходячи із розмірів часток снігу, його пухкості і вологості.

Обчислення щільності снігового покриву виконують шляхом ділення маси кожної проби снігу на її об'єм. Маса проби дорівнює ціні однієї поділки шкали лінійки 5г, помноженої на число поділок ( $n$ ), відрахованому за допомогою лінійки, тобто маса проби дорівнює  $5n$ . Об'єм проби дорівнює площі перетину снігоміра  $50\text{ см}^2$ , помноженому на висоту проби в см ( $h$ ), відрахованій за шкалою циліндра, тобто об'єм проби ( $\text{см}^3$ ) дорівнює  $50h$ . Таким чином, щільність снігу ( $d$ ), в  $\text{г/см}^3$  дорівнює

$$d = \frac{5n}{50h} = \frac{n}{10h} . \quad (6.1)$$

Запас води в снігові визначається товщиною шару води в міліметрах, який отримують при таненні снігу. Його визначають наступним чином. Маса взятої проби снігу одночасно є масою води у взятій пробі в грамах. В той же час маса проби є об'ємом води в пробі в кубічних сантиметрах, оскільки  $1\text{ см}^3$  дорівнює 1 г. Якщо розділити об'єм води в пробі снігу на поперечний перетин циліндра  $50\text{ см}^2$ , то одержують висоту шару води, яка утворюється при таненні снігу. Маса взятої проби снігу дорівнює  $5n$ . Об'єм води в пробі також дорівнює  $5n$ . Запас води в снігу ( $p$ ) в міліметрах одержують діленням об'єму води на площу поперечного перетину циліндра і множенням результату на 10 (для переведення в міліметри), тобто





$$p = \frac{5 \times 10}{50} = n. \quad (6.2)$$

Таким чином, запас води в снігу в міліметра дорівнює числу поділок лінійки ваг.

Запас води в снігу може бути також розрахований за формулою

$$p = h \cdot d \cdot 10, \quad (6.3)$$

де  $h$  – висота снігового покриву, см;  $d$  – щільність снігу, г/см<sup>3</sup>.

### **Завдання 1. Вимірювання кількості опадів опадоміром Третьякова і польовим дощоміром**

*Для виконання завдання необхідно мати опадомірне відро, мірний стакан, польовий дощомір.*

1. Ознайомитися з будовою опадоміра Третьякова і польового дощоміра, правилами установки цих приладів на метеорологічній площадці.
2. Виміряти кількість опадів за допомогою опадоміра. Для цього попередньо налити у відро небагато води. Надалі перелити воду в мірний стакан, відрахувати число поділок на стакані, перевести поділки стакана в мм шару води. Таку операцію повторити 3 – 4 рази. Результати записати по формі.
3. Виміряти кількість опадів за допомогою польового дощоміра. Для цього налити в нього небагато води і відрахувати число поділок. Операцію провести 3 - 4 рази. Результати записати за формою.

Прилад	Кількість поділок стакана	Кількість опадів, мм

*Звіт про виконання завдання повинен складатися зі схеми опадоміра і польового дощоміра, результатів вимірювання опадів, короткого опису пунктів завдання.*

### **Завдання 2. Ознайомлення з плевіографом і обробкою плевіограм**

*Для виконання завдання необхідно мати розбірний екземпляр плевіографа, стрічку плевіографа із записом дощу.*

1. Ознайомитися з будовою плевіографа і призначенням його основних частин.



2. Розглянути правила установки плювіографа на метеорологічній площадці.
3. Обробити плювіограму способом характерних точок, результати звести в таблицю (зразок табл.6.1).

*Звіт про виконання завдання повинен складатися зі схеми плювіографа, обробленої стрічки плювіографа з результатами розрахунків, короткого опису пунктів завдання.*

### Завдання 3. Вимірювання висоти і щільності снігу

*Для виконання завдання необхідно мати ваговий снігомір і переносні снігомірні рейки.*

1. Ознайомитися з методикою спостережень над сніговим покривом і величинами, які його характеризують.
2. Розглянути будову снігомірних рейок і вагового снігоміра.
3. На вибраному майданчику визначити в трьох точках висоту снігового покриву за допомогою переносної снігомірної рейки. Результати записати в таблицю.
4. На вибраному майданчику за допомогою вагового снігоміра провести потрібне визначення щільності снігу. Результати записати в таблицю.
5. Обчислити запаси води в снігу. Результати записати в таблицю по формі.

Місце спостережень

Дата

Відлік по рейці, см				Відлік по шкалі циліндра, см				Відлік за лінійкою ваг, п			
1	2	3	Ср.	1	2	3	Ср.	1	2	3	Ср.

Місце спостережень

Дата

Щільність снігу $d$ , г/см <sup>3</sup>				Запас води в снігу		Відмітка про льодову кірку та її товщину
1	2	3	Ср.	мм	т/га	

*Звіт про виконання завдання повинен включати: схему вагового снігоміра; запис результатів спостережень; короткий опис пунктів завдання.*



## 7. СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА НАПРЯМОМ І ШВИДКІСТЮ ВІТРУ

Атмосферний тиск на поверхні земної кулі розподіляється нерівномірно. В результаті повітря постійно переміщується з одних місць в інші. Вітер – це рух атмосферного повітря відносно земної поверхні, в якому переважає горизонтальна складова, тобто це горизонтальний рух повітря відносно земної поверхні.

Горизонтальний баричний градієнт виражає зміну атмосферного тиску в горизонтальному напрямі. Баричний градієнт – це вектор, направлений по перпендикуляру (по нормалі) до ізобари в сторону низького тиску, який за величиною дорівнює зміні тиску на одиницю відстані. За одиницю відстані можна прийняти довжину одного градуса меридіана (111 км). Зараз за одиницю відстані приймають 100 км, тобто градієнт виражають в гПа/100 км.

Від величини баричного градієнта залежить швидкість вітру. Встановлено, що швидкість вітру (м/с) наближено дорівнює потроєній величині градієнта. При криволінійних ізобарах напрям градієнта в кожній точці збігається з напрямом перпендикуляра до цієї ізобари, яка проходить через дану точку.

Рух повітря, який виникає під дією баричного градієнта, проходить не точно по напрямку цього градієнта, тобто не по прямій лінії від високого тиску до низького, а по більш складній траєкторії, обумовленій взаємодією сили гравітації з відхиляючою силою обертання Землі, з відцентровою силою і з силою тертя.

Спостереження над вітром складаються з вимірювання швидкості та напрямку вітру і в оцінці характеру вітру, тобто ступеня його нестійкості.

Напрямок вітру – це точка горизонту, звідки дме вітер. Напрямок вітру можна оцінювати через азимут, тобто – кут між напрямом і меридіаном. У першому випадку використовують 16 точок горизонту, які називаються румбами. Якщо напрям характеризується кутом з меридіаном, то відлік ведеться з півночі за годинниковою стрілкою (табл. 7.1).

Таблиця 7.1

Назви і позначення румбів [2]

№ п/п	Назва	Позначення		Градуси
		українські	міжнародні	
1	Північний	Пн	N	0 = 360
2	Північно-північно-східний	ПнПнСх	NNE	22,5
3	Північно-східний	ПнСх	NE	45,0
4	Східно-північно-східний	СхПнСх	ENE	67,5
5	Східний	Сх	E	90,0
6	Східно-південно-східний	СхПдСх	ESE	112,5
7	Південно-східний	ПдСх	SE	135,0



8	Південно-південно-східний	ПдПдСх	SSE	157,5
9	Південний	Пд	S	180,0
10	Південно-південно-західний	ПдПдЗх	SSW	202,5
11	Південно-західний	ПдЗх	SW	225,0
12	Західно-південно-західний	ЗхПдЗх	WSW	247,5
13	Західний	Зх	W	270,0
14	Західно-північно-західний	ЗхПнЗх	WNW	292,5
15	Північно-західний	ПнЗх	NW	315,0
16	Північно-північно-західний	ПнПнЗх	NNW	337,5

В авіації при розрахунках використовують навігаційний вітер. Його напрям визначають за тією частиною горизонту, куди направлений повітряний потік. Напрямок навігаційного вітру відрізняється від виміряного напрямку на 180°.

Швидкість вітру виражають в метрах за секунду (м/с), кілометрах за годину (км/г) і у вузлах (морських милях за годину). Для візуальної оцінки швидкості вітру використовують бали по шкалі адмірала Бофорта. Ця шкала зв'язує швидкість вітру з різними його ефектами. За цією шкалою увесь інтервал можливих швидкостей ділять на 12 градацій. Кожна градація має визначену назву (табл. 7.2).

