МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

В. Х. КОРБАН

МЕТОДИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Конспект лекцій

Одеса - 2010
ТЕС

112001309Д

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

60 экз

В. Х. КОРБАН

МЕТОДИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Конспект лекцій

Одеса 2010

ББК 26.23
К 66
УДК 551.508

Друкується за рішенням Вченої ради Одеського державного екологічного університету (протокол № 8 від 29.10. 2009 р.)

Корбан В.Х.
Методи гідрометеорологічних вимірювань: Конспект лекцій (частина перша - метеорологічні вимірювання). – Одеса: «ТЕС», 2009. - 400 с.

В конспекті лекцій описані найбільш розповсюджені методи метеорологічних вимірювань і технічні засоби для їх реалізації, які застосовуються на метеорологічних станціях. Основна увага в конспекті приділена викладенню фізичних принципів, на яких основані розглянуті методи і побудовані технічні засоби вимірювань метеорологічних величин. Через те, що методика метеорологічних вимірювань окремих величин визначається характером виміряної величини і фізичним принципом, то в конспекті лекцій надані поняття основних положень з метеорології.

Викладення матеріалу припускає достатню підготовку студентів з фізики, електротехніки та фізики атмосфери.

Конспект лекцій розрахований на студентів гідрометеорологів.

© Одеський державний
екологічний університет, 2010

Навчальне видання

КОРБАН ВІКТОР ХАРИТОНОВИЧ

МЕТОДИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Конспект лекцій

Підписано до друку 30.07.10 р. Формат 60x84/16
Папір офсетний. Ум. друк. арк. 23,25. Наклад 175 прим.
Замовлення 482
Видавництво та друкарня "ТЕС"
(Свідоцтво ДК № 771) Одеса, Канатна 81/2
Тел.:(0482)42-90-98, (0482)42-89-72

Надруковано з готового оригінал-макету

Одеський державний екологічний університет
65016, Одеса, вул.Львівська, 15

З М І С Т

Передмова …….. 6
1. Основні поняття метрології …….. 7
1.1 Терміни і визначення …… 7
1.2 Похибки вимірювань та їх основні види ……. 8
1.3 Мета метеорологічних вимірювань, їх організація …… 10
1.4 Засоби і методи метеорологічних вимірювань …… 12
1.5 Строки проведення вимірювань …….. 18
1.6 Вимоги до метеорологічних приладів ……. 21
2. Вимірювання температури на метеорологічній мережі …… 24
2.1 Загальні відомості про термометрію …… 24
2.2 Інерція термометрів …… 26
2.3 Види термометрів для метеорологічних вимірювань ……. 29
2.4 Скляно-рідинні метеорологічні термометри …… 29
2.5 Деформаційні термометри …… 37
2.6 Термометри опору ……. 42
2.7 Термоелектричні термометри …….. 56
2.8 Вимірювання і реєстрація температури повітря і ґрунту на метеорологічних станціях ……. 60
3. Вимірювання атмосферного тиску в метеорології …….. 71
3.1 Загальні відомості ……. 71
3.2 Види ртутних барометрів ……. 72
3.3 Деформаційні барометри ……. 88
3.4 Гіпсометричний метод вимірювання тиску …… 99
4. Вимірювання вологості повітря в метеорології …….. 103
4.1 Загальні відомості …… 103
4.2 Психрометричний метод. Психрометри …… 104
4.3 Гігрометри …… 114
4.4 Інші методи і прилади для вимірювання вологості повітря …… 120
5. Вимірювання параметрів вітру …….. 131
5.1 Загальні відомості ……... 131
5.2 Первинні перетворювачі напрямку вітру …….. 132
5.3 Первинні перетворювачі швидкості вітру …… 134
5.4 Прилади місцевої дії для вимірювання параметрів вітру …… 138
5.5 Анемометри контактні …….. 146
5.6 Анеморумбометри …….. 151
6. Вимірювання опадів та випаровування ……. 167
6.1 Загальні відомості …….. 167
6.2 Вимірювання опадів за допомогою опадомірів і дощомірів ….. 168
6.3 Снігомірні спостереження ……. 172
6.4 Реєстрація кількості та інтенсивності опадів …….. 178

6.5 Вимірювання інтенсивності випадання і осадження ожеледиці, паморозі і роси …….. 182
6.6 Вимірювання випаровування …… 187
7. Вимірювання висоти нижньої межі хмар …….. 194
7.1 Загальні відомості ……. 194
7.2 Метод куле-пілотів …… 194
7.3 Тріангуляційний метод ……. 195
7.4 Світлолокаційний метод …….. 198
8. Вимірювання метеорологічної дальності видимості ……. 212
8.1 Загальні відомості ……. 212
8.2 Візуальні методи …… 215
8.3 Інструментально-візуальні методи …….. 218
8.4 Інструментальні (об'єктивні) методи …….. 233
8.5 Реєстратор дальності видимості ФІ-1 ……. 250
9. Вимірювання променевої енергії …… 256
9.1 Загальні відомості ……. 256
9.2 Вимірювання прямої сонячної радіації …… 260
9.3 Вимірювання сумарної, розсіяної і відбитої радіації ……. 267
9.4 Вимірювання балансу радіації ……. 274
9.5 Інтегрування показань радіометрів …….. 278
9.6 Геліограф …… 280
10. Вимірювання вмісту озону в атмосфері …… 283
10.1. Загальні відомості …… 283
10.2 Вимірювання озону за допомогою універсального озонометра М-83 …… 283
10.3 Озонозонди …… 287
11. Вимірювання радіоактивності атмосферного повітря, води і снігового покриву …….. 291
11.1 Основи теорії радіоактивних вимірювань ……. 291
11.2 Методи відбору проб повітря, випадань, води ……. 294
11.3 Лабораторні методи вимірювання радіоактивного забруднення природних середовищ ……. 300
12. Вимірювання рівня забруднення атмосфери …… 305
12.1 Загальні відомості …… 305
12.2 Види вимірювань і обладнання …….. 306
12.3 Відбір проб повітря, опадів і аерозолів ……. 310
12.4 Реєстрація концентрацій забруднювачів атмосфери …….. 319
13. Вимірювання параметрів атмосфери за допомогою дистанційних метеорологічних станцій ……. 328
13.1 Загальні відомості про дистанційні методи вимірювань метеорологічних елементів ……. 328
13.2 Дистанційна метеорологічна станція М-49 ……. 330

13.3 Автоматична аеродромна метеорологічна станція АМАС АВІА-1, призначення, склад, принцип дії, експлуатація ….. 333
14. Вимірювання параметрів вільної атмосфери …… 349
14.1 Загальні відомості ……. 349
14.2 Принцип побудови систем радіозондування …….. 350
14.3 Радіолокаційно-акустична система зондування …… 357
15. Радіолокаційний метод вимірювання характеристик хмар і опадів …… 365
15.1 Аналіз основного рівняння хмар і опадів ……..... 365
15.2 Радіолокаційне вимірювання висоти нижньої і верхньої межі хмар …….. 373
15.3 Радіолокаційний метод вимірювання водності хмар та інтенсивності випадаючих опадів ……. 378
15.4 Радіолокаційний метод вимірювання швидкості і напрямку переміщення хмар ……. 381
16. Сучасні прилади та системи метеорологічних вимірювань ……. 388
16.1 Нові розробки вимірювачів температури, тиску, вологості повітря, швидкості і напрямку вітру, метеорологічної дальності видимості та інші …….. 388
Перелік використанних джерел 400

ПЕРЕДМОВА

З метою повної уяви про стан атмосфери, виникає необхідність в організації систематичних вимірювань метеорологічних величин, які характеризують стан атмосфери і підстильної поверхні. Результати вимірювань покладені як в основу прогнозів погоди, так і для задоволення запитань різних галузей господарської діяльності України.

Метеорологічна мережа, яка складається з різних метеорологічних приладів та вимірювальних систем, формує необхідну первинну інформацію про стан нижнього шару атмосфери і підстильної поверхні, а в деяких випадках і в більш високих шарах атмосфери.

В конспекті лекцій розглядаються методи метеорологічних вимірювань, будова і принцип роботи різних вимірювальних метеорологічних систем, у тому числі дистанційних і автоматичних метеорологічних станцій. Під час підготовки рукопису використовувались матеріали з наведених джерел, які були апробовані на протязі багатьох років під час читання лекцій з даного курсу в ОДЕКУ.

1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ МЕТРОЛОГІЇ

1.1 Терміни і визначення.

Основною задачею метрології як науки про вимірювання є забезпечення єдності і необхідної точності вимірювань.

Під ***єдністю вимірювань*** розуміють такий їх стан, при якому результати вимірювань виражені в узаконених одиницях і похибки вимірювань відомі із заданою ймовірністю. Вона необхідна для того, щоб можна було порівняти результати вимірювань, виконаних в різних місцях і в різний час, з використанням різних методів і засобів вимірювань.

Одиницею вимірювання називають фізичну величину, якій по визначенню присвоєно числове значення, що дорівнює одиниці (наприклад, 1м, 1с), а значення фізичної величини, що відповідає її одиниці, називають ***розміром***. Єдність вимірювання досягається одноманітністю застосованих засобів вимірювання та їх повіркою. ***Одноманітність*** засобів вимірювання характеризується тим, що вони проградуйовані в узаконених одиницях та їх метеорологічні властивості відповідають встановленим нормам.

Точність вимірювань відбиває близькість їх результатів до дійсних значень вимірюваної величини. Кількісна точність виражається величиною, зворотною модулю відносної похибки вимірювань.

При градуюванні засобів вимірювань визначається градуйована характеристика, яка виражає залежність між значеннями величин на виході і вході приладу, складена у вигляді таблиць, графіка або формули.

Повірка засобів вимірювань – це визначення метрологічним органом похибок засобів вимірювань і установлення придатності цих засобів до застосування. В окремих випадках замість визначення значень похибок перевіряють, чи знаходяться похибки в допустимих межах.

Важливими характеристиками якості вимірювань є їх правильність і достовірність. ***Правильність вимірювань*** відбиває близькість до нуля їх систематичних похибок і залежить від того, наскільки правильні були вибрані засоби вимірювань. ***Достовірність*** характеризує довіру до результатів вимірювань і визначається імовірнісними характеристиками їх відхилень від дійсних значень відповідних величин. Наявність ***похибки*** обмежує достовірність вимірювань.

Більш повно терміни і визначення основних понять метрології представлені в ДСТУ 3651.1-97, ДСТУ 3513-97.

Для кількісної оцінки фізичних величин встановлені одиниці вимірювань та їх розміри. Щоб виміряти яку-небудь величину, потрібно

знайти відношення її розміру до розміру одиниці вимірювання цієї величини. Одиниці деяких величин встановлені довільно, незалежно одна від іншої, їх називають ***основними одиницями***. Основні одиниці відтворюються за допомогою еталонів. Одиниці інших величин виражають через основні одиниці за формулами розмірності, що складаються виходячи з рівнянь, які зв'язують вимірювані величини з основними. Такі одиниці називаються ***похідними***. Сукупність основних і похідних одиниць вимірювання, що охоплює всі або тільки деякі області вимірювання (механічні, електричні, світлові та ін.), називається ***системою одиниць***. Розвиток техніки вимірювань привів до створення цілого ряду систем одиниць, які використовуються в різних областях науки і техніки. З метою уніфікації одиниць вимірювань затверджений ДОТ 9867-61 - міжнародна система одиниць (або скорочено СІ – система інтернаціональна), яка прийнята як переважна у всіх областях вимірювань.

Міжнародна система одиниць СІ складається з шести основних і ряду похідних одиниць для різних областей науки [1, 2]. Допускається використовувати одиниці, які являють собою десяткові, кратні і частинні одиниці, утворені за допомогою десятинних приставок, а також деякі інші одиниці.

1.2 Похибки вимірювань та їх основні види.

Види похибок вимірювань, які нормуються в технічній документації на прилади, регламентовані ДОСТом 16265-70. Згідно цього ДОСТа похибка вимірювань визначається як відхилення результату вимірювань від дійсного значення вимірюваної величини. Оскільки дійсне значення величини залишається невідомим, практично замість нього користуються дійсним значенням вимірюваної величини, яке знаходиться за допомогою еталонних і зразкових засобів вимірювань.

Похибкою вимірювального приладу називається алгебраїчна різниця між показаннями приладу і дійсним значенням вимірюваної величини. Вона може бути виражена в значеннях вимірюваної величини (***абсолютна похибка***) або як відносна, або наведена похибка.

Відносна похибка вимірювального приладу визначається як відношення абсолютної похибки до дійсного значення самої вимірюваної величини.

Наведена похибка приладу виражається відношенням абсолютної похибки до діапазону вимірювань. Наведену похибку, виражену в процентах, називають ***класом точності приладу***.

Точність приладів з різними межами вимірювань може порівнюватися тільки за їхніми наведеними похибками, тобто за класами точності.

Похибки вимірювальних приладів виникають в результаті неточності їх виготовлення (інструментальна похибка), похибки повірки або градуювання і впливу умов вимірювання. Похибки приладу, визначені за нормальних умов, називають ***основними похибками***.

Для створення нормальних умов вимірювання установлюють температуру навколишнього середовища $20^{\circ}\tilde{N}$, атмосферний тиск 760 мм.рт.ст. (або 1013 гПа) і вологість повітря приблизно 80 %.

Похибки, спричинені відхиленням умов вимірювання від нормальних, називають ***додатковими похибками.***

Похибки поділяють на систематичні і випадкові. Систематичною похибкою називають складову похибки вимірювання, яка залишається постійною або закономірно змінюється при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини. Систематичні похибки можуть бути вивчені, а результати вимірювання уточнені поправкою.

Поправка визначається як різниця між дійсним і виміряним значенням величини, тобто значенням, що дорівнює похибці вимірювань, але має протилежний знак.

Випадковою похибкою називають складову похибки, яка змінюється випадково при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини. Граничні значення випадкової складової похибки можуть бути обчислені при наявності деякого ряду вимірювань на основі теорії ймовірностей, що дозволяє вказувати значення вимірюваної величини, більш близької до дійсної, ніж результат одного вимірювання.

Похибка приладу характеризується ***сумарною граничною припустимою похибкою*** (без врахування знаку), при якій вона може бути признана гідною і допущена до застосування.

У загальному вигляді похибка вимірювального приладу може бути представлена як сума двох складових – систематичної і випадкової похибок:

$$\Delta = \Delta_{\tilde{n}\grave{e}\tilde{n}\grave{o}} \pm \Delta_{\hat{a}\grave{e}\ddot{\imath}} .$$

Задача точних вимірювань полягає у виключенні систематичних похибок і зменшенні впливу випадкових.

Правильність (***достовірність***) вимірювань характеризується близькістю до нуля систематичних похибок, а їх ***точність*** - зменшенням величини випадкових похибок.