Таблиця 7.2

Таблиця вітрів [2]

Бали Бофорта	Швидкість вітру, м/с	Характеристика вітру	Вплив вітру на наземні об'єкти
0	0-0,5	Штиль	Дим з труб підіймається вертикально; листя нерухоме
1	0,6-1,7	Тихий	Дим з труб підіймається з нахилом; листя нерухоме
2	1,8-3,3	Легкий	Листя шелестить відчувається легке віяння
3	3,4-5,2	Слабкий	Листя і тонкі гілки дерев постійно коливаються; майорять прапори
4	5,3-7,4	Помірний	Підіймається з землі пил і клаптики паперу; приходять в рух тонкі гілки
5	7,5-9,8	Свіжий	Гойдаються тонкі стовбури дерев; на воді з'являються хвилі
6	9,9-12,4	Сильний	Гойдаються товсті гілки дерев; гудять телефонні дроти



Продовження табл.7.2

7	12,5-15,2	Міцний	Гойдаються стовбури невеликих дерев, гнуться великі гілки; утруднена хода проти вітру
8	15,3-18,2	Дуже міцний (шторм)	Ламаються тонкі і сухі гілки дерев; утруднений рух
9	18,3-21,5	Сильний шторм	Ламаються великі гілки дерев; здійснюються з місця легкі предмети; ушкоджуються дахи
10	21,6-25,1	Міцний шторм	Виникають значні ушкодження; дерева вивертаються з корінням
11	25,2-29,0	Жорсткий шторм	Утворюються великі руйнування
12	Понад 29,0	Ураган	Проходить спустошення

Застосовують якісну характеристику ступеня мінливості вітру за напрямом і швидкістю. За напрямом вітер буває постійний або мінливий. За швидкістю вітер буває рівний або поривчастий. Коли напрям вітру протягом 2 хвилин змінюється більше, ніж на один румб, то це – мінливий вітер. Коли швидкість вітру протягом 2 хвилин змінюється на 4 м/с і більше, то це – поривчастий вітер. Короткочасне посилення вітру до 20 м/с і більше із значною зміною напрямку називається шквалом.

Основними приладами для вимірювання напрямку і швидкості вітру є флюгер Вільда, анеморумбометри, вітромір Третьякова, анемометри.

Флюгер Вільда – один з найбільш розповсюджених приладів для спостережень за напрямом і швидкістю вітру на метеорологічних станціях. Він складається з чотирьох частин: флюгарка; роза вітрів; показчик швидкості вітру; стержень (рис. 7.1).

Флюгарку 1 використовують для визначення напрямку вітру. Вона складається з металевої трубки 5, яка в нижній частині має дві лопаті, що розходяться під кутом 20° і противаги, що включає залізний стержень із врівноважальною гирею 4. Трубка насаджена вертикально на основний стержень 2. Трубка навколо стержня вільно обертається при зміні напрямку вітру. Під впливом вітру флюгарка встановлюється за напрямом вітру, при цьому противага буде направлена в ту сторону, звідки дме вітер.

Роза вітрів насаджена на нижню частину стержня. Вона являє собою муфту 3 з вісьмома штифтами, яка наглухо закріплена до стержня. На одному із штифтів закріплена металева літера С (або N), тобто північ. Цей штифт при установці флюгера повинен бути направленим точно на північ.

Показчик швидкості вітру закріплений у верхній частині трубки 5 (на тій стороні, де знаходяться лопаті флюгарки). Показчик являє собою



металеву раму 9, на якій на горизонтальній осі 8, перпендикулярній напрямку флюгарки, вільно підвішена прямокутна металева дошка 6. Збоку до рами закріплена дуга 10, яка має вісім штифтів (з нумерацією від 0 до 7). Дуга врівноважується гирею 7.

Під дією вітру дошка, яка має розмір 15×30 см і масу 200 г (легка дошка, лд) відхиляється від горизонтального положення на деякий кут і займає положення навпроти того або іншого штифта. Кожному штифту відповідає своя швидкість вітру (табл. 7.3). В місцях, де спостерігаються великі швидкості вітру, встановлюють другий флюгер, дошка якого при тих же розмірах важить 800 г (важка дошка, вд). Таким чином, на метеостанції може бути встановлено два флюгери, з легкою і важкою дошками.

Таблиця 7.3

Співвідношення між швидкістю вітру (м/с) і номером штифту[2]

Тип дошки	Номер штифту на покажчику швидкості вітру на флюгері													
	0	0-1	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	5-6	6	6-7
лд	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	17
вд	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	28	34

За допомогою першого флюгера вимірюють швидкості вітру від 0 до 20 м/с., за допомогою другого – до 40 м/с.

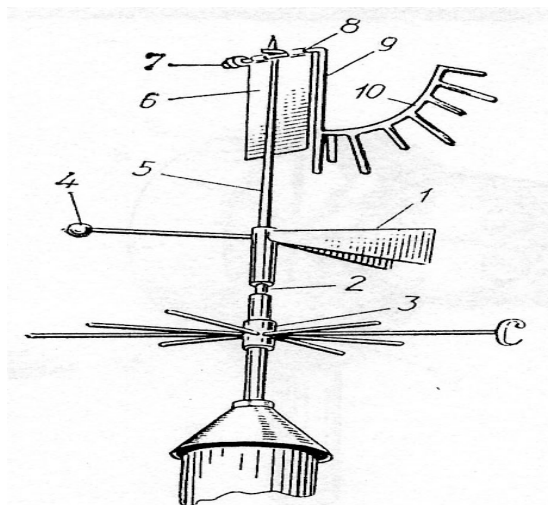


Рис 7.1. Флюгер Вільда [2]



Для зручності штифти роблять різної довжини: парні штифти – довші; непарні – коротші. Нульова позначка штифта відповідає прямовисному положенню дошки.

Флюгер встановлюють вертикально на металевій щоглі на висоті 10-12 м від поверхні землі. Флюгер встановлюють від найближчих перешкод на відстані не менше 10-кратної висоти цієї перешкоди.

При визначенні напрямку вітру спостерігач повинен стояти біля щогли і протягом 2 хвилин слідкувати за положенням протизаги флюгарки відносно штифтів. Він повинен визначити середнє положення коливань протизаги, яке і буде характеризувати напрям вітру в момент спостереження.

При визначенні швидкості вітру спостерігач повинен дещо відійти від щогли флюгера і стати так, щоб дошку і дугу з штифтами було добре видно. Він повинен протягом 2 хвилин спостерігати коливання дошки і визначити номери штифтів дуги, біля яких або між якими було її середнє положення. Воно буде характеризувати швидкість вітру в момент спостереження.

В книжці спостережень записують напрям вітру і номер штифту, біля якого (або між якими) спостерігалася середнє положення дошки, вид дошки. Поруч, в дужках записують швидкість вітру в м/с. Наприклад: NE 3-4 л (7 м/с); S 6т (28 м/с). При сильному вітрі фіксують також крайнє положення дошки, куди вона доходить протягом 2 хвилин.

Анеморумбометри М-63-М1 і М-63М-М1 (рис.7.2) застосовують для вимірювання середньої за 10 хвилин, миттєвої і максимальної швидкості вітру і визначення осередненого напрямку вітру. Обидва прилади належать до дистанційних і на мережі метеорологічних станцій зараз вони є основним засобом для вимірювання характеристик вітру.

Межі вимірювань швидкості вітру від 1.5 до 60 м/с; похибка вимірювань швидкості  $\pm (0,5+0,052 v)$ , м/с; похибка вимірювання напрямку  $\pm 10^\circ$ ; початкова чуттєвість за швидкістю 0,6 м/с, по напрямку  $1^\circ$ ; дистанційність -5 км.

Установка складається з блоку датчиків напрямку і швидкості вітру, вимірювального пульта, блоку живлення. Перетворювачі швидкості і напрямку вітру виконані у вигляді одного блоку датчиків, який складається з флюгера у вигляді сигароподібного корпусу із стабілізатором у хвостовій частині і датчика швидкості у вигляді чотирьохлопатевого повітряного гвинта. Під дією флюгарки площа обертання гвинта розташовується перпендикулярно до напрямку повітряного потоку. Швидкість обертання гвинта пропорційна швидкості вітру.

Корпус разом із зовнішньою трубкою на шарикопідшипниках вільно обертається на вертикальному, нерухомому стояку, закріпленому на щоглі. В середині корпусу і зовнішньої труби розміщені кінематичні і електричні

елементи, які перетворюють виміряні величини в електричні імпульси, які по кабелю надходять на вимірювальний пульт.

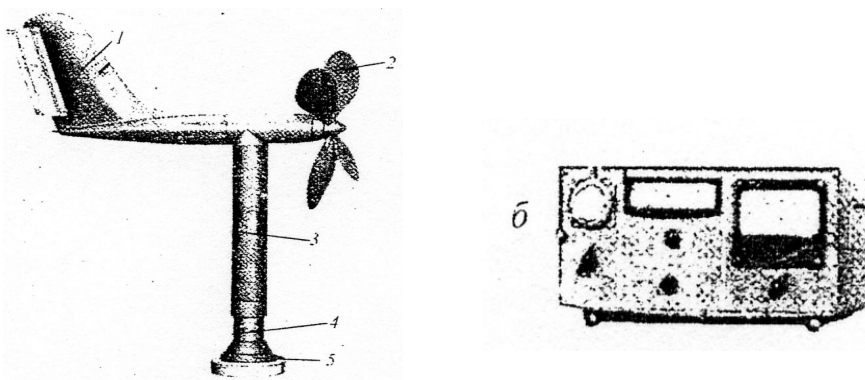


Рис. 7.2. Анеморумбометр М-63М [4]

Вимірювальний пульт являє собою настільний прилад, лицевій панелі якого розміщені шкали швидкостей і напрямів вітру, кнопки вмикання приладу, перемикання шкал, скиду показів, індикатори та ін. В моделі анеморумбометра М-63М-1М інформація про швидкість вітру висвічується на цифровому табло.

Блок живлення забезпечує роботу приладу від мережі перемінного струму і від акумуляторних батарей без підзарядки протягом 3-5 діб (аварійний режим).

Анемометр ручний механічний (чашковий) МС-13 (рис.7.3) застосовують для вимірювання середньої швидкості повітря за деякий проміжок часу, який визначають за секундоміром. Межі вимірювання швидкості від 1 до 20 м/с; початкова чуттєвість 0,8 м/с, похибка вимірювання  $\pm (0,3 + 0,06v)$  м/с.

Прийомною частиною анемометра є невелика хрестовина 2 з чотирма пустотілими півкулями, які направлені опуклими поверхнями в одну сторону. Хрестовина закріплена на вертикальній осі 1, нижній кінець якої закінчується черв'ячною передачею. Півкулі захищені від механічних пошкоджень дротяними дужками 3. Безкінечний гвинт при своєму обертанні приводить в рух систему зубчатих коліс, які передають рух трьом стрілкам рахункового механізму. Циферблат 5 рахункового механізму має три шкали, за якими відраховують оберти хрестовини. За двома маленькими стрілками відраховують сотні і тисячі обертів, по великій – десятки і одиниці.



Рахунковий механізм поміщено в корпус 4, в нижній частині якого є гвинт 8 для установки анемометра на дерев'яній щоглі. Вмикання і вимикання рахункового механізму виконують за допомогою аретира. Його кінець розташований збоку корпусу і має вигляд рухливого кільця 6.

В корпусі приладу по обидві сторони від кінця аретира вмонтовано два вушка 7, за допомогою яких виконують вмикання і вимикання приладу, коли він встановлений вище рівня очей спостерігача. Для цього до кільця аретира прив'язують шнурок, а його кінці пропускають через вушка. Якщо потягнути за шнурок нижнього вушка, то рахунковий механізм буде вимкнений, а за шнурок верхнього вушка – увімкнений.

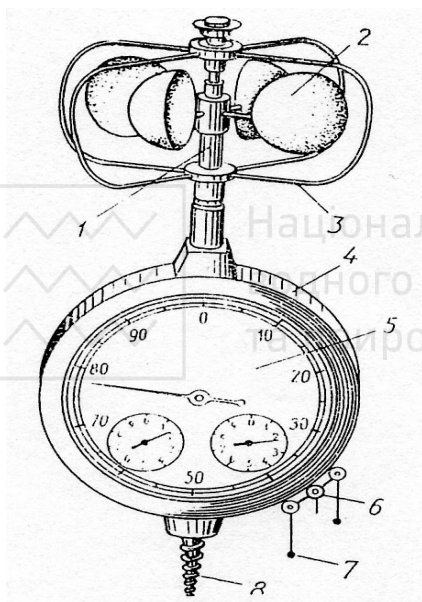


Рис. 7.3. Анемометр чашковий [2]

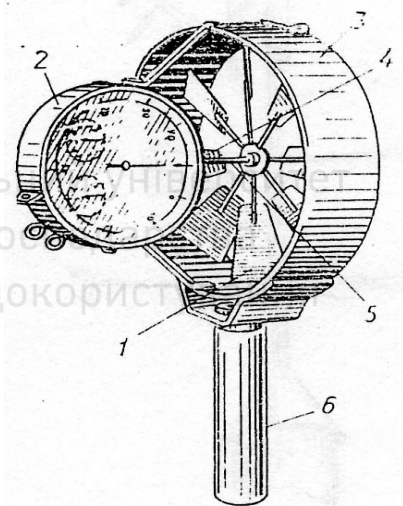


Рис. 7.5. Анемометр крильчатий [2]

Для вимірювання швидкості вітру анемометр встановлюють вертикально на дерев'яній щоглі, на висоті біля 2 м. Нахил анемометра впливає на результати спостережень. Анемометр повинен бути повернутим циферблатом перпендикулярно до напрямку вітру, а спостерігач стає обличчям проти вітру. Місце установки анемометра на станції повинне бути постійним і з усіх сторін доступним вітру.

Перед початком спостережень при вимкненому рахунковому механізмі записують покази приладу (записують по циферблатах тисячі, сотні,

десятки і одиниці обертів). Через 1-2 хвилини, коли швидкість обертання хрестовини встановиться, рахунковий механізм вмикають і одночасно включають секундомір. Через визначений час роботи анемометра (найчастіше всього анемометр включають на 5-10 хвилин) рахунковий механізм та секундомір вимикають і записують покази приладу і секундоміра. Різниця між першим і другим показом, розділена на час роботи анемометра в секундах, дає число поділок рахункового механізму в одну секунду (швидкість обертання хрестовини). Для грубих розрахунків одержане число можна використати як швидкість вітру в м/с.

До кожного анемометра додається повірочне свідоцтво у вигляді графіка або переводної таблиці (рис.7.4). По ньому, знаючи швидкість обертання хрестовини, можна більш точно визначити швидкість вітру в м/с. Наприклад: необхідно обчислити швидкість вітру за анемометром, якщо відлік перед спостереженням 2179, після спостережень 3619 і анемометр був увімкнений на 5 хвилин. Спочатку знаходять число поділок рахункового механізму в одну секунду, тобто  $(3619 - 2179):300 = 4,8$  об./с. З повірочного свідоцтва визначають швидкість вітру. В даному випадку швидкість дорівнює 4,5 м/с.

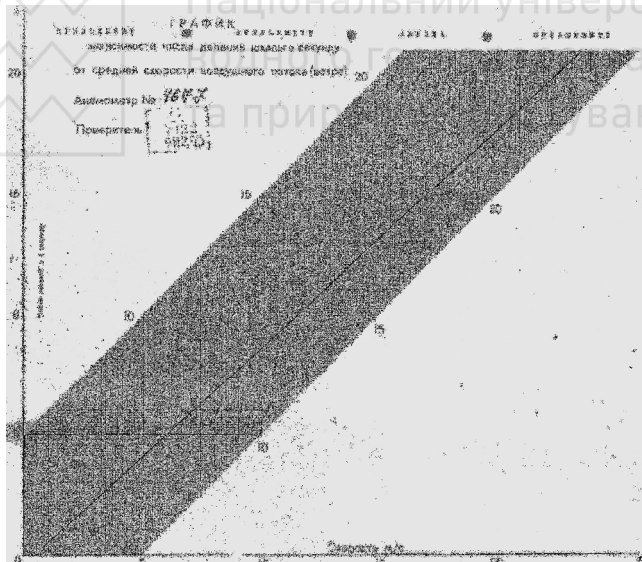


Рис. 7.4. Повірочне свідоцтво анемометра

Чашковий анемометр дає вірні покази до тих пір, поки напрям вітру горизонтальний і співпадає з площиною хрестовини. Коли вітер дме на хрестовину під гострим кутом, то хрестовина, при однаковій швидкості



вітру, зменшує швидкість свого руху і дає змінені покази. Якщо кут зростає і досягає 60-70°, то хрестовина на вітрі не обертається, а при подальшому збільшенні кута обертається в протилежну сторону і зменшує покази рахункового механізму. Тому чашковим анемометром не можна користуватися в тих місцях, де напрямок руху повітряної маси може суттєво відрізнятися від горизонтального, наприклад, на схилах гір, поблизу дерев і будівель і т.п.

Анемометр ручний механічний (крильчатий) (рис. 7.5) застосовують для вимірювання середньої швидкості вітру від 0,3 до 5 м/с. початкова чуттєвість крильчатого анемометра біля 0,1 м/с.

Прийомною частиною приладу є легке вітрове колесо 1 з вісьмома лопатями, змонтованими на трубці 5, яка насаджена на натягнуту струну. Застосування струни в якості осі обертання робить прилад досить чутливим.

Трубка з'єднана за допомогою черв'ячної передачі з рахунковим механізмом 4, таким же як і у чашкового анемометра. Вітрове колесо захищене від механічних пошкоджень металевим кільцем 3. До цього ж кільця прикріплені корпус рахункового механізму 2 і рукоятка 6, за яку тримають прилад при спостереженнях.

При вимірюванні швидкості вітру прилад повинен бути зорієнтований за потоком повітря і встановлений так, щоб рахунковий механізм був позаду відносно вітрового колеса. В цілому порядок спостережень і обробка результатів однакові із чашковим анемометром.

Крильчатий анемометр іноді називають вентиляційним, оскільки його часто застосовують для вимірювання швидкості повітряних потоків в трубах і каналах вентиляційних систем.

Вітромір Третякова (рис.7.6) – це прилад для визначення швидкості і напрямку вітру в польових умовах. За принципом дії він нагадує флюгер. Вітромір включає: флюгарку 1, яка надягнута на вертикальний стержень 5; ложкоподібну металеву пластинку 7 з противагою 10.

Флюгарка, за допомогою якої визначають напрям вітру, має вигляд хвилеподібної увігнутої пластинки з противагою. Для визначення положення противаги під флюгаркою, на тому ж стержні, закріплена восьмикутна зірка 3 (або круг), з нанесеними на ній (з нижньої сторони) назвами румбів. Положення зірки під час спостережень перевіряється по компасу.

Швидкість вітру вимірюють за кутом відхилення ложкоподібної пластинки з противагою, які можуть вільно обертатися на горизонтальній осі 9. Пластинка і противага тісно скріплені між собою під кутом 76°. І пластинка, і противага в середній частині мають виріз 8. Пластинка повернута увігнутою стороною проти вітру. В нижній частині вона має покажчик 6 у вигляді загострення. Під дією вітру пластинка разом із

проти вагою відхиляється на визначений кут: чим більша швидкість вітру, тим більший цей кут. Положення пластинки визначають за шкалою 2, яка нанесена на площину флюгарки. Поділки на шкалі нанесені в м/с і позначені від 0 до 10, а в деяких зразках вітроміра – від 0 до 15 м/с. Шкала вітроміра одержана експериментальним шляхом в аеродинамічній трубі.