1.3 Мета метеорологічних вимірювань, їх організація.

Стан атмосфери і процеси, які в ній протікають, впливають на всі області діяльності і щоденне життя людини.

У зв'язку з цим систематичне вивчення стану атмосфери і атмосферних процесів, завбачення сприятливих або несприятливих метеорологічних умов, які в деяких випадках є вирішальними факторами при плануванні і здійсненні господарських заходів, - одна з важливих народногосподарських задач.

Для того, щоб постійно мати можливу повну уяву про стан атмосфери, необхідна широка постановка систематичних вимірювань багатьох фізичних величин, які характеризують як стан атмосфери, так і підстильної поверхні (суші і гідросфери).

Вимірювання повинні бути організовані таким чином, щоб їх результати служили основою для прогнозів погоди, формування метеорологічної інформації для задоволення запитів сільського господарства, будівництва, охорони здоров'я, транспорту і багатьох інших галузей народного господарства. Задовольняти ці різноманітні запитання призвана гідрометеорологічна служба.

В місцях концентрації промисловості і транспорту, які є джерелами забруднення навколишнього середовища, діють спеціалізовані стаціонарні і рухливі пости, що контролюють ступінь забруднення атмосферного повітря.

Спеціальні судна погоди і кораблі торгового флоту отримують гідрометеорологічні дані у відкритих морях.

За допомогою системи постійно діючих метеорологічних штучних супутників Землі одержують відомості про багатьох важливих характеристиках атмосфери, поверхні суші, морів і океанів в масштабі планети. Спеціально обладнані літаки також забезпечують збирання гідрометеорологічних даних із значних територій.

Гідрометслужба України керує всіма системами збирання первинної інформації через міжобласні Управління гідрометеорологічної служби (УГМС).

Існуючі станції гідрометеорологічної мережі по обсягу виконуваних робіт, відповідному штату і обладнанню діляться на розряди (I, II і III), а з виду досліджуваних об'єктів і ступеня технічної оснащеності (ступеня автоматизації робіт) – на станції:

- метеорологічні (скорочене позначення М);
- автоматичні радіометеорологічні (АМС);
- аерологічні (АЕ);
- гідрологічні (Г);

- морські гідрометеорологічні (прибережні) (МГ);
- суднові гідрометеорологічні (СГ);

а також на спеціалізовані:

- авіаційні метеорологічні станції цивільної авіації (АМСГ);
- агрометеорологічні (А);
- болотні (Б);
- водно балансові (Вб);
- дрейфуючі (СП);
- озерні (О);
- плавучі (ПОМ);
- селестокові (Сс);
- сніголавинні (Сл);
- гирлові.

Пости діляться на метеорологічні (МП), гідрологічні (ГП), озерні гідрометеорологічні (ГП), морські гідрометеорологічні (МГП) і спеціалізовані: агрометеорологічні (АМП), метеорологічні авіаційні (МАП) і пости спостережень за забрудненням навколишнього середовища.

Станції і пости оснащуються технічними засобами у відповідності з їх розрядом і видом згідно типового табеля обладнання. Станції і пости, до інформації яких ставляться підвищені вимоги (щодо обсягу, складу і часу представлення), додатково оснащуються дистанційними і автоматично діючими приладами, установками та вимірювально-інформаційними системами. Так, наприклад, на АМСГ крупних аеропортів установлені комплексні радіотехнічні автоматичні метеорологічні станції, а на деяких станціях 1-го розряду – уніфіковані автоматичні телеметричні гідрометеорологічні станції УАТГМС. Метеорологічна мережа формує первинну інформацію про стан нижнього шару атмосфери (до декількох сотень метрів) і підстильної поверхні, а з допомогою спеціальних наземних технічних засобів і про деякі процеси в більш високих шарах атмосфери.

Основні принципи організації всіх видів гідрометеорологічних спостережень і формування гідрометеорологічної інформації на гідрометеорологічних станціях і постах установлені «Настановою гідрометеорологічним станціям і постам», що складається з 11 випусків.

Первинна метеорологічна інформація включає результати вимірювань цілого ряду фізичних (метеорологічних) величин, а також кількісні і якісні оцінки окремих атмосферних процесів.

В метеорології широко прийнято поняття ***метеорологічний елемент*** – узагальнена назва деяких атмосферних явищ (туман), елементів атмосфери (хмарність), характеристик стану атмосфери і окремих метеорологічних (фізичних) величин (температура повітря,

атмосферний тиск та ін.). Поняття «метеорологічний елемент» неможна ототожнювати з поняттям «фізична (метеорологічна) величина». Вони тотожні тільки в окремих випадках (наприклад, температура повітря). В деяких випадках метеорологічний елемент характеризується декількома величинами, а іноді багатьма. Тому вираз «вимірювання метеорологічного елементу» не завжди має зміст і застосовувати його без особливої необхідності не треба.

Первинна метеорологічна інформація формується як результат вимірювань деяких фізичних величин, а також оцінки стану атмосфери і розвитку окремих процесів, отриманих шляхом візуальних спостережень.

В табл.1.1 наведено перелік основних метеорологічних елементів та вимірюваних величин.

1.4 Засоби і методи метеорологічних вимірювань.

Засоби вимірювань, які застосовуються для визначення значень метеорологічних величин, називають ***метеорологічними.*** Метеорологічні вимірювання основуються головним чином на фізичних методах. Останнім часом розвиваються також хімічні методи дослідження атмосфери. Метеорологічні засоби вимірювання дуже різноманітні з призначення, принципу дії і будови. Поряд з вимірювальними системами 1, складними установками 2 і приладами 3 застосовуються дуже прості з будови установки і прилади. Вимірювальний прилад повинен вироблювати зорові сприйнятливі (спостерігачем) сигнали вимірювальної інформації. За формою виданих сигналів вимірювальні прилади ділять на аналогові, які дають безперервні значення вимірюваної величини, і цифрові, що вироблюють дискретні значення у вигляді сигналів в цифровій формі. Показні вимірювальні прилади забезпечують тільки можливість відліків показань, реєструючі прилади забезпечують крім того запис показань (цифродруковані і самопишучі вимірювальні прилади). Прийняті назви конкретних метеорологічних приладів визначаються вимірюваною ними величиною (або об’єктом вимірювання), причому назва показних приладів має закінчення «метр» або «мір» (наприклад, барометр, дощомір), реєструючі – «граф» (барограф). Зустрічаються також назви з двох слів (наприклад, вимірювач тиску, вказівник напрямку, реєстратор тиску).

Кожний вимірювальний прилад складається з декількох елементів, які виконують послідовне перетворення вимірюваної величини в зоровий сприйнятливий сигнал або сигнал, що сприймається реєструючим пристроєм.

Таблиця 1.1 - Метеорологічні елементи і вимірювані (обчислені) величини

Метеорологічний елемент	Вимірювана (обчислена) характеристика	Одиниця вимірювання, оцінка характеристики	
		Найменування	Позначення
1	2	3	4
Температура повітря	Температура (поточна, екстремальна) Градієнти температури	Градус Цельсія, кельвін Градус на метр, кельвін на метр	ºС, К ºС/м, К/м
-//- води	-//-	-//-	-//-
-//- ґрунту	-//-	-//-	-//-
Атмосферний тиск	Тиск	Паскаль, мілібар, міліметр ртутного стовпа	Па, мбар, мм.рт.ст.
Барична тенденція	Зміна тиску за 3 години	Мілібар на 3 години	Мбар/3 год
Вологість повітря	Парціальний тиск водяної пари	Паскаль	Па
	Відносна вологість	Процент	%
	Точка роси	Градус Цельсія	ºС
Вітер	Швидкість (миттєві, середні і максимальні значення)	Метр за секунду, бал	м/с, бал
	Напрямок	Градус дуги, румби	º ; С, В, Ю, З
Опади	Кількість (товщина шару води, що випала, на горизонтальну поверхню)	Міліметри	Мм
	Вид (тверді, рідинні)	Позначення по коду	
	Інтенсивність	Міліметр за хвилину	Мм/хв
	Тривалість (початок, кінець)	Години, хвилини	Год, хв
Сніговий покрив	Щільність	Грам на кубічний сантиметр	г/см^3
	Запас води (товщина шару води, що утворилася при повному таненні снігу)	Міліметр	Мм
	Висота	Сантиметр	См

Продовження табл.1.1

1	2	3	4
Ожеледиця	Густина	Грам на кубічний сантиметр	г/см^3
	Кількість льоду, який осаджується на погонний метр дроту	Грам на метр	г/м
Роса	Кількість (товщина шару води на Горизонтальну поверхню)	Міліметр	Мм
	Час випадання і випаровування	Години, хвилини	Год, хв.
Випаровування з ґрунту, з водяної поверхні	Кількість (товщина шару випаровуваної води)	Міліметр	Мм
Хмарність	Кількість	В балах (за 10-ти бальною системою)	Бал
	Висота нижньої і верхньої меж	Метри	М
	Форма	По Атласу хмар	
Видимість	Прозорість атмосфери	Процент	%
	Метеорологічна дальність видимості	Метр, кілометр	М, км
Туман	Інтенсивність	По настанові	
	Тривалість	Години, хвилини	Год, хв
Гроза	Інтенсивність	Число розрядів	-
	Тривалість	Години, хвилини	Год, хв
Пряма сонячна радіація	Тривалість сонячного сяйва	Години, хвилини	Год, хв
	Енергетична освітленість	Ватт на квадратний метр, калорія за хвилину на квадратний сантиметр	Вт/м^2, кал/(хв·см^2)
	Доза опромінення	Джоуль на квадратний сантиметр, калорія на квадратний сантиметр	Дж/см^2, Кал/см^2
Сумарна, розсіяна, відбита, залишкова (баланс) сонячна радіація	Енергетична освітленість	Ватт на квадратний метр, калорія за хвилину на квадратний сантиметр	Вт/м^2, кал/(хв·см^2)
	Доза опромінення	Джоуль на квадратний сантиметр, калорія на квадратний сантиметр	Дж/см^2, Кал/см^2

Продовження табл.1.1

1	2	3	4
Довгохвильова радіація атмосфери	Доза опромінення (за годину, добу, декаду, місяць, рік)	Джоуль на квадратний сантиметр, калорія на квадратний сантиметр	Дж/см^2, Кал/см^2
	Енергетична освітленість	Ватт на квадратний метр, калорія за хвилину на квадратний сантиметр	Вт/м^2, кал/(хв·см^2)
Напруженість електричного поля атмосфери	Напруженість електричного поля	Вольт на метр	В/м
Провідність атмосфери	Електропровідність	Сименс на метр	Си/м
Радіоактивність повітря	Радіоактивність	Кюрі	Ки
-//- води	Концентрація розчину речовини	Кюрі на метр, кюрі на кубічний метр	Ки/м, Ки/м^3
-//- поверхні ґрунту	Густина випадань	Кюрі на квадратний метр, кюрі на квадратний кілометр	Ки/м^2, Ки/км^2
-//- снігового покрову	Доза опромінення	Рентген	Р
-//- опадів	Потужність дози опромінення	Рентген за секунду	Р/с
Забруднення атмосфери	Концентрація забруднюючих речовин в повітрі	Міліграм на кубічний метр	Мг/м^3
Вміст хімічних речовин в опадах	Концентрація речовин	Міліграм на літр	Мг/л

Структура приладу місцевої дії, яка містить три вимірювально-перетворювальних елементи, наведена на рис.1.1.

Рис.1.1 Структурна схема приладу місцевої дії

Первинний перетворювач (чутливий елемент) сприймає вплив деякої фізичної величини і перетворює її на іншу величину, яка сприймається проміжним перетворювачем. Останній в свою чергу перетворює її на величину, що сприймається наступним перетворювачем, який безпосередньо зв'язаний з вказівним або реєструючим пристроєм, і дає вихідну величину. Більшість метеорологічних приладів і установок, особливо дистанційної дії, мають більш складну структуру.

Прилади і установки дистанційної дії, на відміну від приладів місцевої дії, дозволяють отримувати результати вимірювань на значних відстанях.

В пункті (точці) вимірювання установлюється датчик, який через канал зв'язку підключається до віддаленого від нього на ту чи іншу відстань приймального пристрою. В дистанційному приладі процес вимірювання складається з великої кількості операцій перетворення вимірюваної величини на проміжні. Первинний перетворювач датчика (рис.1.2) сприймає вимірювану величину і за допомогою інших перетворювачів послідовно перетворює її в величину, придатну для передачі по каналах зв'язку в приймальний пристрій. Перетворювач приймального пристрою перетворює одержану від датчика величину в іншу, яка сприймається вказівним (реєструючим) пристроєм.

Перетворення вимірюваних метеорологічних неелектричних величин на електричні потребує електричних джерел живлення, які містяться в сучасних приладах і установках.

В залежності від призначення, принципу дії і конструкції приладу він може мати різну кількість перетворювачів різного функціонального призначення. Але головним чином первинний перетворювач (чутливий елемент) визначає фізичний принцип дії приладу. Вибрана як вихідна величина чутливого елемента, яка характеризує його стан, повинна бути в однозначній функціональній залежності від вимірюваної величини.

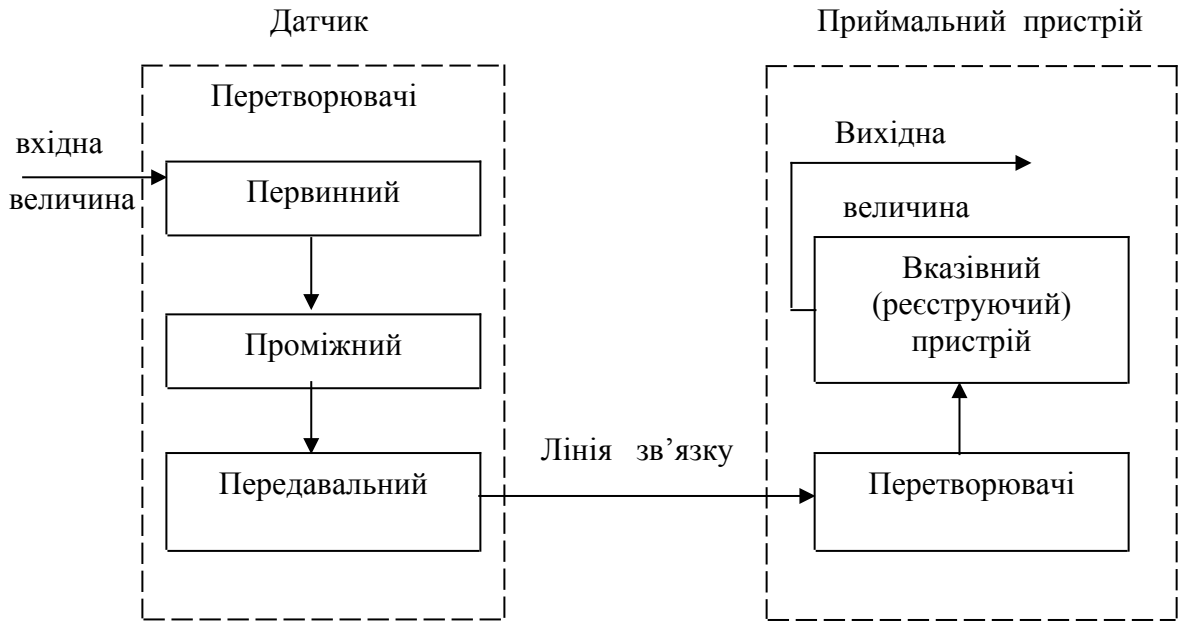


Рис.1.2 Структурна схема дистанційного приладу

Середовище, в якому проводяться метеорологічні вимірювання (наприклад, атмосфера) є складною фізичною системою. Вона характеризується багатьма фізичними величинами. Тому прилад (його перетворювачі і елементи) виявляються під впливом не тільки вимірюваної, але й інших величин, що може вплинути на результат вимірювання. Величину, вплив якої відчувається на результатах вимірювання, називають ***впливовою величиною***.

Вплив таких величин на показання приладу виключають додатковими пристроями або враховують під час отримання результату вимірювань шляхом приведення його до нормальним умов (при нормальних значеннях впливових величин, установлених для даного виду приладів стандартом або іншими нормативними документами).

Таким чином, метеорологічні прилади, сприймаючи вплив вимірюваної метеорологічної величини (наприклад, атмосферний тиск), повинні видавати значення цієї величини в прийнятих для її вимірювання одиницях (наприклад, мбар) або в умовних одиницях. В останньому випадку для отримання кінцевого результату вимірювання необхідно виконати деякі обчислення.

1.5 Строки проведення вимірювань.

Однією з основних первинних осередків вимірювально-інформаційної гідрометеорологічної системи країни є метеорологічна станція. Вони формують і розповсюджують первинну інформацію про стан погоди по багатьох метеорологічних характеристиках. Станції можуть відрізнятися за своїми конкретними задачами, призначенням, технічному оснащенню і деяким іншим ознакам, але кожна з них повинна освітлювати метеорологічну обстановку району свого розташування.

В деяких УГМС діють повністю або частково автоматизовані станції. Проте до цього часу основний обсяг інформації видають найбільш розповсюджені станції, оснащені приладами місцевої і дистанційної дії. Технік-спостерігач станції за допомогою цих приладів проводить вимірювання і за отриманими результатами шляхом обчислень формує метеорологічну інформацію, яка по лініях зв'язку передається споживачам.

Метеорологічні станції мають метеорологічну площадку для розміщення вимірювальних приладів і датчиків на відкритому повітрі, і службове приміщення поблизу площадки (не дальше 300 м). Місце для площадки (на якій установлені майже всі датчики вимірювальних метеорологічних приладів) повинно бути типовим для місця розташування станції, з тим, щоб результати вимірювань на площадці були характерними для району в радіусі 20-30 км або крупного промислового центру, великого міста і т.п.

Метеорологічна площадка робиться прямокутною з орієнтацією сторін північ-південь і схід-захід. Її розміри визначаються об'ємом робіт, типом і кількістю апаратури даної станції. Згідно Настанови розмір площадки повинен бути 26 × 26 м (допускаються мінімальні розміри 16 × 20 м). Площадка станцій, на яких проводяться актинометричні спостереження, має розмір 26 × 36 м. Вона орієнтується довгими сторонами в напрямку північ-південь (рис.1.3).

Незалежно від характеру навколишньої місцевості сама площадка повинна бути по можливості рівною і знаходитися на відкритій місцевості, на відстані не менше 10-ти кратної висоти найближчої будови, дерев і т.п., і не ближче ніж в 100 м від великих водойм. В той же час під час вибору площадки належить уникати надмірно відкритих місць, де можливі завищені швидкості вітру, снігові заноси і т.п.

Ділянку, вибрану для площадки, вирівнюють (зрізують горби, кущі, викорчовують пні) і обносять огорожею з сітки або штахетника. Такі огорожі забезпечують добру продувність площадки і не вносять перекручень у вимірювання.

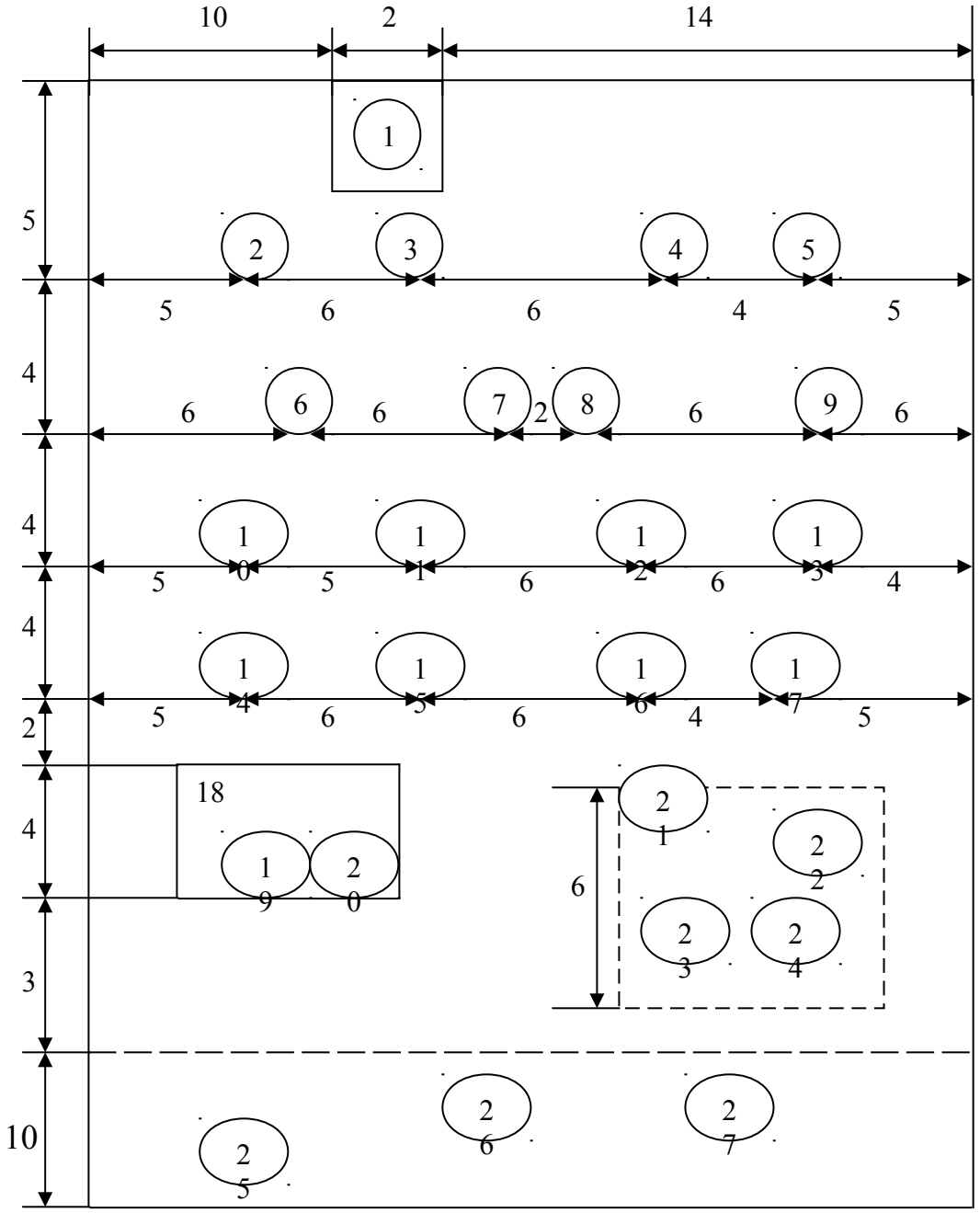


Рис.1.3 Приблизний план розміщення приладів та установок на метеорологічній площадці: 1 – геодезичний репер станції; 2 – флюгер з легкою доскою; 3 – датчик анеморумбометра (анеморумбографа); 4 – флюгер з важкою доскою; 5 – ожеледовий станок; 6 – будка психометрична; 7 – снігомірна рейка; 8 - будка психометрична запасна; 9 – будка для самописців; 10 - прилад для вимірювання МДВ (наприклад, установка М-53); 11 – опадомір; 12 – плювіограф; 13 – запасний стовп опадоміра (для установки при сніговому покриві); 14 - снігомірна рейка; 15 – геліограф; 16 – льодоскоп; 17 – росограф; 18 – ділянка, оголена від рослинного покриву для установки нагрунтових 19 і Савіновських (колінчатих) 20 термометрів; 21 – снігомірна рейка; 22 – ділянка з

природним рослинним покривом для установки грунтово-глибинних термометрів 23 і мерзлотоміра 24; 25 – установка для вимірювання вертикальних градієнтів температури і вологості повітря; 26 – установка для вимірювання мінливості швидкості вітру з висотою; 27 – актинометрична установка (стойка з приладами).

Метеорологічна площадка потребує систематичного уходу. Покров метеорологічної площадки повинен по можливості підтримуватися в природному стані і у відповідності з навколишнім її ландшафтом. Для цього підхід до приладів, які установлені на площадці, дозволяється тільки по доріжкам. Проте трав'яний покрив, якщо він є на площадці, влітку сильно розростається, його зрізують або скошують до висоти 20 см. Взимку не потрібно порушувати природний стан снігового покрову, але у випадку утворення сугорбів їх потрібно видалити.

Для забезпечення єдності вимірювань прилади на площадці установлюються суворо за схемою (рис.1.3) і правила 1, вказаному в Настанові. Зокрема, прилади повинні установлюватися на площадці у певному порядку і орієнтації відносно сторін світу і на певній висоті. Тому взимку при висоті снігового покриву більше 1 м деякі прилади переставляються на запасні більш високі підставки і стовпи.

Огорожа площадки і все розташоване на ній допоміжне обладнання (підставки, будки, стовпи, щогли і т.п.) фарбуються в білий колір для запобігання ї їх від зайвого перегріву прямими сонячними променями. Перегрів цих установок відносно навколишнього повітря може вплинути на прилади, що знаходяться поблизу, і привести до додаткових похибок вимірювань. Службове приміщення в залежності від типу станцій складається з 1 -2 кімнат площею 15 – 40 м ^{2}.

Строки і порядок проведення вимірювань на станції визначені Настановою і повинні виконуватися для забезпечення єдності вимірювань. На всіх метеорологічних станціях спостереження проводяться синхронно у вісім строків - в 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 і 24 год за московським декретним часом.

В ці строки визначаються атмосферний тиск, характеристики вітру, дальність видимості, температура і вологість повітря, характеристики хмарності. Деякі величини, які не використовуються для оперативної інформації (наприклад, для прогнозів) або, які не мають різко (явно) виражений добовий хід, вимірюються не у всі синхронні строки або навіть з відступом від цих строків. Так, тільки в два строки – в найближчі до 8 і 20 год за декретним часом даного поясу (пояс, в якому знаходиться станція) проводяться вимірювання кількості опадів і спостереження за станом ґрунту. Вимірювання опадів, крім того, проводиться о 3 і 15 год за московським декретним часом. При наявності снігового покрову

проводяться періодичні снігомірні зйомки, а о 8 год за декретним часом даного поясу проводяться спостереження за сніговим покровом.

Крім того, на станціях проводяться спостереження за обледенінням, вимірюється тривалість сонячного сяйва, температура ґрунту на різних глибинах, а також проводиться безперервна реєстрація атмосферного тиску, температури і вологості повітря, кількості рідких опадів і характеристик вітру.

Технік-спостерігач станції повинен почати спостереження з обходу площадки і підготовки приладів за 30 хв до настання поточного строку. Під час обходу він одночасно проводить деякі спостереження – за станом ґрунту, хмарністю й ін. Але основні вимірювання він проводить в фіксовані моменти часу. Приблизний порядок і послідовність виконання техніком-спостерігачем підготовчих робіт і вимірювань наведені в табл.1.2.

В існуючих автоматичних метеорологічних станціях АРМС увесь процес підготовки, вимірювань і видачі інформації триває не більше 5 хв. Вимірювання всіх величин займає приблизно 1 хв, тобто робиться практично одночасно. Тому для забезпечення єдності вимірювань послідовність (для рівних величин) виконання вимірювань цими станціями значення не має.

1.6 Вимоги до метеорологічних приладів.

До метеорологічних приладів пред'являються специфічні вимоги, пов'язані з умовами їх експлуатації. До всіх метеорологічних приладів, які призначені для роботи в природних умовах (за невеликим виключенням), пред'являються вимоги безвідмовної роботи у всіх кліматичних зонах нашої країни. Це відповідає вимозі безвідмовної роботи при температурі від -60 до +50ºС, при високій вологості повітря, випаданні рідких і твердих опадів, наявності туману, великій запиленості повітря, при великих вітрових навантаженнях та інше.

Масовість застосування метеорологічних приладів, їх розповсюдженість по всій території країни, включаючи віддалені і важкодоступні пункти, висувають вимоги високої надійності приладів при тривалій експлуатації, можливості їх перевозки всіма видами транспорту і тривалого зберігання (не менше одного року).

Прилади повинні зберігати протягом тривалого часу (не менше одного року) свої метрологічні характеристики.

Таблиця 1.2 - Приблизний порядок проведення спостережень на метеорологічних станціях, оснащених приладами місцевої дії, в єдині строки

Час московський (декретний)		Виконана робота
Години	Хвилини	
23, 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20	20 -30	Закінчення підготовки приладів і установок, які знаходяться на метеоплощадці, до вимірювань
Перед строками, ближчими до 8 і 20 год декретного часу даного пояса*	30	Визначення стану поверхні ґрунту
23, 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20	30 - 43	Вимірювання МДВ; визначення хмарності; вимірювання температури ґрунту на поверхні і на глибинах до 40 см**
Перед строками, ближчими до 13 год декретного часу даного пояса	30 - 43	Вимірювання температури ґрунту на глибинах більше 80 см**
23, 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20	43 - 47	Визначення параметрів вітру
2, 14 і перед строками, ближчими до 8 і 20 год	47 - 49	Зміна водозбірних посудин опадоміра; відмітка часу на стрічці плювіографа
23, 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20	50 - 52	Вимірювання температури і вологості повітря (зняття показань психометричних максимального и мінімального термометрів і гігрометра); нанесення міток часу на стрічках термографа і гігрографа***
	52 - 59	Перехід від площадки до службового приміщення станції.
24, 3, 6, 9, 12, 15, 18. 21	00 - 03	Вимірювання тиску атмосфери (по барометру); визначення барометричної тенденції по барографу; нанесення мітки часу на стрічці барографа. Вимірювання опадів. Обробка даних.