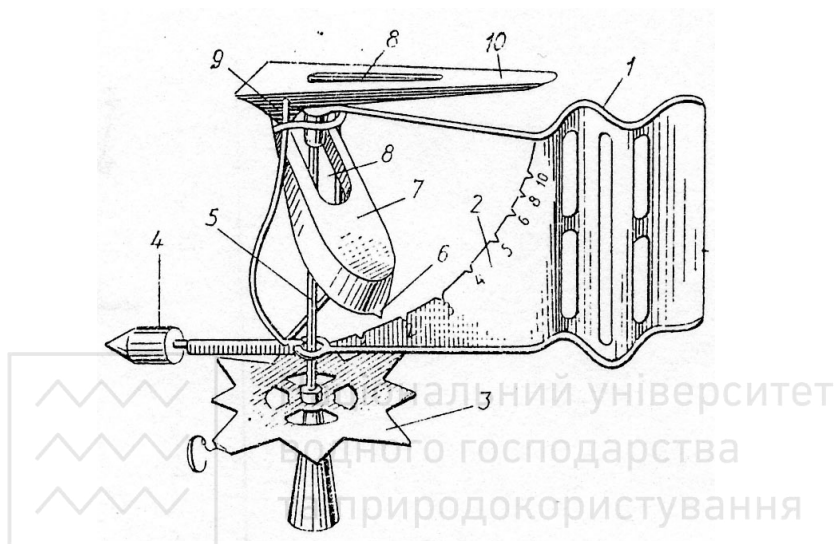


Рис. 7.6. Вітромір Третьякова [2]

Вітромір встановлюють вертикально на спеціальній підставці або на дерев'яній палі, необхідної висоти. Спостереження за вітроміром нічим не відрізняються від спостережень за флюгером. Напрямок вітру відмічають за середнім положенням (протягом 2 хвилин) противаги флюгарки відносно зірки, а швидкість вітру – за середнім положенням (протягом 2 хвилин) покажчика пластинки на шкалі. Точність вимірювання швидкості вітру вітроміром складає 0,5 м/с (в інтервалі від 1 до 6 м/с) і 1 м/с – при швидкості понад 6 м/с.

### Завдання 1. Вимірювання швидкості і напрямку вітру за флюгером

Для виконання завдання необхідно мати розбірний і діючий екземпляр флюгера (завдання виконують на метеорологічній площадці).

1. Ознайомитися по розбірному екземпляру з будовою флюгера, з'ясувати призначення його частин.



2. Виконати серію (2-3) спостережень по флюгерах з легкою і важкою дошками; результати спостережень записати за формою:

Дата

Місце спостережень

Тип флюгера	Напрямок вітру	Швидкість вітру		Візуальна характеристика вітру
		Номер штифту	м/с	
З легкою дошкою				
З важкою дошкою				

*Звіт про виконання завдання повинен складатися зі схеми флюгера, запису результатів, короткого опису пунктів завдання.*

## Завдання 2. Вимірювання швидкості вітру анемометром

*Для виконання завдання необхідно мати розбірні і діючі екземпляри анемометрів, повітряні свідоцтва до них, секундомір і вентилятор.*

1. Ознайомитися з будовою чашкового і крильчатого анемометрів.
2. Ознайомитися з правилами установки і спостережень за анемометром.
3. Провести серію (3-4) спостережень за анемометром на заданих висотах, використовуючи вентилятор.
4. Провести обробку результатів вимірювань і записати їх в таблицю за формою:

Дата

Місце спостережень

Висота приладу	Покази		Кількість секунд	Різниця показів	Кількість поділок, об/с	Швидкість вітру, м/с
	початок	кінець				

*Звіт про виконання завдання повинен складатися зі схеми анемометрів, запису результатів спостережень і результатів їх обробки, короткого опису пунктів завдання.*



## 8. СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ВИПАРОВУВАННЯМ З ПОВЕРХНІ ВОДИ І ҐРУНТУ

Випаровування - це перехід окремих молекул з поверхні рідини або твердого тіла в оточуючий простір, які мають достатньо велику швидкість для того, щоб перебороти сили молекулярного зчеплення. В ході випаровування проходить перетворення води з рідкого стану в газоподібний. У природних умовах процес випаровування проходить безперервно протягом усього року. Він є однією з основних ланок у круговороті води, а також найважливішим фактором теплообміну в рослинних і тваринних організмах. У більшості випадків випаровування – це найбільш суттєвий витратний елемент водного балансу.

Випаровування виражають в міліметрах висоти шару води, яка випарувалася і визначають з точністю до 0,1 мм. Випаровування вимірюють у теплий період року. Установки для вимірювання випаровування називаються випарниками. Найбільше розповсюдження мають установки, які базуються на вимірюванні елементів водного балансу. В комплект таких приладів входить випарник і дощомір.

### 8.1. ВИМІРЮВАННЯ ВИПАРОВУВАННЯ З ПОВЕРХНІ ВОДИ

Для вимірювання випаровування з водної поверхні широко використовують випарні басейни площею  $20 \text{ м}^2$ , які встановлюють на суші, і випарники «ГТИ» - 3000 з площею  $3000 \text{ см}^2$ , які можна встановити на суші і на воді (на спеціальних плотах).

Випарний басейн площею  $20 \text{ м}^2$ , глибиною 2 м являє собою циліндричний бак 1 з плоским дном, виготовлений з листової сталі (рис.8.1). Біля внутрішньої стінки бака розташований заспокоювач 5, на рівень води в якому не впливають ні хвилі, ні перекис поверхні води в басейні. Всередині заспокоювача знаходиться голкоподібний стержень 3, який служить для зазначення висоти, на якій повинен підтримуватися рівень води в басейні і реперна трубка 4. При вимірюванні рівня води в басейні в реперну трубку вставляють об'ємну бюретку 6 висотою 6 см і площею  $20 \text{ см}^2$ . В стінці бюретки біля самого дна є круглий отвір, через який вода з випарного басейна попадає всередину бюретки. Отвір закривається гумовою пробкою, закріпленою на кінці Г-подібного важеля. Вода з бюретки через зливний носик переливається в мірну скляну трубку. За кількістю води в трубці, яке визначається числом поділок, і яке відповідає рівню води в ній, за допомогою тарирувального множника судять про рівень води в басейні в момент вимірювання. Різниця початкового і кінцевого рівнів з урахуванням опадів, які випали, дає величину шару води, який випарувався за розглянутий проміжок часу.

Найбільш широко застосовують для вимірювання випаровування з поверхні води випарник «ГГИ» - 3000 (рис.8.2). В комплект приладу, окрім самого випарника, входить наземний дощомір, об'ємна бюретка 3, вимірювальна трубка (рис.8.2).

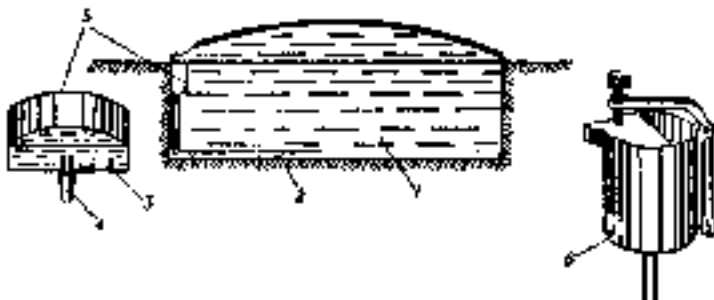


Рис. 8.1. Схема випарного басейну [1]

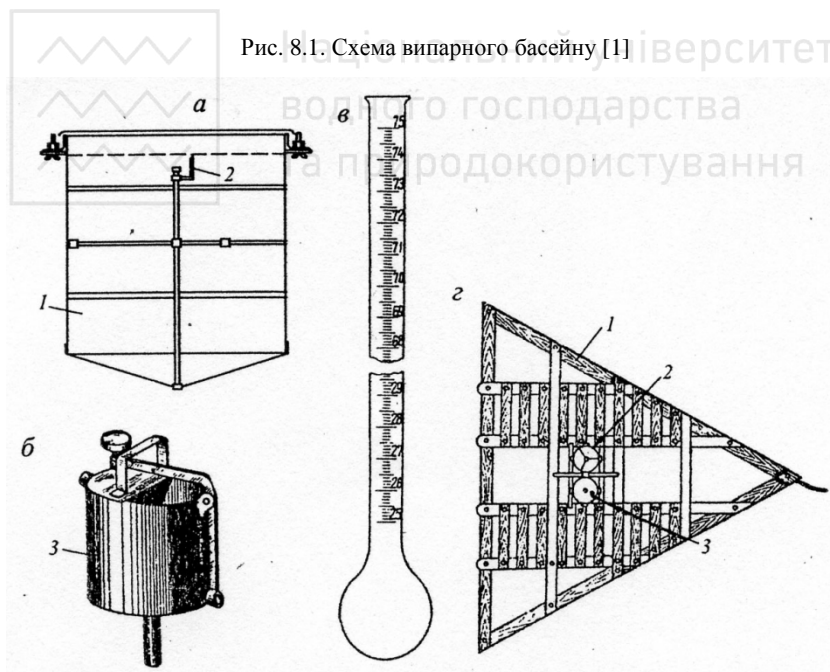


Рис. 8.2. Плавуча випарна установка:

а – бак випарника; б – бюретка; в – вимірювальна трубка; г – установка випарника на плоту (1 – плотик; 2 – випарник; 3 – опадомір) [4]



Випарник встановлюють або в ґрунт на випарній площадці або на плоті на спеціально улаштованих пловках (рис.8.2). Випарник (рис.8.3) являє собою циліндричний металічний бак 1, який має конічне дно. Діаметр прийомної площі циліндра дорівнює 618 мм. Висота приладу 685 мм. Для надання випарнику жорсткості в нього вставлені металічні кільця – обручі 2. В центрі випарника вертикально встановлена латунна реперна трубка 3. На неї при спостереженнях встановлюють об'ємну бюретку 4. Реперна трубка в скрадній частині прикріплена до стінок бака за допомогою трьох радіальних спиць 5. До верхнього кінця трубки прикріплена колінчата галка 6. Її гострий кінець знаходиться на 75 мм нижче борта випарника. Для установки випарника на плавучій рамі із зовнішньої сторони його борта є чотири вушка 7.