* - пояс, в якому розташована метеорологічна станція;

** - при сніговому покрові висотою 15 см температури ґрунту визначається тільки в один строк;

*** - вимірювання за допомогою приладів дистанційної дії (анеморумбометра, РДВ, ІВХ та ін.), якщо вони є на станції, проводяться у відповідності з вказівками Настанови. Зміна стрічок геліографа, спостереження за обледенінням, снігомірні зйомки проводяться згідно Настанови. Спостереження за атмосферними явищами проводяться безперервно. Зміна стрічок термографа, гігрографа, барографа проводиться в строк, найближчий до 13 год, а плювіографа – до 20 год декретного часу даного поясу. Вимірювання висоти снігового покрову по станційних рейках проводиться в строк, найближчий до 8 год декретного часу даного поясу.

До приладів, які застосовуються для одержання інформації для оперативного метеорологічного обслуговування (наприклад, авіації), пред'являються особливі вимоги. Вони повинні забезпечувати швидкість вимірювань і знімання результатів (для чого процес вимірювань повинен бути простим), виключати помилки, а результат повинен видаватися безпосередньо в потрібних одиницях (без додаткових обчислень).

До окремих приладів у зв'язку з особливостями вимірюваних ними величин ставляться дуже високі вимоги з обмеження похибок вимірювань.

Важливо, щоб необхідна потужність споживання енергії приладами, побудованими на електричних принципах вимірювань, була, якомога, меншою. В окремих випадках метеорологічні прилади повинні мати власні джерела живлення, діючі постійно або тільки у аварійному режимі.

Вимоги до кожного приладу звичайно визначаються на етапі його проектування технічним завданням (ТЗ), а при серійному виробництві – ДОСТом або технічними умовами (ТУ).

Контрольні запитання :

1. Що називають одиницею вимірювання ?
2. Що означає повірка засобів вимірювання ?
3. Які бувають похибки ?
4. Що таке чутливий елемент ?
5. Як і де розміщуються прилади на метеорологічній площадці ?
6. В які строки проводять спостереження ?
7. Які вимоги ставляться до метеорологічних приладів ?

2. ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НА МЕТЕОРОЛОГІЧНІЙ МЕРЕЖІ

2.1 Загальні відомості про термометрію.

На метеорологічних станціях вимірюють температуру повітря, ґрунту, води, снігу, а також градієнти температури в цих середовищах. Температура є однією з основних величин, яка характеризує тепловий стан системи. При вимірюванні температури тіл змінюються їх механічні, електричні, оптичні та інші фізичні властивості (розміри, електропровідність, випромінення та ін.).

По зміні будь-якої властивості тіла, температурна залежність якої відома, можна визначити температуру тіла. В метеорології застосовується метод безпосереднього вимірювання температури тіл, проте частіше температуру досліджуваних середовищ визначають за допомогою термометрів.

При вимірюванні температури досліджуваного середовища за допомогою термометра, поміщеного в нього, виходять з того, що температура всіх частин ізольованої системи (у даному випадку середовище – термометр), яка знаходиться в стані термодинамічної рівноваги, однакова. Якщо система знаходиться не в рівновазі, то відбувається теплопередача від тіл з великою температурою до тіл з меншою температурою. Отже, якщо для тіла, температуру якого потрібно виміряти, і термометра створити умови для теплообміну і захистити їх від зовнішнього впливу, то після установлення теплової рівноваги температури термометра і тіла стануть рівними, і тому показання термометра будуть відповідати температурі тіла.

Принцип дії будь-якого термометра заснований на закономірній температурній залежності деякій вибраній для вимірювання фізичній властивості термометра (або застосовних в ньому речовин).

Метод вимірювання температури і вид термометра визначається вибраною термометричною характеристикою (або вибраною термометричною речовиною).

Температурні шкали. Для порівняння показань різних термометрів їх градуюють за шкалою. Одиниця вимірювання температури залежить від вибраної температурної шкали. Зараз прийнята міжнародна практична температурна шкала МПТШ-68. Для розуміння її особливостей необхідно зрозуміти її зв’язок з іншими температурними шкалами, які тривалий час використовувалися. З моменту винаходу Галілеєм в 1598 році термометра, заснованого на застосуванні

термометричної речовини, об'єм або тиск якої залежить від температури, були запропоновані різні температурні шкали. Велике розповсюдження, в тому числі і в метеорології, отримали шкали, які запропонували Фаренгейт в 1715 р., Реомюр – в 1736 р., Цельсій – в 1748 р., Кельвін – в 1848 р.

Градус ***температурної шкали Фаренгейта*** (°F) складає 1/180 інтервалу між точками танення льоду і кипіння води, яким наданні значення 32°F і 212°F відповідно.

Градус ***температурної шкали Реомюра*** (°R) складає 1/80інтервалу між точками танення льоду і кипіння води, яким наданні значення відповідно 0°R і 80°R.

Градус ***температурної шкали Цельсія*** (°C) складає 1/100 інтервалу між точками танення льоду і кипіння води, яким надані значення відповідно 0°C і 100°C. Всі шкали цього типу залежать від роду застосованої термометричної речовини.

Кельвін запропонував ***термодинамічну температурну шкалу*** (***шкалу Кельвіна***), яка не залежить від термометричної речовини. Ця шкала, яка стала основною, спирається на одну реперну точку – потрійну точку води (точка рівновісного стану трьох фаз води). Одиниця цієї шкали називається ***кельвін*** і позначається **К**. Для послідовного числового виразу цієї шкали зі стоградусною шкалою Цельсія її проміжок між точками танення льоду і кипіння води також був прирівняний 100°. З врахуванням цього і того, що температура потрійної точки води лежить вище точки танення льоду на 0,01°, реперній точці шкали (потрійній точці води) дано значення 273,16 К.

Кельвін визначається як 1/273,16 частина термодинамічної температури потрійної точки води (1/273,16 інтервалу термодинамічної шкали між абсолютним нулем і потрійною точкою). Зв'язок між температурою за шкалою Кельвіна (Т) і температурою за шкалою Цельсія такий: $t = T - 273{,}15$ К.

З 1968 р. прийнята міжнародна практична температурна шкала МПТШ-68. Температура, вимірювана за цією шкалою, співпадає з термодинамічною температурою з існуючою зараз точністю вимірювань.

МПТШ-68 основується на деяких основних реперних точках і еталонах, градуйованих за цими точками (табл.2.1).

МПТШ-68 дозволяє користуватися як міжнародною практичною температурою Кельвіна (T_{68}), так і міжнародною практичною температурою Цельсія (t_{68}). Одиницями для них є застосовані раніше (до 1968 р.) кельвін і градус Цельсія, збережені й їхні позначення відповідно К і °C. Зв'язок між цими температурами - двома практичними температурами - визначається співвідношенням $t_{68} = T_{68} - 273{,}15$ К.

Таблиця 2.1 - Значення міжнародної практичної температури

Стан рівноваги речовини	Т, К	$t, ^\circ C$
Рівновага між рідинною і пароподібною фазами кисню (точка кипіння кисню)	90,188	-182,962
Рівновага між твердою, рідинною і пароподібною фазами води (потрійна точка води)	273,16	0,01
Рівновага між рідинною і пароподібною фазами води (точка кипіння води)	373,15	100
Рівновага між твердою і рідинною фазами олова (точка затвердіння олова)	515,12	231,97

2.2 Інерція термометрів.

Термометр, поміщений в будь-яке середовище для вимірювання її температури, приймає температуру середовища не миттєво. Час, необхідний для цього, залежить від інтенсивності теплообміну між середовищем і термометром, і від параметрів термометра. Наприклад, один і той же термометр при інших рівних умовах швидше прийме температуру рухомого відносно нього повітря, ніж нерухомого. Кількість тепла ΔQ, яке за кожний малий відрізок часу $\Delta\tau$, термометр отримує від середовища (або віддає середовищу), пропорційне цьому відрізку часу, різниці температур термометра t і середовища θ, а також залежить від площі поверхні термометра S, через яку здійснюється теплообмін між термометром і середовищем. Кількість тепла ΔQ, отримане (згублене) термометром за час $\Delta\tau$, з достатньою точністю визначається рівнянням

$$\Delta Q = - K S (t - \theta) \Delta\tau , \qquad (2.1)$$

де K - коефіцієнт зовнішнього теплообміну, який залежить від характеристик термометру і середовища.

Приток тепла ΔQ до термометру приводить до зміни його температури на Δt, який може бути визначений на основі рівняння

$$\Delta Q = cm\Delta t , \qquad (2.2)$$

де c - теплоємність речовини термометра;

m - маса термометра.

Переходячи до нескінченно малих величин, тобто коли $\Delta\tau \to d\tau$, $\Delta Q \to dQ$ і $\Delta t \to dt$, на основі рівнянь (2.1) і (2.2) отримаємо

$$\frac{dt}{d\tau} = -\frac{1}{\lambda}(t - \theta), \qquad (2.3)$$

де $\lambda = \frac{mc}{nS}$.

З рівняння (2.3) видно, що швидкість зміни температури термометра прямо пропорційна різниці температури термометра і середовища, і зворотно пропорційна величині λ, названою коефіцієнтом термічної інерції термометра. Поділивши змінні в рівнянні (2.3) та інтегруючи його для випадку, коли температура середовища θ постійна, одержуємо

$$\int \frac{dt}{t - \theta} = -\frac{1}{\lambda}\int d\tau,$$

звідки

$$t - \theta = C \cdot e^{\frac{-\tau}{\lambda}}. \qquad (2.4)$$

Сталу інтегрування С визначають за начальних умов при $\tau = 0$ і $t = t_0$ з (2.4), тоді $C = t_0 - \theta$. Підставивши це значення С в (2.4), отримаємо

$$\frac{t - \theta}{t_0 - \theta} = e^{\frac{-\tau}{\lambda}}. \qquad (2.5)$$

З рівнянь (2.4) і (2.5) видно, що різниця між температурою термометра і середовища протягом часу прямує до нуля. Це відбувається тим швидше, чим менше λ (рис.2.1).

Рівняння (2.5) визначає залежність між коефіцієнтом інерції λ, часом знаходження термометра в середовищі до моменту вимірювання (часом витримки) τ і різницею температур середовища, і термометра в момент вимірювання, тобто похибкою вимірювання.

Якщо в рівнянні (2.5) припустити, що час τ чисельно рівним коефіцієнту інерції λ, то отримаємо

$$\frac{t_0 - \theta}{t - \theta} = e. \qquad (2.6)$$

На основі рівнянь (2.5) і (2.6) коефіцієнт інерції термометра визначається як час, за який початкова різниця температур термометра і

середовища зменшується в $\mathring{a}$ разів ($\mathring{a}=2{,}718$ - основа натурального логарифма).

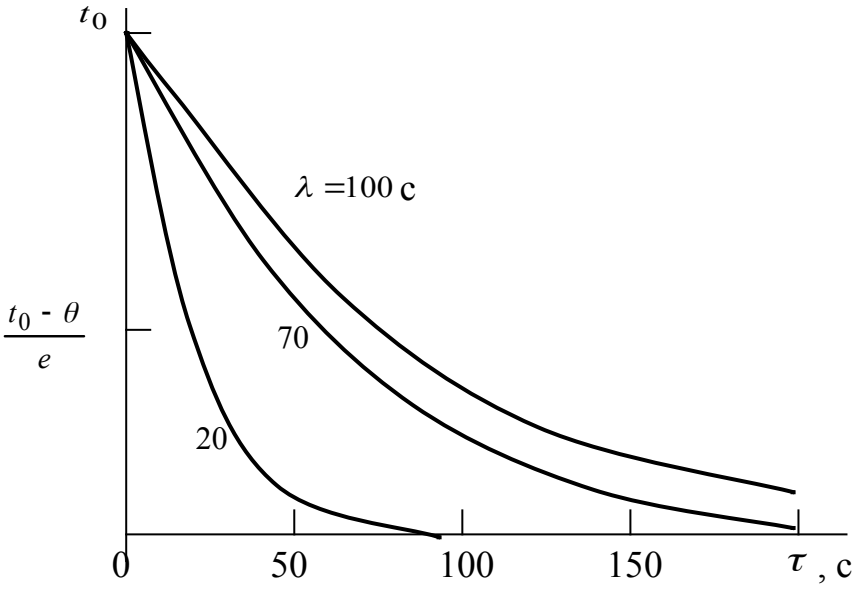


Рис.2.1 Залежність сприйняття термометром температури середовища від коефіцієнта термічної інерції

За допомогою формули (2.6) λ може бути визначена експериментально. Для цього, нагрівши термометр на декілька градусів вище температури середовища, помістимо його знову в середовище. Знаючи температуру середовища θ , вимірюємо по секундоміру час, за який термометр змінив температуру від довільно вибраної температури t_0 до температури t , обчисленої на основі формули (2.6).

На основі виразу (2.5) можна також визначити час, необхідний для того, щоб термометр з відомим коефіцієнтом інерції, поміщений в середовище, прийняв її температуру із заданою точністю.

Коефіцієнт інерції термометру в рідинному і газоподібному середовищі залежить від швидкості переміщення середовища відносно термометру. Це є наслідком зміни коефіцієнта зовнішнього теплообміну із зміною відносної швидкості руху середовища.

Установлено, що коефіцієнт інерції термометра у повітряному середовищі зворотно пропорційний квадратному кореню з швидкості руху повітря відносно термометра.

2.3 Види термометрів для метеорологічних вимірювань.

Термометрів, які застосовуються для метеорологічних вимірювань, досить багато, проте найбільше застосування на метеорологічній мережі мають:

- рідинні термометри, дія яких заснована на зміні об'єму рідини при зміні температури;
- деформаційні термометри, дія яких заснована на зміні лінійних розмірів твердих тіл із зміною температури;
- термометри опору, дія яких заснована на зміні електропровідності тіл із зміною температури;
- термоелектричні термометри, дія яких заснована на зміні електрорухливої сили термоелементів при зміні різниці температури спайок;
- термотранзисторні термометри, дія яких заснована на залежності напруги емітера – база транзистора від температури.

2.4 Скляно-рідинні метеорологічні термометри.

Ця група скляно-рідинних термометрів спеціальної конструкції, призначених для метеорологічних вимірювань температури, головним чином, на метеорологічних станціях і постах.

Основними частинами рідинного термометру є наповнений рідиною скляний резервуар, з'єднаний з капілярною трубкою, вільний кінець якої запаяний. До резервуару і капілярної трубки прикріплюється температурна шкала. Капіляр і шкала, в свою чергу, прикріплюються за допомогою скобок, пружини, втулки та ін. до циліндричної скляної оболонки, яка зверху запаюється. Зустрічаються термометри більш простої конструкції, виготовлені з товстостінних капілярних трубок. Один кінець трубки запаяний, а інший - розширений і переходить в резервуар, який заповнений рідинною. Шкала нанесена безпосередньо на капілярній трубці. Такі термометри іноді називають ***палковими***.

Термометричне скло (ДОСТ 1224-71), з якого виготовляються метеорологічні термометри, має коефіцієнт об'ємного термічного розширення $235 - 250 \cdot 10^{-7}$° C^{-1}. Як термометричну рідинну для ртутних термометрів використовують ртуть і спирт. Температурний коефіцієнт об'ємного розширення ртуті складає $181 \cdot 10^{-6}$° C^{-1}, спирту - $103 \cdot 10^{-5}$° C^{-1}. Використовується також ртутно-талієвий сплав. Коефіцієнт відносного температурного розширення ртуті в резервуарі з термометричного скла дорівнює $156 \cdot 10^{-6}$° C^{-1}, а спирту - 10^{-4}° C^{-1}.

Різні метеорологічні термометри в залежності від їх призначення можуть відрізнятися конструктивно – формою, розмірами, шкалами, діапазоном вимірювання, термічною інерцією, термічною рідинною і

т.д. В залежності від призначення і конструкції термометру об'єм в капілярі над рідинною вакуумується або наповнюється газом. Чутливість всіх метеорологічних термометрів забезпечує можливість відліку з точністю 0,1ºС. Для вимірювання температури більше -35ºС застосовують ртутні термометри (точка плавлення ртуті 38,87 ºС), а нижче -35ºС - спиртові. Вимірювання температури більше +25 ºС спиртовими термометрами не рекомендується, тому що при більш високій температурі спирт частково переходить в пароподібний стан (хоч його точка кипіння 78,5 ºС). Для вимірювання температури повітря в метеорології як основний термометр застосовують психрометричний.

Психрометричний термометр використовується для вимірювання температури повітря, а також при визначенні вологості повітря. Це ртутний термометр з вставною шкалою з молочного скла (рис.2.2).

Довжина термометру приблизно 400 мм, діаметр скляної оболонки приблизно 15 мм. Резервуар термометру кулеподібної форми діаметром 9 – 12 мм. Капіляр термометра круглий із зовнішнім діаметром не більше 2,5 мм. Простір над ртуттю в капілярі заповнюється азотом.

Психрометричні термометри випускаються з межами вимірювань від -31 до +50ºС або від -35 до +41ºС. Ціна поділки шкали 0,2ºС. Числові відмітки шкали нанесені через кожні 5ºС.

Коефіцієнт інерції психрометричного термометру в малорухомому повітрі ($\upsilon < 0{,}5$ м/с) складає приблизно 300 с. Для зручності установки термометра в спеціальному штативі на верхньому кінці його захисної трубки закріплений металевий ковпачок. Термометр установлюють в психрометричній будці у вертикальному положенні.

Рис.2.2 Психрометричний термометр

Спиртовий метеорологічний низько градусний термометр (ТМ-9) служить для визначення температури повітря нижче -35ºС; на метеорологічних станціях застосовується як додатковий (до ртутного психрометричного). Він відрізняється від психрометричного в основному тільки термометричною рідинною. Крім того він довший за психрометричний. Резервуар термометру має форму циліндра діаметром приблизно 6 мм. Випускається з межами від -71 до +21ºС або від -81 до +11ºС. Ціна поділки шкали 0,2ºС. Термометр установлюється вертикально в спеціальному гнізді штатива рядом з психрометричним

термометром. Вимірювання з його допомогою можна починати при температурі повітря -35ºС і нижче. Проте їх починають проводити паралельно з психрометричним ртутним, при температурі повітря нижче -20ºС. По результатах цих вимірювань визначають так названу додаткову поправку для спиртового термометра.

Поблизу резервуара термометр вигнутий під кутом 135°. Капіляр на ділянці від резервуара до початку шкали покритий теплоізоляційною оболонкою, що зменшує вплив на показання термометра шару ґрунту, який лежить над його резервуаром, і забезпечує більш точне вимірювання температури на глибині, де установлений резервуар.

Установки з ґрунтово-витяжними термометрами – ТПВ-50. Ці установки призначені для вимірювання температури ґрунту на декількох глибинах від 20 до 320 см.

Вона виключає похибку в показаннях спиртового термометра, яка виникає через те, що спирт термометра може випаровуватися і конденсуватися у верхній частині капіляру, внаслідок чого стовпчик спирту, по якому визначають температуру повітря, зменшується.

Будова інших метеорологічних термометрів, які призначені для вимірювання поточних значень температури, не має принципових відмін від описаних. Виключенням є термометри для вимірювання температури ґрунту на різних глибинах до 20 см, які мають особливості конструкції або застосовуються з додатковими пристроями.

Ртутні метеорологічні колінчаті термометри (Савінова) випускаються комплектом по чотири термометри, які відрізняються довжиною (290, 350, 450 і 500 мм) за рахунок різної довжини підшкальної частини (рис.2.3). Вони призначені для вимірювання температури ґрунту на глибинах 5, 10, 15 і 20 см. Ціна поділки шкали 0,5°С, межі від -10 до +50ºС.

Рис.2.3 Ртутні колінчаті термометри (Савінова)

Для вимірювання температури на кожній глибині в установках застосовується ґрунтово-глибинний термометр (ДОСТ 6083-51). Це ртутний метеорологічний термометр. Його довжина 360 мм, діаметр скляної оболонки 16 мм, діапазон вимірювань приблизно 50°С (верхній діапазон шкали від +31 до +41°С, нижній - від -10 до -20°С). Ціна найменшої поділки 0,2°С.

Установка складається з восьми або п'яти однакових пристроїв (збірок). Збірка, що складається з двох частин (жердина з термометром і вініпластова труба), наведені на рис.2.4.

Термометр 2 поміщений у вініпластову оправу 3. В оправу навколо резервуару термометра насипають мідні ошурки, забезпечивши тим самим його тепловий контакт з металевим ковпачком 1 оправи, а також збільшуючи термічну інерцію термометра, що необхідно для зберігання показань термометра під час проведення відліків.

Оправа 3 з термометром закріплена на дерев'яній жердині 5, на другому кінці якого надітий ковпачок 6 з кільцем. Всередині ковпачка знаходиться фетрова кільцева прокладка. Довжина жердини визначається в залежності від глибини, на яку установлюється термометр.

Дерев'яна жердина 5 із закріпленим на ньому термометром в оправі опускається в ебонітову трубу 8, закриту з нижнього кінця металевим ковпачком 9.

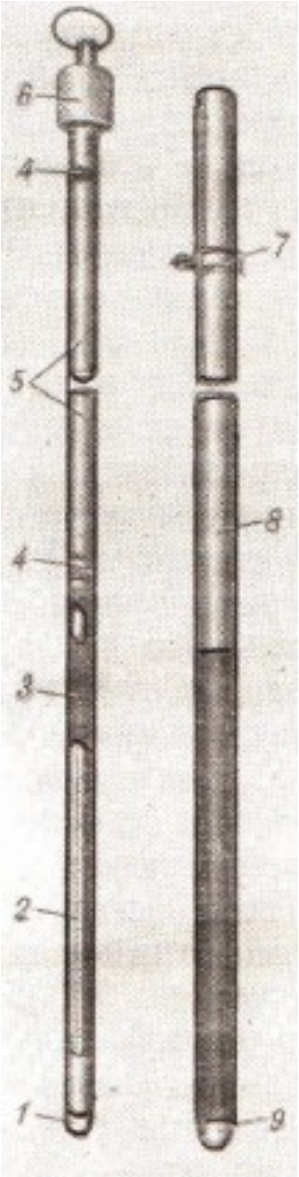


Рис.2.4 Термометр з жердиною і трубка ґрунтово-витяжної установки: 1 і 9 – металеві ковпачки; 2 – термометр; 3 – вініпластова оправа; 4 – волокові кільця; 5 – дерев'яна жердина; 6 – ковпачок з кільцем; 7 – металевий хомутик; 8 – ебонітова труба

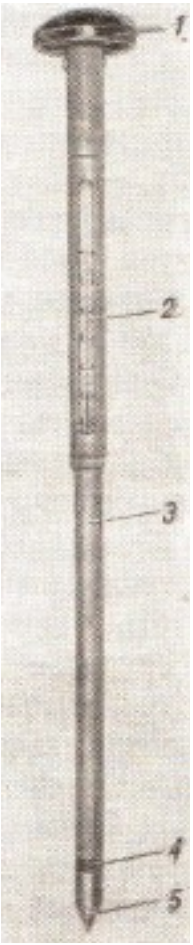
На нижню частину труби надягається металевий хомутик 7 з трьома вушками для відтяжок, якими закріплюється труба при установці. Труба 8 закопується в землю на таку глибину, на якій вимірюється температура.

Жердина повинна входити в трубу вільно. На жердині в декількох місцях закріплені волокові кільця 4, які перешкоджають обміну повітря в трубі. Коли жердина з термометром опущена в трубу, дно оправи повинне доторкуватися до металевого дна стаканчика труби. (Тільки у цьому випадку можна отримати правильні значення температури ґрунту на глибині). Труба покривається масляною краскою; частина, що заглиблена в землю, фарбується в зелений колір, а частина, що виступає над ґрунтом, - в білий (для меншого нагрівання від радіації).

Надземна частина труби має довжину 40 см, а для районів з високим сніговим покровом – 100 см.

Труби довжиною 3,4; 3,6 і 4,2 м і жердини для них виготовляються з окремих секцій, які з'єднані між собою муфтами.

Похідний ґрунтовий термометр-щуп – АМ-6. Термометр-щуп призначений для вимірювання температури ґрунту в орному шарі на глибинах від 3 до 40 см.



Він складається з термометра і оправи. Термометр толуоловий рідинний довжиною 580 мм з межами шкали від 0 до +60°С. Мінімальна поділка шкали 1°С. Оправа забезпечує можливість заглиблення термометра в ґрунт на потрібну глибину. На нижньому кінці оправи 3 за допомогою втулки 4 з термоізоляційного матеріалу закріплюється металевий наконечник 5. Зверху оправи є рукоятка 1, за допомогою якої заглиблюють та витягають термометр з оправою з ґрунту. Термометр 2 закріплений в оправі за допомогою резинових прокладок, ізоляційної стрічки і пружини. Його шкала знаходиться напроти поздовжнього вікна оправи, а його резервуар – всередині порожнини наконечника 5. Вікно оправи закрите пластинкою з органічного скла. Для забезпечення теплового контакту резервуара термометра з наконечником 5 вільний простір між його стінками і резистором заповнюється мідними ошурками.

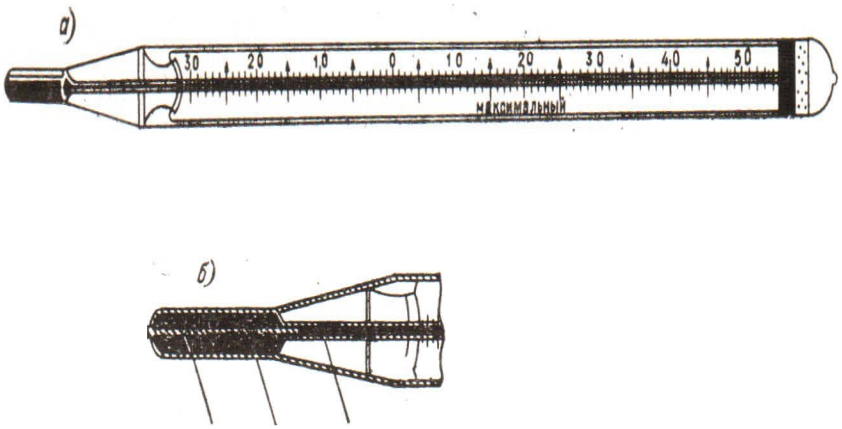
Рис.2.5 Похідний ґрунтовий термометр-щуп:1 – рукоятка; 2 – термометр; 3 – оправа; 4 – втулка; 5 – металевий наконечник

На оправі, на протилежній вікну стороні, нанесені сантиметрові поділки з оцифровкою через кожні 5 см; нуль шкали співпадає з місцем

розташування резервуара термометра. По цій шкалі визначають глибину заглиблення резервуара термометра.

Термометр в оправі має досить велику інерцію, і тому вимірювання температури (відлік по термометру) роблять не менше ніж через 6 хв після його заглиблення.

Максимальний ртутний термометр. Він служить для вимірювання максимальної температури за деякий проміжок часу (рис.2.6).



а)

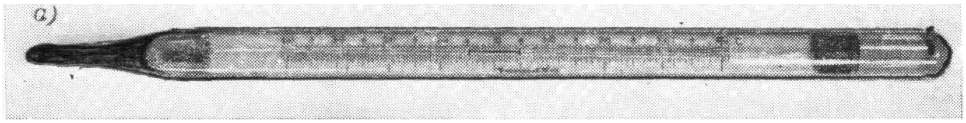
б) 1 2 3

Рис.2.6 Максимальний термометр (а) і пристрій, що забезпечує збереження максимальних значень (б): 1 – штифт; 2 – резервуар; 3 - капіляр

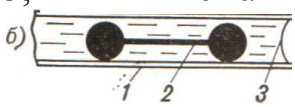
Ціна поділки його шкали 0,5°С; межі вимірювань від -35 до +50°С або від -20 до +70°С. Робоче положення термометру близьке до горизонтального (резервуар злегка опущений). Показання максимальних значень температури цим термометром зберігаються завдяки наявності штифта (рис.2.6, б), закріпленого всередині резервуара (до його дна), і вакууму в капілярі над ртуттю. При підвищенні температури надлишок ртуті з резервуара витискується в капіляр через вузький кільцеподібний отвір між штифтом і стінками капіляра і залишається там і при пониженні температури (тому що в капілярі вакуум). Таким чином, положення кінця

стовпчика ртуті відносно шкали відповідає максимальній температурі. Для приведення показань термометра у відповідність з температурою на даний момент, термометр струшують. Після цього показання термометра не повинне відрізнятися від показань контрольного (наприклад, психрометричного) більше ніж на 0,2°С.

Спиртовий мінімальний термометр. Його застосовують для



вимірювання мінімальної температури за деякий проміжок часу. Ціна поділки його шкали 0,5°С; нижня межа вимірювань варіює від -75 до -41°С, верхня - від +21 до +41°С. Робоче положення термометра – горизонтальне (рис.2.7).