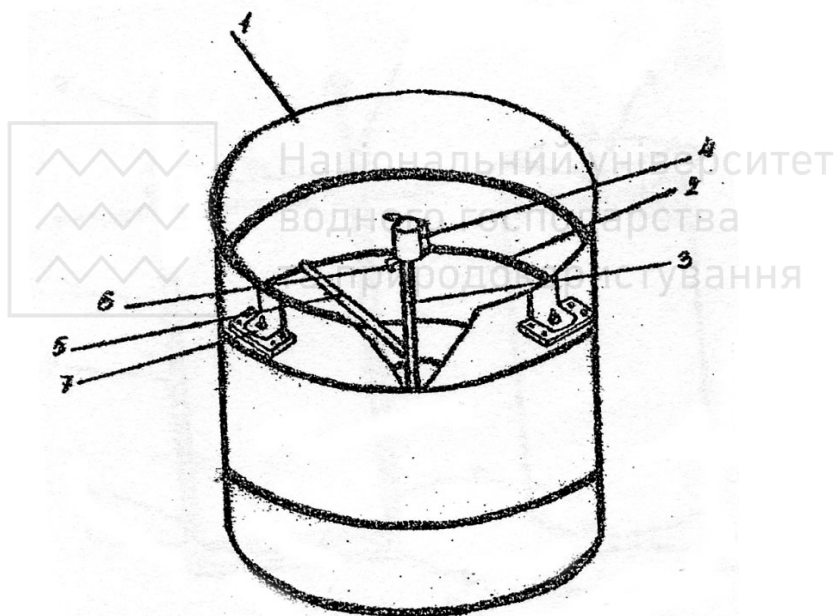


Рис. 8.3. Випарник «ГГИ» - 3000 [3]

Випарник наповнюють водою до тих пір, поки наконечник голки не співпаде з рівнем води. Спостереження полягають у визначенні рівня води у випарнику за допомогою об'ємної бюретки (рис.8.4) і мірної трубки в 7 та 19 годин. Для цього бюретку вставляють в реперну трубку на 102 хвилини. За цей час вода в бюретці встановлюється на одному рівні з випарником. Надалі закручують спеціальним клапаном отвір бюретки і



зливають воду з неї в мірну трубку. Після відліку по трубці воду з неї виливають назад у випарник. Якщо при вимірюваннях встановлено, що рівень води у випарнику знизився або підвищився відносно наконечника голки на 1 см, то необхідно відповідно долити або відлити води стільки, щоб рівень встановився відповідно до наконечника голки.

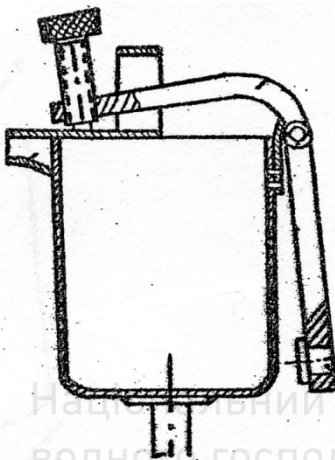


Рис. 8.4. Об'ємна бюретка [3]

При обробці спостережень враховують виміряну за допомогою спеціального дощоміра, кількість опадів, які випали на поверхню води у випарнику. Величина випаровування між строками спостережень обчислюють за допомогою такого рівняння

$$E_E = X - (h_1 - h_2) \cdot k \quad , \quad (8.1)$$

де  $E_E$  - шар випаровування, мм;  $h_1$  та  $h_2$  - висота рівня води у випарнику відповідно в перший і другий строки спостережень, мм;  $X$  - шар опадів, які випали, мм;  $k$  - поправочний коефіцієнт до мірної трубки, який вводять для запобігання похибок, що виникають внаслідок неточного градування шкали мірної трубки при її виготовленні.

Величина випаровування за показами випарника «ГТИ» - 3000 завищена в порівнянні з випарними басейнами (еталоном є басейн з площею 20 м<sup>2</sup> і глибиною 2 м). Для одержання дійсної величини випаровування з поверхні водойм результати вимірювань множать на редукційний коефіцієнт.



## 8.2. ВИМІРЮВАННЯ СУМАРНОГО ВИПАРОВУВАННЯ

Для вимірювання сумарного випаровування застосовують гідралічні і вагові випарники. Гідралічні випарники мають високу точність вимірювань і вважаються на сьогодні найбільш досконалими приладами. Застосовують гідралічні випарники великої і малої моделі.

Великий гідралічний випарник є унікальним приладом (рис.8.5), він дозволяє визначити годинні величини випаровування з точністю 0,01 мм шару. Його використовують як еталон для оцінки надійності вимірювань випаровування іншими методами, а також для різних науково-дослідних завдань.

Більш широко використовують гідралічний ґрунтовий випарник малої моделі, який має більш просту конструкцію в порівнянні з великою моделлю. Цей випарник (рис.8.6) складається з таких основних частин: внутрішнього металевого циліндра, зовнішнього циліндра-чохла; кільцевого понтона-поплавка; бака і мірного пристрою. Внутрішній циліндр призначений для розміщення в ньому моноліту ґрунту площею 0,2 м<sup>2</sup> при висоті 1,5 м. Циліндр має дно, яке знімається, з отворами для пропуску води, що просочилася через моноліт. Внутрішній циліндр розміщений в зовнішньому циліндрі-чохлі. Останній спирається на кільцевий понтон-поплавок, який плаває в баку, наповненому водою. Загальна маса плаваючої системи з монолітом біля 800 кг. Поплавок знаходиться в зануреному стані.

Вертикальні переміщення плаваючої системи є показником зміни маси моноліту, яка обумовлена випаровуванням, конденсацією або випадінням опадів на його поверхню. Ці переміщення вимірюють за допомогою мікрометричних гвинтів, закріплених під кутом 120° один до одного на спеціальній рамі кришки випарника. Під мірним пристроєм на поплавку розташована чашка з ртуттю. Мікрометричний гвинт закінчується двома голками, зіткнення яких з ртуттю замикає ланцюг і запалюється індикаторна лампочка. В цей момент беруть відлік по лімбі гвинтів. Точність гідростатичного зважування складає  $\pm 20$  г, тобто 0,1 мм шару. Висока точність гідралічного випарника малої моделі дозволила рекомендувати його в якості основного приладу для вимірювання добових величин випаровування з різних сільськогосподарських угідь.

Найбільш широко застосовують вагові випарники. Стандартним приладом на мережі гідрометеорологічних станцій вважається випарник типу «ГТИ» - 500-50 і «ГТИ» - 500-100 з поверхнею випаровування 500 см<sup>2</sup>, і які відрізняються висотою – 0,5 м і 1,0 м.

Випарник «ГТИ»-500-50 застосовують для вимірювання випаровування з парового поля, з луку, із перелогу і цілини, а також на полях з посівами



сільськогосподарських культур в зонах надлишкового і достатнього зволоження при зміні моноліту один раз на 10 днів.

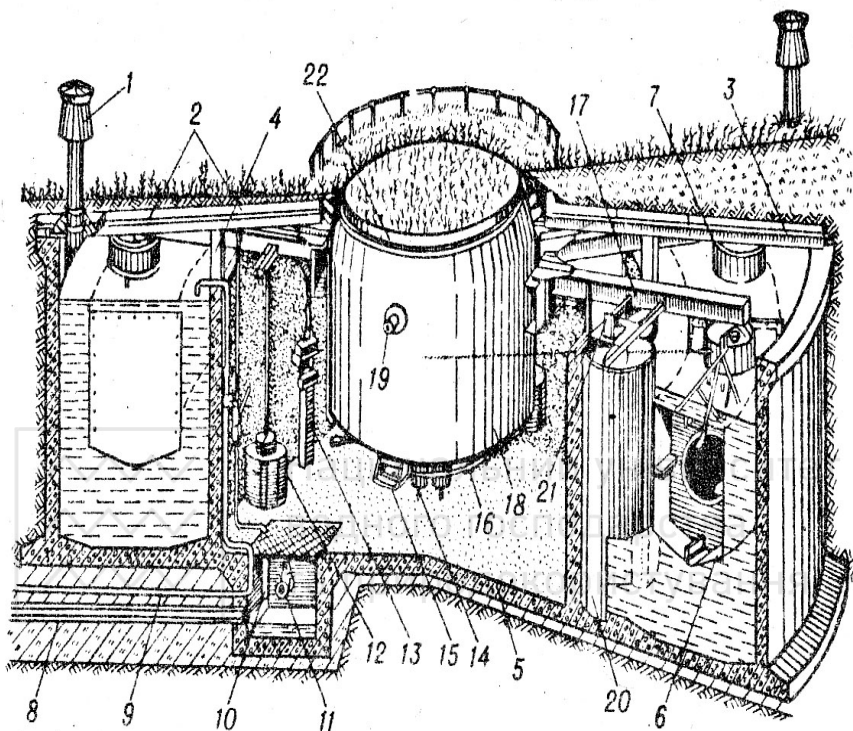


Рис. 8.5. Схема гідравлічного випарника (велика модель) [1]:

1 - вентиляційна труба; 2 - плити перекриття; 3- балка даху; 4- опора балки; 5- кільцевий залізобетонний резервуар (басейн); 6 – кільцевий понтон-поплавок; 7 – шийка поплавка; 8 – зливна трубка; 9 – трубка наповнення басейна; 10 – зливна аварійна трубка; 11 – зливна трубка біля кільцевого басейна; 12 – баланси́рні ваги; 13 – індикатор; 14 – посудина для збору поверхневого і ґрунтового стоку; 15 - приймач електротермометрів; 16 – водозбірне кільце-трубка; 17 – консольні опорні лапи; 18 – корпус моноліту; 19 – піввісь; 20 - циліндр поплавка самописця; 21- самописець занурення; 22 – лоток збору поверхневого стоку

Це викликано тим, що на легких супіщаних ґрунтах в зоні надлишкового зволоження опади, які мають понад 20 мм шару води, зазвичай, просочуються до дна випарника. Капілярна зона, що утворюється

на рівні 20-50 см від дна випарника, неминуче перезволожує зону кореневої системи рослин ґрунтового моноліту у випарнику, що призводить до завищення виміряного випаровування.

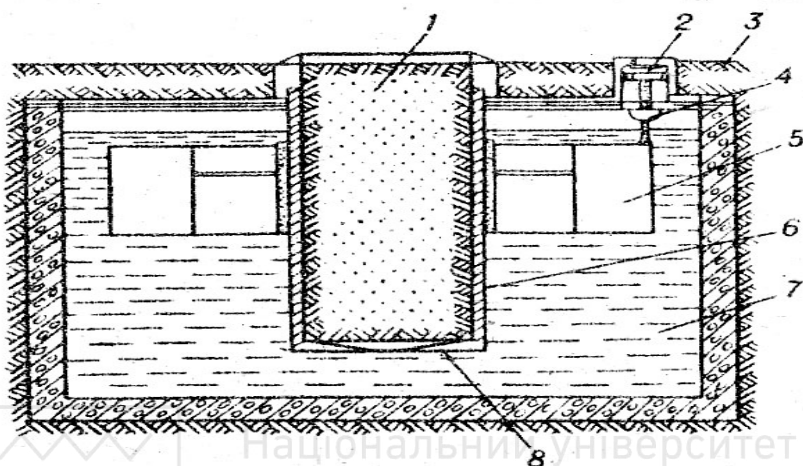


Рис. 8.6. Схема будови гідралічного випарника малої моделі [1]

Випарник «ГГИ»-500-100 застосовують для вимірювання випаровування на полях з посівами сільськогосподарських культур в зоні недостатнього зволоження. Моноліт не міняють протягом усього сезону.

Ці випарники складаються з двох циліндрів (рис.8.7), які вільно входять один в одного, і водозбірної посудини. Внутрішній циліндр 1 (власне випарник) площею 500 см<sup>2</sup> має козирок шириною 25 мм, який закриває щілину між циліндрами, що не дозволяє попадати між ними атмосферним опадам. Він також має дно 4, що знімається і дозволяє заряджати випарник монолітом з ґрунтового пласта без порушення його структури. До верхнього краю циліндра приварено чотири вушка 10, які використовують при переносі (зважуванні) випарника. Дно внутрішнього циліндра має отвори діаметром 2 мм для пропуску води, що пройшла через моноліт. Воно кріпиться до нижнього краю внутрішнього циліндра за допомогою трьох заціпок 7. Зовнішній циліндр 2 служить гніздом для внутрішнього циліндра випарника. Він має суцільне дно.

Водозбірна посудина 5 являє собою циліндричну банку з лійкоподібним верхом, який має два отвори. Один – в центрі для збору води, яка просочилася через моноліт і другий – збоку для зливу цієї води. Водозбірна посудина кріпиться знизу до внутрішнього циліндра за допомогою трьох планок 6 на штифтах 8.

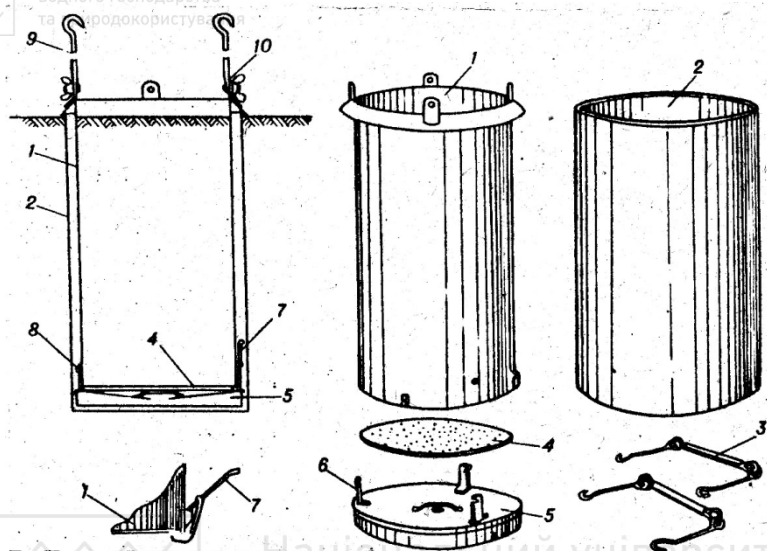


Рис. 8.7. Грунтовий випарник «ГТИ» - 500 [1]

У комплект грунтового випарника входить грунтовий дощомір для вимірювання опадів, який має площу прийомного отвору  $500 \text{ см}^2$  (рис. 8.8). Висота відра 1 складає 40 см. Відро встановлюють в гніздо 2. Всередині відра впаєю діафрагму 3, яка має шість отворів. Висота конуса діафрагми 8 см. Відро має носик 4 для зливу опадів, який закривають ковпачком. Діафрагма і носик дозволяють запобігти випаровуванню опадів з відра.

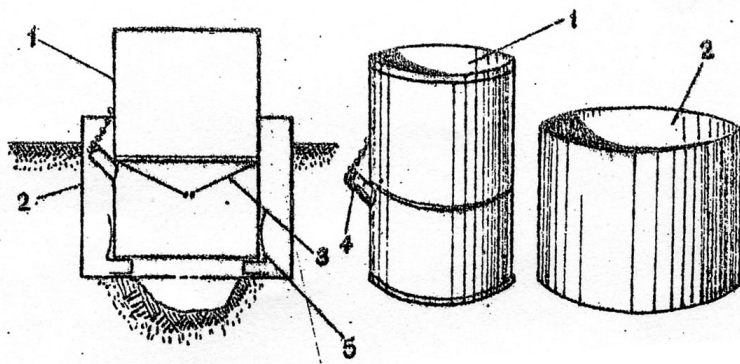


Рис. 8.8. Грунтовий дощомір [3]



Для визначення випаровування внутрішній циліндр виймають із зовнішнього і зважують на спеціальній вазі з точністю до 10-15 г, що перерахунку на шар води складає 0,2 - 0,3 мм. Зважування випарників виконують найчастіше через 5 днів в 7 або 9 годин.

Випаровування за період між зважуваннями обчислюють за формулою

$$E_r = 0.02 (P_1 - P_2) + X - Y, \quad (8.2)$$

де  $E_r$  - випаровування шару води, мм;  $P_1$  та  $P_2$  - маса випарника відповідно в попередній і поточний строки зважування випарника, г;  $X$  - кількість опадів, що випали між строками спостережень, мм;  $Y$  - кількість опадів, що пройшли через моноліт за цей період, мм; 0,02 – коефіцієнт для переведу кількості води, що випарувалася, з грамів в міліметри.

### **Завдання 1. Вимірювання випаровування з поверхні води і поверхні ґрунту**

*Для виконання завдання необхідно мати повний комплект випарників «ГГИ» - 3000 та «ГГИ» - 500-50 (або «ГГИ»-50-100).*

1. Ознайомитися з будовою і правилами установки випарника «ГГИ» - 3000.
2. Ознайомитися з будовою і правилами установки випарника «ГГИ»-500.
3. Визначити дійсне значення випаровування з поверхні води між строками спостережень (використовуючи надані вихідні дані).
4. Визначити випаровування з поверхні ґрунту між моментами зважування (на основі вихідних даних).