а)

б)

Рис.2.7 Мінімальний термометр (а) і пристрій, що забезпечує зберігання мінімальних значень (б): 1 – капіляр; 2 – штифт; 3 – меніск спирту

Зберігання мінімальних значень забезпечується штифтом-вказівником 2, який знаходиться в капілярі 1 всередині спирту (рис.2.7, б). Стовщення штифта менше внутрішнього діаметру капіляру, тому при підвищенні температури спирт, що надходить з резервуара в капіляр, обтікає штифт 2, не зміщуючи його. При зниженні температури штифт після зіткнення з меніском 3 стовпчика спирту переміщується разом зі спиртом до резервуару (тому що сили поверхневого натягнення плівки спирту більше сил тертя штифта об стінки капіляру); при переміщенні штифт виявиться в найближчому до резервуару положенні, якого досягне меніск стовпчика спирту при мінімальній температурі, і залишиться там після підвищення температури. Таким чином, положення кінця штифта, найближчого до меніска спирту, вказує за шкалою мінімальну температуру, а меніск спирту – температуру в момент вимірювання. До установки в робоче положення мінімальний термометр

припіднімають резервуаром до верху і тримають до тих пір, доки штифт не опуститься до меніску спирту.

До метеорологічних термометрів ставляться високі вимоги з точності і по зберіганню градуйованих характеристик. Проте з часом градуйовані характеристики термометрів змінюються, внаслідок чого змінюється їх систематична похибка. Це можна виявити при їхній повторній повірці хоч би в одній точці, наприклад, в точці 0°С (при таненні льоду). Зміна градуйованої характеристики і систематичної похибки цих термометрів по характеру їх прояви діляться на інерційні, так названі «столітні», які відбуваються повільно і викликають підвищення показань, і часові, які викликають зниження показань. «Столітні» підвищення показань відбуваються, очевидно, через зменшення напруги в склі, що не був усунений під час виготовлення термометрів, і складають 0,01 – 0,04°С на рік.

Часові зниження , або «депресії», точки нуля виникають внаслідок різких коротко часових нагрівань термометру через явище залишкової деформації (розширення) скла (резервуару) після різкого нагрівання.

«Депресія» для метеорологічних термометрів при різкому нагріванні їх на 40 - 50°С складає 0,02 – 0,04°С. Вона протягом часу (15 – 20 днів) практично зникає. Для запобігання появи цієї додаткової похибки, яку не можна врахувати, термометр не треба штучно піддавати різким короткочасовим змінам температури.

Кожний повірений термометр постачається повірочний свідоцтвом, а на самому термометрі наноситься порядковий номер і тавро повірки. В повірочному свідоцтві поправки до показань термометру даються через кожні 10°С з точністю до сотої долі градуса. Ці поправки для окремих точок шкали називають поправками «***при***», тобто при -10°С, при 0°С і т.д. Ними користуватися незручно, тому в повірочному свідоцтві наводяться також так названі поправки «***від-до***», тобто поправки по окремих ділянках шкали, для яких її приймають постійною з точністю до 0,1°С. Для визначення можливої зміни систематичної похибки роблять періодичні повірки термометрів. Звичайно їх проводять безпосередньо на станції під час інспекції, обмежуючись повіркою в точці 0°С (повторна повірка точки нуля). Для цього термометр занурюють на 5 – 6 см глибше відмітки нуля його шкали в чистий лід, що тане, і через 30 хв, відчистивши лід у нуля шкали, не менше трьох раз відраховують показання термометру з точністю до 0,01°С (користуючись лупою); по середньому значенню визначають похибку показань термометра в точці 0°С. Якщо вона відрізняється від отриманої при попередній повірці, то обчислюють зміну поправки в точці 0°С і розповсюджують цю зміну на поправки всіх ділянок (або точок) шкали.

Вимірювання температури за допомогою метеорологічних термометрів. Відліки показань термометрів роблять з точністю до 0,1°С, незалежно від ціни поділки шкали. Для забезпечення такої точності необхідно дотримуватися певних правил проведення вимірювань та їх послідовність.

Визначають положення кінця стовпчика рідини в капілярі відносно шкали. При цьому око розташовують так, щоб візирна лінія була перпендикулярна капіляру і проходила через верхню (нижню) точку меніска стовпчика ртуті (спирту). При правильному розташуванні ока видимі через капіляр відмітки шкали в місці відліку і поблизу нього не викривлюються; при низькому розташуванні ока штрихи будуть здаватися в середній частині вигнутими доверху, а при дуже високому – вигнутими донизу.

Правильність розташування ока при відліках по паличковим термометрам можна визначити по дзеркальним зображенням відміток шкали, які видні у вигляді чорних смужок на блискучій поверхні ртуті. Ці зображення повинні співпадати з відмітками шкали і стати непомітними. Відліки потрібно робити швидко. В першу чергу відраховують десяті долі градуса, а потім цілі градуси. Така послідовність відліків в значній мірі виключає похибку вимірювань, яка виникає від впливу спостерігача на термометр – він може його декілька разів нагріти або охолодити, відповідно змінивши його показання і тим самим внести похибку у вимірювання, яку не можна врахувати.

Для виключення інструментальної похибки у відліки по термометрам вводять поправки, взяті з його повірочного свідоцтва. Тому кожний термометр будь-якого типу (не тільки рідинний), який призначається для метеорологічних вимірювань, проходить повірку. В результаті повірки отримують поправки по всій його шкалі відносно Міжнародної практичної температурної шкали (МПТШ-68). У відповідності з встановленими строками в залежності від виду термометра його піддають контрольній повірці.

2.5 Деформаційні термометри.

В метеорології застосовується головним чином один вид деформаційних термометрів - біметалеві термометри. Чутливим елементом біметалевих термометрів служить біметалева пластинка. При зміні температури така біметалева пластинка вигинається внаслідок різного розширення складових її металів.

а)

б)

в)

Рис.2.8 Деформація біметалевої пластинки

Наприклад, якщо взяти біметалеву пластинку, яка складається з інвару та сталі (рис.2.8 а) (інвар, що має менший коефіцієнт розширення, знаходиться зверху), то при збільшенні температури пластинка вигнеться таким чином, що інвар виявиться з увігнутої сторони пластинки (рис.2.8 б). При зниженні температури пластинка вигнеться в протилежну сторону (рис.2.8 в).

Якщо один кінець біметалевої пластинки закріпити нерухомо, то при зміні температури її вільний кінець буде переміщуватися. Переміщення вільного кінця Δx при зміні температури пластинки на Δt виражається формулою

$$\Delta x = \frac{3(\alpha_1 - \alpha_2)L_0^2}{4h}\Delta t, \qquad (2.7)$$

де α_1 і α_2 - коефіцієнти лінійного розширення металів, з яких складається пластинка;

L_0 - довжина біметалевої пластинки;

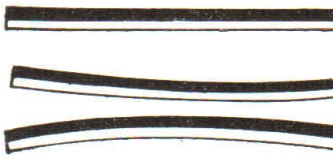
h - її товщина.

Замінюючи $\frac{3(\alpha_1 - \alpha_2)L_0^2}{4R}$ постійним числом A, маємо

$$\Delta x = A\Delta t, \qquad (2.8)$$

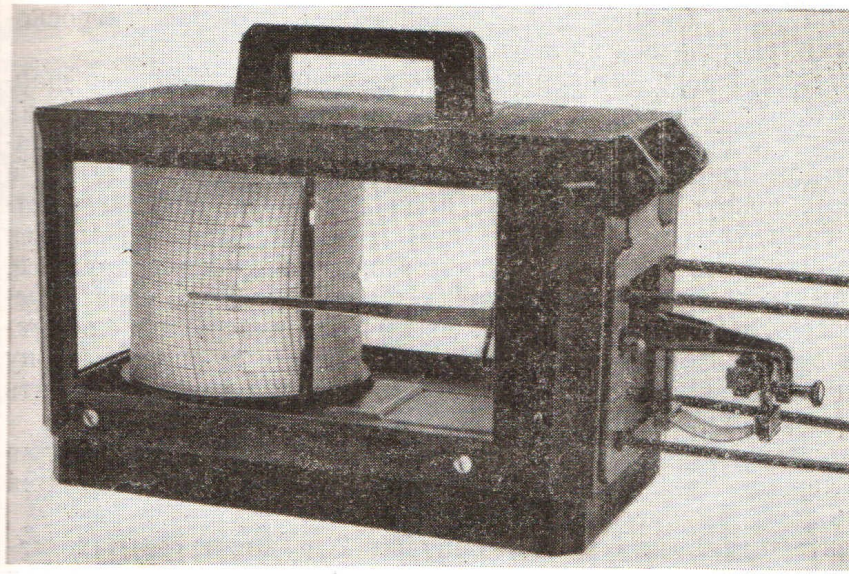
тобто переміщення вільного кінця біметалевої пластинки пропорційне зміні температури. Завдяки цьому біметалеві термометри мають майже рівномірну шкалу.

Біметалеві чутливі елементи використовуються в термографах,



метеорографах, радіозондах і деяких інших приладах.

Термографи. Вимірювання температури в окремі моменти часу не завжди є достатнім. У багатьох випадках важливо знати також безперервний хід зміни температури. Для реєстрації варіацій температури в часі в метеорології застосовуються самописці, так звані термографи.



Термограф (рис.2.9 і рис.2.10) випускається в пластмасовому корпусі. На основі корпуса за допомогою гвинтів закріплюється плата 2, на якій змонтований весь механізм термографа. Біметалева пластинка 14, що є чутливим елементом термографа, змонтована на кронштейні 12. Кронштейн 12 прикріплюється до другого кронштейна 10, на якому зібраний важільний механізм, що зв'язує біметалеву пластинку зі стрілкою 5. Остання на своєму кінці має перо 1. Кронштейн 10 з механізмом прикріплюється до плати 2.

Важільний механізм складається з важеля 11, з'єднаного з вільним кінцем біметалевої пластинки, тяги 7, важеля 8, закріпленого на осі 9, яка зв'язана зі стрілкою 5. при зміні температури біметалева пластинка 14 деформується і переміщує стрілку 5 з пером вздовж барабана зі стрічкою (переміщення передається через важіль 11, тягу 7, важіль 8 і вісь 9).

Рис.2.9 Термограф

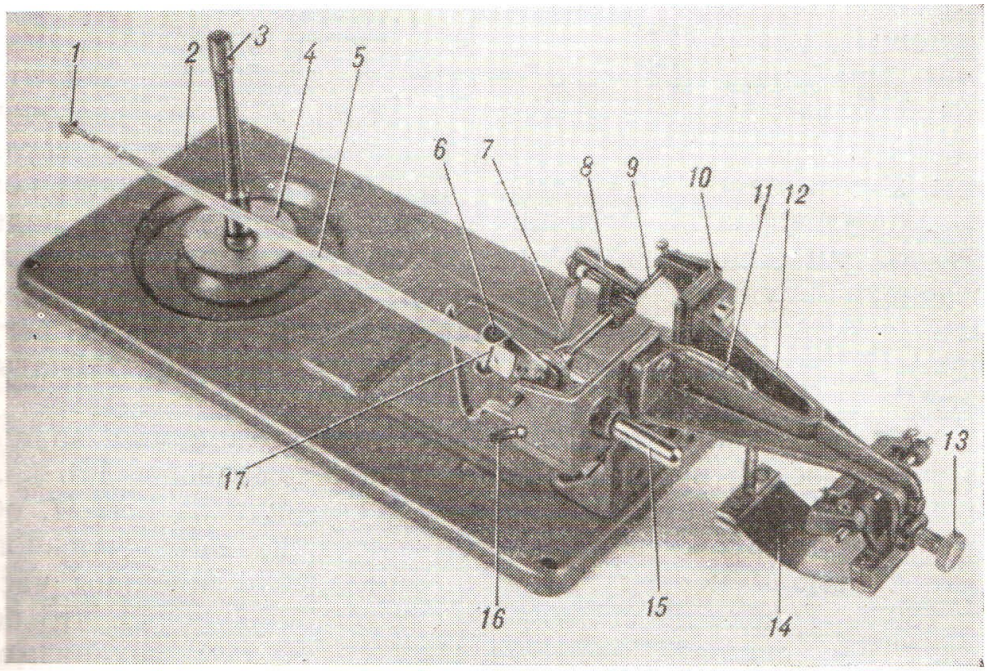


Рис.2.10 Механізм термографа: 1 – перо; 2 – плата; 3 – вісь барабану; 4 – підкладне колесо; 5 – стрілка пера; 6 - рамка шарніра пера; 7 - тяга; 8 і 11 - важелі; 9 – вісь стрілки; 10 і 12 – кронштейни; 13 – гвинт; 14 – біметалева пластина; 15 – кнопка; 16 - ручка; 17 – вісь шарніра стрілки.

Барабан обертається годинниковим механізмом навколо вертикальної осі 3, яка закріплена в платі 2. При зніманні барабану з осі для заведення годинника і зміни стрічки кришка відкривається за ручку

при одночасному натиску на кнопку замка. Стрілка 5 з пером відводиться поворотом ручки 16 за годинниковою стрілкою до упора (притиснення стрілки з пером до барабану здійснюється поворотом її в зворотному напрямку до початкового положення). За допомогою кнопки 15 можна зробити пером відмітку на стрічці, не відкриваючи кришку. Початкове положення пера установлюється за допомогою гвинта 13.

Для запобігання біметалевої пластини 14 від механічних пошкоджень служить захист, виготовлений з металевих прутків.

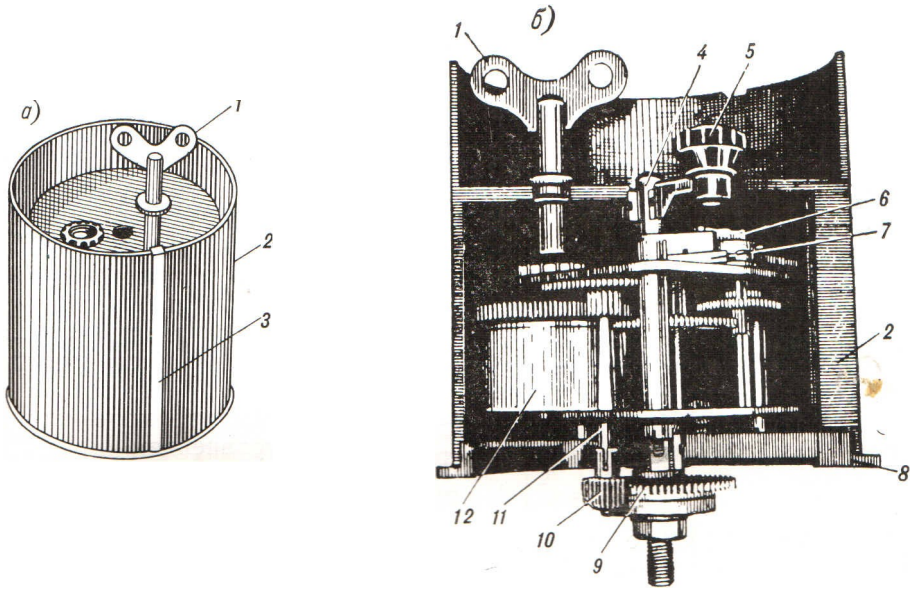
Металеве перо, яке застосовується в самописцях, являє собою невелику порожню пірамідку, що вершиною обернена до паперу. Перо заповнюється спеціальними чорнилами. Чорнила для самописців не повинні бути густими, гігроскопічними, розтікатися на стрічці.