*Звіт про виконання завдання повинен складатися зі схеми випарників, результатів розрахунків і короткого опису пунктів завдання.*



## 9. ДИСТАНЦІЙНІ І АВТОМАТИЧНІ СИСТЕМИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Дистанційні метеорологічні станції (ДМС) являють собою комплекс метеорологічних приладів, покази яких дистанційно, по кабелю, передаються на приладний пульт, що знаходиться в приміщенні метеорологічної станції. Застосування ДМС дозволяє прискорити і спростити процес вимірювання метеорологічних величин. Всі вимірювання виконують протягом 10 хвилин. Широке застосовують дистанційну метеорологічну станцію М-49 і судову дистанційну метеорологічну гідрометеорологічну станцію ГМ-6. Вони дозволяють виміряти температуру і вологість повітря, швидкість і напрям вітру. ГМ-6 може вимірювати ще і температуру повітря.

Автоматичні метеорологічні станції (АМС) являють собою телеметричні пристрої, які використовують для автоматичного (без участі людини) вимірювання і передачі метеорологічних величин. Вони є первинною ланкою в автоматизованій системі одержання, збору, збереження метеорологічної інформації і передачі її споживачу.

Всі АМС побудовані на принципі перетворення виміряних величин в електричні імпульси, які в задовільному вигляді передаються по каналу зв'язку (радіо або кабельна лінія).

Автоматичні радіометеорологічні (АРМС) встановлюють у важкодоступних місцях. До складу АРМС входять: комплект метеорологічних датчиків; центральний пристрій, який обробляє інформацію, отриману від датчиків, і зберігає результати до їх передачі, формує код; радіопередавальна апаратура; джерело живлення – вітровий генератор з акумулятором (рис.9.1).

На сьогодні на суходолі широко використовують АРМС моделей М-109 і М-106М. Модель М-109 вимірює 10 метеорологічних величин з передачею через кожні 3 години. Штормова інформація передається через кожну годину. Дані, які передає метеорологічна станція, приймають за допомогою радіоприймача. Станція розрахована на роботу при температурі повітря від  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ , вологості до 100%, відкладах ожеледі до 25 мм. В автономному режимі станція може працювати рік. Після закінчення року проводять технічну інспекцію, регламентні роботи з контролем точності показів приладів.

Модель М-16М вимірює біля 20 метеорологічних величин з передачею інформації по кабельному зв'язку на відстані до 10 км. Вимірювання усіх елементів займає біля одної хвилини. Станція веде цілодобове спостереження за штормовим значеннями метеорологічних величин.

На сьогодні стоїть завдання оновлення парку приладів на спостережній мережі гідрометеослужби. Більшість нових приладів для

мережі спостережень базуються на тих же фізичних принципах, що і попередні прилади, але відрізняються від них кращими експлуатаційними характеристиками і широким застосуванням комп'ютерної техніки, що дає можливість утворювати єдині вимірювальні комплекси.

У більшості випадків ці системи дозволяють виконувати вимірювання без присутності спостерігача в точці вимірювання метеорологічної величини. Одержані значення передаються дистанційно кабельним або радіоканальним зв'язком в службове приміщення, де в автоматичному режимі за допомогою комп'ютера проводиться первинна обробка результатів вимірювань і передача одержаних даних каналами зв'язку.

На сьогодні пропонують обслуговувані і необслуговувані метеорологічні станції для спостережень в системі гідрометеослужби. На рис.9.2 наведена схема варіанту обслуговуваної метеорологічної станції.

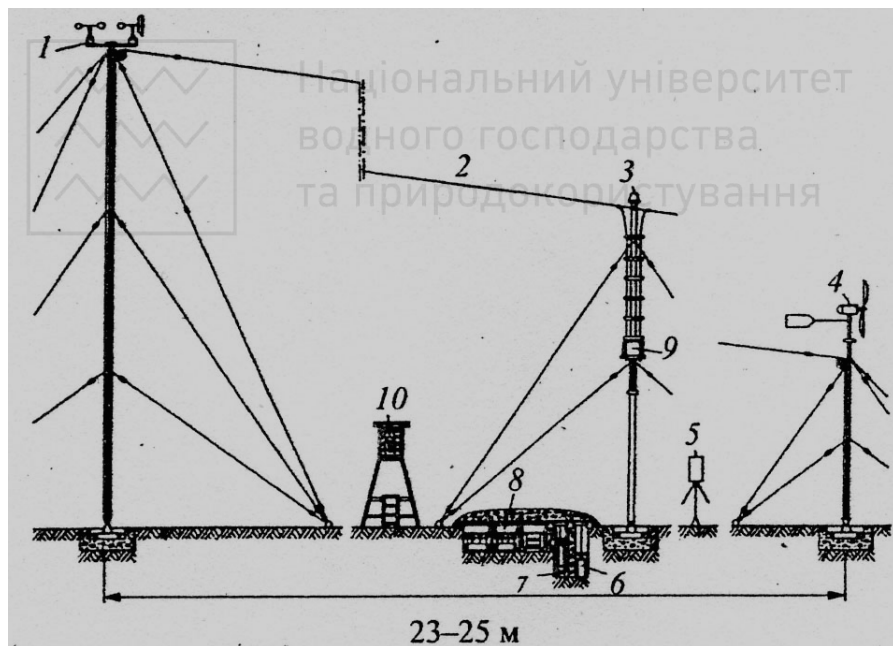


Рис. 9.1. Схема розміщення (APMC) М-109 [4]:

- 1 – датчик вітру; 2 – антена; 3 – датчик сонячного сива; 4 – вітрогенератор; 5 – опадомір; 6 – блок автоматики; 7- датчик тиску; 8 – акумулятор; 9 – радіопередавач; 10 – датчик температури



Пропоновані необслуговувані станції відрізняються від АРМС меншими габаритами, економічністю споживання енергії, більшими можливостями в одержанні і передачі інформації.

Суттєвий прогрес досягнуто в розробці установок дистанційного вимірювання розподілу температури повітря по висоті в пограничному шарі атмосфери. Застосовують установки мікрохвильового зондування атмосфери у 5-міліметровому діапазоні. Вони дозволяють в безперервному режимі одержувати дані про вертикальну стратифікацію температури повітря в шарі від земної поверхні до 600 м. Це дозволяє оцінити стійкість повітря і турбулентність, проводити моніторинг виникнення, розвитку і знищення температурних інверсій, проводити прогнози утворення і зникнення туманів, прогнозувати розповсюдження забруднень в атмосфері міст і великих промислових об'єктів.

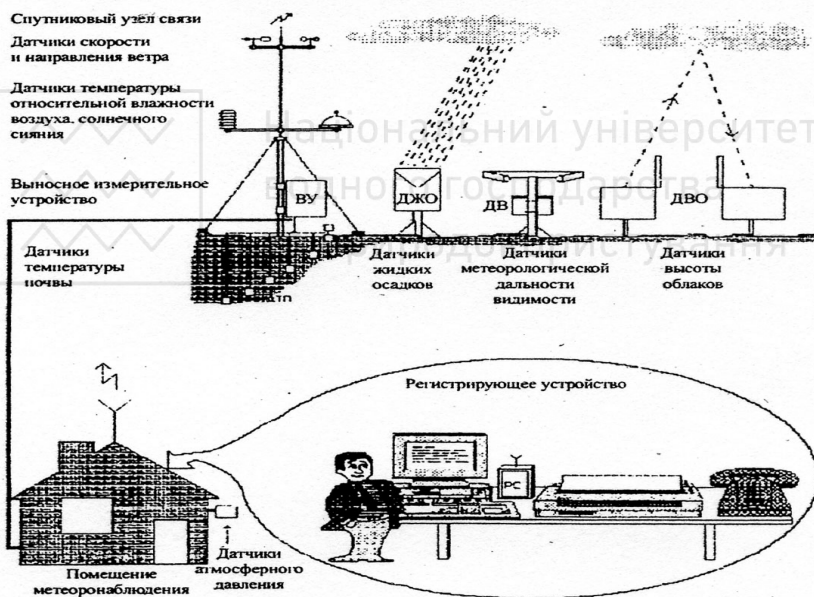


Рис. 9.2. Автоматична обслугована метеорологічна станція МС-2 [4]

Для зондування атмосфери також застосовують лазерний радар (лідар). Ці установки дозволяють одержувати вертикальні розрізи висотної картини розподілу температури від земної поверхні до висоти 1 км, аерозольних забруднень над джерелами викидів, а також розрізи горизонтальних полів розповсюдження аерозолів.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Гушля А.В., Мезенцев В.С. Водно-балансовые исследования. – Киев: Высшая школа. Головное изд-во, 1982. – 229 с.
2. Колесник П. И. Метеорология. Практикум. – Киев: Высшая школа. Головное изд-во, 1986. – 175 с.
3. Методические указания по экспериментальному определению основных элементов водного и теплового баланса / Под ред. Сорокина В.Г. – Ровно: 1977, - 74 с.
4. Моргунов В. К. Основы метеорологии, климатологии. Метеорологические приборы и методы наблюдений: Учебник. – Ростов/Д.: Феникс. – Новосибирск: Сибирское соглашение, 2005. – 331 с.
5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, часть I. Метеорологические наблюдения на станциях. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 300 с.
6. Психрометрические таблицы. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 232 с.
7. Чеботарев А. И., Клибашев К.П. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1956. – 296 с.





Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

# ДОДАТКИ



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

## Середній сонячний час в істинний полудень ( год., хв.) [2]

Число	Місяці											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1	12.03	12.14.	12.13	12.04	11.57	11.58	12.04	12.06	12.00	11.50	11.44	11.49
3	12.04	12.14	12.12	12.04	11.57	11.58	12.04	12.06	12.00	11.49	11.44	11.50
5	12.05	12.14	12.12	12.03	11.57	11.58	12.04	12.06	11.59	11.49	11.44	11.50
7	12.06	12.14	12.11	12.02	11.56	11.59	12.05	12.06	11.58	11.48	11.44	11.51
9	12.07	12.14	12.11	12.02.	11.56	11.59	12.05	12.05	11.58	11.47	11.44	11.52
11	12.08	12.14	12.10	12.01	11.56	11.59	12.05	12.05	11.57	11.47	11.44	11.53
13	12.09	12.14	12.10	12.01	11.56	12.00	12.05	12.05	11.56	11.46	11.44	11.54
15	12.09	12.14	12.09	12.00	11.56	12.00	12.06	12.05	11.55	11.46	11.45	11.55
17	12.10	12.14	12.09	12.00	11.56	12.01	12.06	12.04	11.55	11.46	11.45	11.56
19	12.11	12.14	12.08	11.59	11.56	12.01	12.06	12.04	11.54	11.45	11.45	11.57
21	12.11	12.14	12.07	11.59	11.56	12.01	12.06	12.03	11.53	11.45	11.46	11.58
23	12.12	12.14	12.07	11.58	11.57	12.02	12.06	12.03	11.53	11.44	11.46	11.59
25	12.12	12.13	12.06	11.58	11.57	12.02	12.06	12.02	11.52	11.44	11.47	12.00
27	12.13	12.13	12.06	11.58	11.57	12.03	12.06	12.02	11.51	11.44	11.48	12.01
29	12.13	12.13	12.05	11.57	11.57	12.03	12.06	12.01	11.51	11.44	11.48	12.02
31	12.14		12.04		11.57		12.06	12.00		11.44		12.03

## Зміна тиску повітря на 1 м висоти [2]

Температура повітря	Тиск, гПа							
	930	940	950	960	970	980	990	1000
30	0.1045	0.1057	0.1069	0.1080	1.1091	0.1104	0.1115	0.1127
28	1052	1064	1076	1087	1099	1111	1122	1134
26	1060	1072	1084	1095	1107	1119	1130	1142
24	1068	1080	1092	1103	1115	1127	1138	1150
22	1076	1088	1100	1111	1123	1135	1146	1158
20	1084	1096	1108	1119	1131	1143	1154	1166
18	1092	1104	1115	1127	1139	1150	1162	1174
16	1099	1111	1123	1135	1146	1158	1170	1182
14	1107	1119	1130	1142	1154	1166	1178	1190
12	1115	1127	1139	1151	1163	1175	1187	1199
10	1122	1134	1147	1159	1171	1183	1195	1207
8	1131	1143	1155	1167	1180	1192	1204	1216
6	1138	1150	1163	1175	1187	1200	1212	1224
4	1147	1159	1171	1184	1196	1208	1220	1233
2	1155	1167	1180	1192	1205	1217	1230	1242
0	1163	1176	1188	1201	1213	1226	1238	1251
-2	1173	1185	1198	1210	1223	1236	1248	1261
-4	1181	1194	1206	1219	1232	1245	1257	1270
-6	1190	1203	1216	1229	1242	1254	1267	1280
-8	1199	1212	1224	1237	1250	1263	1276	1289
-10	1208	1221	1234	1247	1260	1273	1286	1299

## Приведення показів барометра до 0°C [2]

Температура барометра	Покази барометра, гПа										
	930	940	950	960	970	980	990	1000	1010	1020	1030
10	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7
11	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
12	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0
13	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2
14	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4
15	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5
16	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7
17	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8
18	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0
19	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2
20	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4
21	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5
22	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7
23	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8
24	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0
25	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2
26	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4
27	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5
28	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6	4,7
29	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,8
30	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0

## Приведення показів барометра до нормальної сили тяжіння [2]

## а) Поправка на широту місця

Широта, °		Покази барометра, гПа										
віднімати	додавати	930	940	950	960	970	980	990	1000	1010	1020	1030
25	65	1,55	1,57	1,58	1,60	1,62	1,63	1,65	1,67	1,68	1,70	1,72
26	64	1,48	1,50	1,52	1,53	1,55	1,56	1,58	1,60	1,61	1,63	1,64
27	63	1,42	1,43	1,42	1,46	1,48	1,49	1,51	1,52	1,54	1,55	1,57
28	62	1,35	1,36	1,38	1,39	1,40	1,42	1,43	1,45	1,46	1,48	1,49
29	61	1,28	1,29	1,30	1,32	1,33	1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	1,41
30	60	1,20	1,22	1,23	1,24	1,26	1,27	1,28	1,30	1,31	1,32	1,33
31	59	1,13	1,14	1,15	1,17	1,18	1,19	1,20	1,22	1,23	1,24	1,25
32	58	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,14	1,15	1,16	1,17
33	57	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,08	1,09
34	56	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
35	55	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,90	0,91
36	54	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,82
37	53	0,66	0,67	0,68	0,69	0,69	0,70	0,71	0,72	0,72	0,73	0,74
38	52	0,58	0,59	0,60	0,60	0,61	0,61	0,61	0,63	0,63	0,64	0,65
39	51	0,50	0,51	0,51	0,52	0,52	0,53	0,53	0,54	0,54	0,55	0,56
40	50	0,42	0,42	0,43	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46
41	49	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37
42	48	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28
43	47	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19
44	46	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
45	45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

## б) Поправка на висоту над рівнем моря

Висота	Покази барометра, гПа										
	860	880	900	920	940	960	980	1000	1020	1040	1060
100				0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
200			0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
300			0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06		
400	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08		
500	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10		
600	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12			
700	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14			
800	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16			
900	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17					
1000	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19					
110	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21					
120	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22						
1300	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24						
1400	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26						
1500	0,25	0,26	0,26	0,27							
1600	0,27	0,28	0,28	0,29							
1700	0,29	0,29	0,30	0,31							
1800	0,30	0,31									
1900	0,32	0,34									
2000	0,34										





Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Додаток 5

Залежність кількості товщини атмосфери від висоти Сонця ( $h_{\odot}$ ), [2]

Десятки Градусів	Одиниці градусів									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	39,6	27,0	19,8	15,4	12,4	10,4	8,9	7,8	6,9	6,18
10	5,60	5,12	4,72	4,37	4,07	3,82	3,59	3,39	3,21	3,05
20	2,90	2,77	2,65	2,55	2,45	2,36	2,27	2,20	2,12	2,06
30	2,00	1,94	1,88	1,83	1,78	1,74	1,70	1,66	1,62	1,59
40	1,55	1,52	1,49	1,46	1,44	1,41	1,39	1,37	1,34	1,32
50	1,30	1,28	1,27	1,25	1,24	1,22	1,20	1,19	1,18	1,17
60	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,09	1,08	1,07
70	1,06	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03	1,03	1,02	1,02
80	1,02	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00



Схилення Сонця, град..

Число	Місяць											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
1	-23,0	-17,2	-7,7	4,4	15,0	22,0	23,1	18,2	8,4	-3,1	-14,3	-21,8
3	-22,9	-16,6	-6,9	5,2	15,6	22,3	23,0	17,6	7,7	-3,8	-15,0	-22,1
5	-22,6	-16,0	-6,2	6,0	16,2	22,5	22,8	17,1	6,9	-4,6	-15,6	-22,3
7	-22,4	-15,4	-5,4	6,7	16,7	22,7	22,6	16,5	6,2	-5,4	-16,2	-22,6
9	-22,1	-14,8	-4,6	7,5	17,3	22,9	22,4	16,0	5,4	-6,2	-16,8	-22,8
11	-21,9	-14,1	-3,8	8,2	17,8	23,1	22,2	15,4	4,7	-6,9	-17,3	-23,0
13	-21,5	-13,5	-3,0	8,9	18,3	23,2	21,9	14,8	3,9	-7,7	-17,9	-23,1
15	-21,2	-12,8	-2,2	9,7	18,8	23,3	21,6	14,2	3,1	-8,4	-18,4	-23,3
17	-20,8	-12,1	-1,5	10,4	19,3	23,4	21,3	13,5	2,4	-9,1	-18,9	-23,4
19	-20,4	-11,4	-0,7	11,1	19,7	23,4	20,9	12,9	1,6	-9,9	-19,4	-23,4
21	-20,0	-10,7	0,1	11,8	20,1	23,4	20,5	12,2	0,8	-10,6	-19,9	-23,4
23	-19,5	-9,90	0,9	12,4	20,5	23,4	20,1	11,6	0,1	-11,3	-20,3	-23,4
25	-19,0	-9,20	1,7	13,1	20,9	23,4	19,7	10,9	-0,7	-12,0	-20,7	-23,4
27	-18,5	-8,40	2,5	13,7	21,3	23,3	19,3	10,2	-1,5	-12,7	-21,1	-23,3
29	-18,0	-8,1	3,3	14,4	21,6	23,3	18,8	9,5	-2,3	-13,4	-21,4	-23,2
31	-17,5		4,0		21,9		18,4	8,8		-14,0		-23,0



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Навчальне видання

ОЛЕГ ІВАНОВИЧ ГАЛІК

# МЕТЕОРОЛОГІЧНІ ПРИЛАДИ І МЕТОДИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ПРАКТИКУМ



НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Друкується в авторській редакції

Національний університет  
водного господарства  
та природокористування