Стрілка 5 пера – вузька пружна пластинка за допомогою шарнірів 6 і 17 зв'язана з віссю 9. Вісь шарніра 17 вставлена в рамку 6 з деяким відхиленням від вертикалі таким чином, щоб кінець стрілки з пером при відведенні її від барабану і повороті навколо осі трохи піднявся вверх. Під впливом сили тяжіння (своєї маси) стрілка буде прагнути зайняти найбільш низьке положення і, обертаючись навколо осі, притискатися пером до барабану. Ступінь притискання пера визначається кутом нахилу осі 17. Збільшення або зменшення нахилу осі робиться поворотом у відповідну сторону рамки 6. Правильно відрегульована стрілка почне відходити від барабану при нахилі самописця на 30-40°.

Барабан з годинниковим механізмом (рис.2.11) служить для рівномірного переміщення стрічки, на якій робиться запис ходу температури.

Стрічка накладається на барабан 2 і кінці її затискаються плоскою пружиною 3. Нижній кінець пружини вставлений в отвір ободка барабану, а верхній загнутий у вигляді гачка і зачіплюється за верхню кромку барабану, який має в цьому місці невеликий виріз.

Всередині барабану на його знімальній основі 8 (рис.2.11 б) прикріплюється годинниковий механізм з пружинним заводом і спусковим регулятором. Пружина, що приводить до руху годинниковий механізм, знаходиться в завідному барабані 12 і заводиться за допомогою ключа 1. Для ключа є отвір в діафрагмі барабану. Другий отвір в діафрагмі, закритий пробкою 5, розташований проти регулятора 6 хода 7 годинникового механізму. Знімаючи пробку, через цей отвір можна регулювати хід годинникового механізму. Завідна пружина одним кінцем прикріплена за вісь завідного барабана, на яку надітий ключ, другим - зачіплюється на виступ на його внутрішній стінці. Заведена пружина, намагається розправитися, і обертає барабан. Швидкість обертання барабану задається спусковим регулятором 6, який зв'язаний з барабаном системою зубчастих коліс.



а) б)

Рис.2.11 Барабан з годинниковим механізмом: а – загальний вигляд, б – розріз барабану; 1 – ключ; 2 – барабан; 3 – пружина, що затискає; 4 – вісь; 5 – пробка; 6 – регулятор; 7 – хід; 8 – основа; 9 – підкладне колесо; 10 – трибка; 11 – вісь трибки; 12 – завідний барабан

При роботі годинника барабан з годинниковим механізмом обертається навколо осі 4, яка прикріплюється до плати самописця. Це обертання викликається тим, що трибка 10, яка сидить на осі 11, обкатується навколо нерухомого колеса 9, прикріпленого разом з віссю 4 до плати. При повному заводі пружини годинник йде 180 годин. Трибка 10 зв'язана з віссю 11 фрікційно, що дозволяє повертати весь барабан з годинниковим механізмом вручну.

Годинникові механізми випускаються двох видів: добові (тривалість одного обороту барабану складає 26 год.) і тижневі (тривалість одного обороту – 176 год.). Вони відрізняються кількістю зубців трибки 10 і колеса 9. У механізмів з добовим ходом трибка має 22 зубця і колесо (шестерня) - 86, у механізмів з тижневим ходом – відповідно 16 і 87

зубців. Крім того, у механізмів з тижневим ходом трибка насаджена не на вісь 11 (вона у цих механізмів коротша), а на іншу додаткову вісь з великою шестернею, яка з'єднується з шестернею завідного барабану 12. В платах годинникового механізму і в барабані є отвори для установки цієї осі.

За технічних умов годинник повинен працювати при зміні температури навколишнього повітря в межах від -35 до +45°С, при цьому мати точність ходу для добових ± 5 хв за 24 год і для тижневих ± 30 хв за 168 год (7 діб).

Стрічка термографа розграфлена прямими горизонтальними лініями і вертикально розташованими дугами. Горизонтальні лінії утворюють шкалу температури з ціною найменшої поділки 1°С. Вертикальні дуги утворюють шкалу часу з ціною поділки 15 хв для добового термографа і 2 год для тижневого.

2.6 Термометри опору.

Принцип дії термометрів опору заснований на залежності електричного опору (провідності) різних матеріалів від температури. Властивістю температурної залежності електроопору в тій чи іншій мірі володіють всі матеріали. Як первинні перетворювачі термометрів опору застосовують металеві дротові і напівпровідні терморезистори, які вмикаються у вимірювальну схему (наприклад, мостова), як один з її елементів.

Вид і конструкція терморезистора в значній мірі визначають конструкцію всього датчика. Тому часто терморезистори називають в технічній документації «датчиком термометра опору», «термометром опору». Проте потрібно мати на увазі, що ці найменування не точні і є умовними. Конструкція датчика залежить від призначення. Так, наприклад, датчик температури повітря, якщо він призначений для установки на відкритому повітрі, повинен містити радіаційний захист й аспіратор; датчик, установлений в психрометричній будці, може не мати ці конструктивні елементи.

Температурна залежність дротових терморезисторів з достатньою точністю визначається рівнянням

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \qquad (2.9)$$

де R_t - опір при температурі $t^\circ C$;

R_0 - опір при температурі $0^\circ C$;

α - температурний коефіцієнт опору даного металу.

В табл.2.1 наводяться значення α для деяких металів і сплавів.

Таблиця 2.1

Метал, сплав	$\alpha \cdot 10^4$
Мідь	42,8
Нікель	27 – 62
Платина	35 – 28
Константан	От -0,4 до +0,1
Манганін	0,02 – 0,5

Дротові терморезистори термометрів опору, що застосовуються в метеорології, виготовляють головним чином з мідного і платинового дроту діаметром 0,02 – 0,1 мм. Метали (мідь, платина), з яких виготовлений дріт, повинні бути високої чистоти, тому що навіть невеликі домішки істотно зменшують α.

Напівпровідникові терморезистори (термістори), що використовуються в термометрії, виготовляються звичайно з напівпровідникових матеріалів з великим температурним коефіцієнтом. До таких матеріалів відносяться, наприклад, окисли урану, марганцю, міді, заліза, магнію, а також їх суміші. Опір напівпровідників убуває з ростом температури. Температурна залежність їх опору виражається формулою

$$R = Ae^{\frac{B}{T}}, \qquad (2.10)$$

де T - абсолютна температура;

A і B - сталі, які характеризують напівпровідник, з якого виготовлений терморезистор;

e - основа натуральних логарифмів.

Температурний коефіцієнт термісторів залежить від температури

$$\alpha = -\frac{B}{T^2} \qquad (2.11)$$

і для різних термісторів коливається від 10^{-2} до $7 \cdot 10^{-2}$ на один градус, тобто в середньому в 10 разів більше, ніж у металів.

Термометри опору з напівпровідниковими терморезисторами більш чутливі, ніж з металевими, тому застосування їх в деяких випадках виявляється доцільним. Проте масове їх використання зустрічає деякі затруднення. Зокрема, через нелінійний характер залежності термоопору від температури напівпровідниковий термометр опору має зміну

чутливість за шкалою. Терморезистори навіть однієї партії виготовлення мають розкид по номіналу R_0 і температурному коефіцієнту опору α. Масовий підбір терморезисторів з однаковими характеристиками затруднений. Для точних вимірювань температури (з похибкою менше 0,1°С) до кожного екземпляру терморезистора потрібно розраховувати й виготовляти підгоночні елементи схеми. Характеристики напівпровідникових терморезисторів змінюються в часі більше, ніж металевих. Тому зараз термометри з напівпровідниковими терморезисторами застосовують для масових вимірювань, які не потребують високої точності – порядку 1,0°С (в радіозондах, при агрофізичних вимірюваннях та інших).

Як первинні перетворювачі термометрів опору використовуються серійно випущені напівпровідникові терморезистори різних типів (рис.2.12).

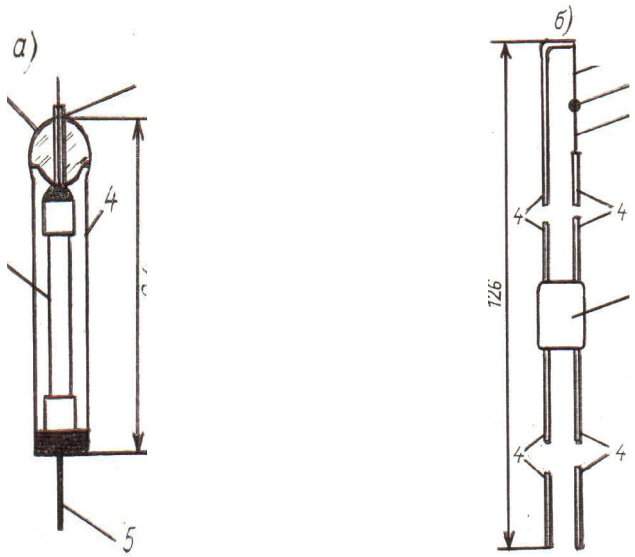


Рис.2.12 Терморезистори напівпровідникові: а - ММТ-4; 1 – напівпровідник; 2 – ізолятор; 3 і 5 – виводи; 4 – корпус; б – ММ-8; 1 і 3 – з'єднувальні проводи; 2 – напівпровідник; 4 – виводи; 5 - ізолятор

В одних (ММТ-4, рис.2.12 а) напівпровідник 1 розміщений в герметичному корпусі 4, вивід 3 надійно ізольований від корпуса, вивід 5 може бути з ним з'єднаний. В інших (ММ-8, рис.2.12 б) напівпровідник 2 з малою масою з'єднаний з двома проводами 1 і 3 з виводами 4. Термічна інерція такого терморезистора мала. Оптичний опір використаних в метеорології терморезисторів $10 - 10^5$ Ом.

На рис.2.13 наведені дротикові терморезистори. В терморезисторі (рис.2.13 а) провід 4 біфілярно намотаний на циліндрі (каркасі) 5 з ізоляційного матеріалу (або на металевому циліндрі, покритому ізоляційною плівкою). Провід покривається ізоляційною плівкою 3

(наприклад, з фторопласта). Каркас з дротиковою намоткою вставляється в металеву гільзу 6. Гільза герметично закрита пробкою 2, в яку впресовані контактні виводи 1, з'єднані з кінцями проводу 4.

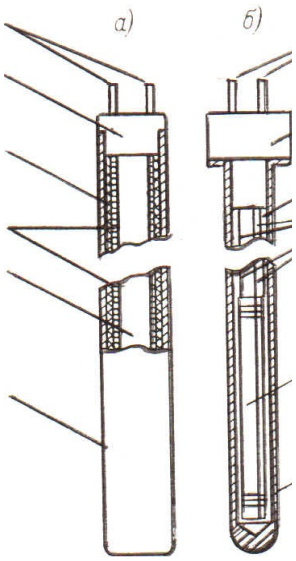


Рис.2.13 Терморезистори дротові: а – каркасний; 1 – виводи; 2 – ізоляційна пробка; 3 – ізоляційна плівка; 4 – дріт; 5 – каркас; 6 – гільза; б – без каркасний; 1 – виводи; 2 – ізоляційна пробка; 3 – штир; 4 – з'єднувальний провід; 5 – моток дроту в плівці; 6 - гільза

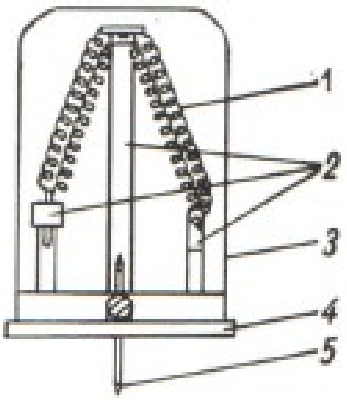
Ця конструкція проста і надійна, але для точних вимірювань такий резистор застосовувати не можна. Практично неможливо вибрати матеріал каркасу 5 з таким же температурним коефіцієнтом розширення (α_1), як у матеріала дроту 4 (α_2). Тому при температурі відмінної від тієї, при якій виготовлений резистор, дріт буде розтягуватися (при великій або меншій температурі в залежності від співвідношення α_1 і α_2), що приводить до зміни його опору і додаткової похибки, яку врахувати не можна. Крім того, можлива залишкова деформація дроту приводить до зміщення точки нуля (зміні R_0).

Тому в датчиках термометрів опору, призначених для точних вимірювань, застосовують безкаркасні терморезистори (рис.2.13 б). В таких терморезисторах дріт, покритий ізоляцією, складений в мотку 5, обв'язаний фторопластовою плівкою і поміщений в металеву або пластмасову гільзу 6. Гільза герметично закривається пробкою 2, в яку запресовані виводи 1 для дроту 4 і штир 3 для кріплення мотка дроту 5. Такі терморезистори виготовляються довжиною 50 – 100 мм, діаметром 4 – 10 мм.

Датчики з такими терморезисторами застосовуються в дистанційних установках, автоматичних і дистанційних станціях для вимірювання температури повітря, ґрунту і води. Звичайно інерція датчиків робиться рівною інерції відповідних метеорологічних термометрів.

На рис.2.14 наведені основні елементи конструкції датчика мало інерційного термометру опору, призначеного для вимірювання пульсацій температури повітря.

Рис.2.14 Датчик з мало інерційним проводовим терморезистором: 1 – дріт; 2 – стержні (ізолятори); 3 - захисний ковпачок; 4 – плата; 5 – вивідні контакти



Терморезистор виготовлений у вигляді завитка з тонкого проводу 1, підвішеного на стержнях 2 з ізоляційного матеріалу. Дріт терморезистора контактує з повітрям, торкаючись стержнем 2 тільки в

декількох точках. Датчик установлюється на кронштейні і вмикається у вимірювальну схему за допомогою контактів 5. Датчик змонтований на платі 4. Ковпачок 3 запобігає пошкодженню чутливого елемента і при вимірюваннях його знімають.

Мала інерція такого датчика досягається за рахунок малої маси терморезистора (дроту) і добрих умов його теплообміну з повітрям.

Термометри опору мають вимірювальну схему, що забезпечує вимірювання температури (опір терморезистора). Найбільш часто застосовується схема моста Уітстона (рис.2.15). Терморезистор датчика вмикається в міст як одне плече. Інші плечі виготовлюються з манганіну, температурний коефіцієнт якого малий в порівнянні з температурним коефіцієнтом металів, які використовуються для виготовлення терморезисторів, і тому опори їхні з достатнім наближенням можна вважати не залежними від температури.

Термометр опору може бути виконаний в мостовій схемі в різних варіантах: на постійному і змінному струмі, в рівновісному і нерівно вісному мостах і т.д. Але у всіх випадках вимірювання температури основується на відомих методах вимірювання опору. Найбільш широко застосовуються схеми рівновісного і нерівновісного мостів постійного струму.

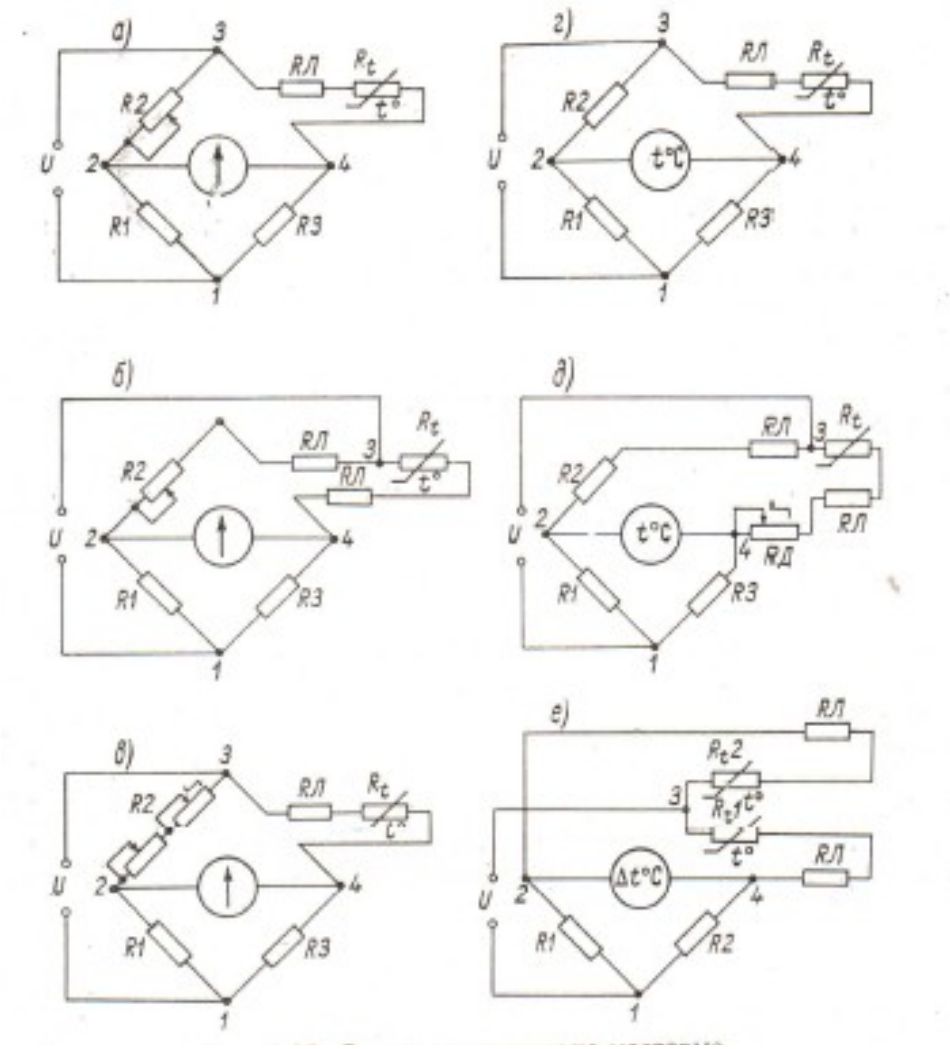


Рис.2.15 Вимірювально-мостові схеми

Коли міст знаходиться в рівно вісному стані, різниця потенціалів точок 2 і 4 (рис.2.15 а) дорівнює нулю і струм через вимірювальний прилад не протікає. Це відбувається у тому випадку, коли

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_t}{R_3},$$

або

$$R_t = \frac{R_3}{R_1} R_2. \qquad (2.12)$$

Підставляючи замість R_t його значення у вигляді $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ і розв'язуючи отримане рівняння відносно t, отримуємо

$$t = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_0}{\alpha R_1 R_0}. \qquad (2.13)$$

При вимірюванні температури рівновага моста установлюється шляхом зміни змінного опору R_2 (як змінні можуть бути вибрані також опори R_1 або R_3). Движок регульованого опору механічно зв'язується з вказівником шкали, на якій можуть бути нанесені поділки безпосередньо в градусах температури. Плече R_2 виконується у вигляді плавно або дискретно мінливого опору; у першому випадку отримують безперервні значення температури, у другому – дискретні з точністю відліку до ступеню дискретності опору R_2. В окремих випадках плече R_2 виконується у вигляді двох послідовно з'єднаних опорів, плавно і дискретно мінливих (рис.2.15 в). Це робиться в тих випадках, коли зрівноваження моста доцільно робити в два етапи: грубо – за допомогою дискретно мінливого опору і точно – за допомогою плавно мінливого опору, що дорівнює ступеню дискретного опору.

Така схема термометра дозволяє розбити весь діапазон зміни температури на необхідну кількість піддіапазонів. За допомогою дискретно мінливого опору при вимірюванні визначають під діапазон, а з допомогою плавно мінливого опору - перевищення температури відносно попереднього піддіапазонів. Результат вимірювання складається з відліків по вказівниках шкал, зв'язаних з ручками обох змінних опорів.

При необхідності дистанційного вимірювання температури, коли датчик віддалений від вимірювальної схеми більше ніж на 20 м, опір лінії зв'язку $R\ddot{E}$ (звичайно два мідних дроти), що з'єднує терморезистор з іншими елементами вимірювальної схеми, стає значним. Цей опір, увімкнений послідовно терморезистору R_t (рис.2.15 а), залежить від температури дротів, яка відмінна від температури t. Зміна опору $R\ddot{E}$ буде вносити похибку у вимірювання t. Врахувати цю похибку важко (температура може змінюватися в широких межах і може бути різною вздовж лінії зв'язку). Виключити цю помилку можна, термостатуючи проводи лінії зв'язку (наприклад, поміщаючи їх у ґрунт на глибину більше 2 м) або зменшуючи опір лінії зв'язку (застосовуючи проводи з більшою площею перерізу). Проте це важко виконуване. Тому у більшості випадків цю похибку виключають, застосовуючи компенсаційні схеми. На рис.2.15 б наведена компенсаційна схема вимірювання температури з трьохдротовою лінією зв'язку. По третьому дроту живлення моста подається безпосередньо у терморезистора R_t (в точці 3). При цьому один дріт лінії зв'язку з опором $R\ddot{E}$ вмикається послідовно R_2, другий з таким же опором – послідовно R_3. Звичайно всі дроти лінії зв'язку розташовуються поруч (в одному кабелі) і знаходяться в однакових умовах.

На основі цього і у відповідності з формулою (2.12) умова рівноваги моста набуває вигляду

$$R_t + R_{\ddot{E}} = \frac{R_2 + R_{\ddot{E}}}{R_1} R_3 \ . \qquad (2.14)$$

Враховуючи, що $R_t = R_0(1+\alpha t)$, отримуємо значення температури

$$t = \frac{R_2 R_3 - R_1 R_0}{\alpha R_1 R_0} + \frac{R_3 - R_1}{\alpha R_1 R_0} R_{\ddot{E}} \ . \qquad (2.15)$$

За умови, що $R_3 = R_1$, другий член правої частини рівняння (2.15), що має $R\ddot{E}$, буде дорівнювати нулю, тоді результат вимірювання t не буде залежати від опору лінії зв'язку.

На рис.2.15 г наведена схема термометру опору на основі нерівноважного моста. У цьому випадку температура визначається по силі струму, який протікає через вимірювальний прилад, увімкнений в діагональ моста. Сила цього струму I з достатньою точністю визначається рівнянням

$$I = At, \qquad (2.16)$$

де A - деяка величина, що визначається значеннями плечей моста R_1, R_2, R_3 і R_{t_0}, опором вимірювального приладу і напруги U, що надходить до моста;

R_{t_0} - опір резистора при температурі t_0, при якій міст урівноважується $(I = 0)$.

Величина A для кожної схеми в певних межах зміни температури t змінюється мало і з деякими допущеннями її можна вважати постійною. Таким чином, за цих умов вимірювальний прилад може мати рівномірну шкалу зі значеннями вимірюваної температури. Це спрощує процес вимірювань (в порівнянні з рівноважним мостом), але разом з тим практично при кожному вимірюванні необхідно прямо або посередньо контролювати напругу U. Потрібно мати на увазі, що для вимірювання температури в широкому діапазоні з високою точністю, наприклад, вимірювання температури повітря в діапазоні 100°С з точністю 0,1-0,2°С, у вимірювальній схемі можуть застосовуватися вимірювальні прилади тільки високого класу точності, у наведеному випадку не нижче класу 0,05 (наведена інструментальна похибка всього термометру не повинна перевищувати 0,1 %). Застосування таких приладів не завжди доцільне. Тому за вимоги високої точності вимірювання температури, що змінюється в широкому діапазоні, у ряді випадків більш доцільно застосовувати вимірювальну схему частково урівноваженого мосту. В таких мостах можна, наприклад, послідовно плечу R_t вмикати дискретно мінливий опір RD (рис.2.15 д), за допомогою якого міст може бути збалансований з точністю до одного ступеню дискретності змінного опору RD. Розбалансування в межах

цього ступеню визначається за показаннями вимірювального приладу, діапазон якого забезпечує вимірювання розбалансу в межах одного ступеню. Результат вимірювання одержується сумуванням двох відліків: знятого по движку змінного опору (як це робиться по рівноважному мосту) і відліку по вимірювальному приладу (як по нерівноважному).

Для випадку вимірювання температури повітря доцільно увесь діапазон в 100-110°С розбити на піддіапазони по 10°С; вимірювальний прилад повинен при цьому мати межу 10°С. У цьому випадку, при всіх інших рівних умовах, можна застосувати вимірювальний прилад, наведена похибка якого на порядок більше, ніж це необхідно при вимірюваннях за допомогою нерівноважного мосту.

В термометрах опору з нерівноважним мостом також застосовуються схеми з компенсацією ліній зв'язку, наприклад, з трьох провідною лінією зв'язку, як це показано для рівноважного мосту на рис.2.15 д.

Схема нерівноважного мосту дозволяє вимірювати різницю температур в двох точках (рис.2.15 е). Установки з такими схемами застосовуються для вимірювання вертикальних градієнтів температури при теплобалансових і пульсаційних вимірюваннях.

Як вимірювальні прилади в мостах застосовуються мікроамперметри і цифрові вольтметри різних конструкцій.

За допомогою термометрів опору і реєстраторів (замість вказівних вимірювальних приладів) може здійснюватися реєстрація температури. Як реєстратори можуть використовуватися електронні мости, реєструючий мікроампер метр та ін..

Термометри опору мають перевагу перед рідинними термометрами. Один термометр опору може забезпечити вимірювання температури у всьому діапазоні температур, які мають місце при метеорологічних вимірюваннях. Термометр опору може бути виготовлений з достатньо малою інерцією $(\lambda \sim 1\,c)$ без втрат для його чутливості. Він дозволяє робити дистанційні вимірювання. Разом з тим термометр опору при експлуатації потребує великої уваги, зокрема, декількох повірок під час вимірювань.

Установка для вимірювання температури ґрунту М-54-2. Ця установка призначена для дистанційного вимірювання (на відстані до 120 м) температури ґрунту в 10-ти точках (на глибинах 2, 5, 10, 15, 20, 40, 80, 120, 160 і 320 см). Вона складається з 10-ти датчиків, вимірювального пульту з джерелом живлення і з'єднувального 12-жильного кабелю. Кожний датчик являє собою безкаркасний проводовий мідний терморезистор (рис.2.13 б), з'єднаний з відрізком двожильного кабелю. Датчики підключаються до з'єднувального кабелю безпосередньо пайкою або через з'єднувальну коробку. Вимірювальна схема і джерело

живлення змонтовані в корпусі вимірювального пульта. Кабель з датчиками підключається до пульту за допомогою штепсельного роз'єму.

Вимірювальна схема установки заснована на частково урівноваженому мості з урівноваженим 10-ступінчастим дискретно мінливим опором R_D, із застосуванням компенсаційної 3-провідної лінії зв'язку (рис.2.15 д). Схема установки наведена на рис.2.16.

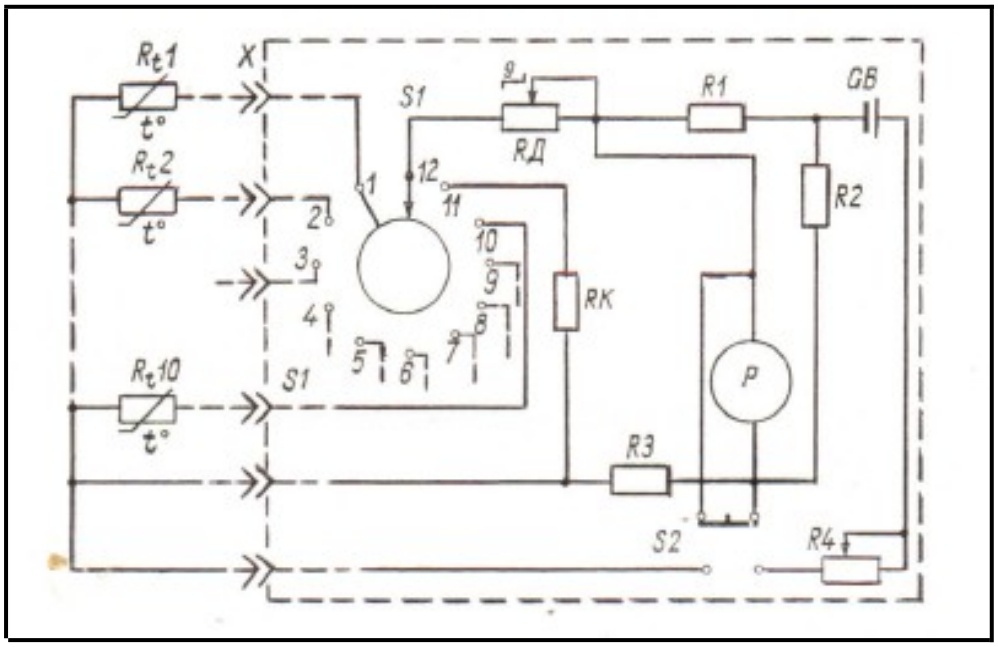


Рис.2.16 Електрична принципова схема установки М-54-2

Плечима моста є три постійних опори R_1, R_2, R_3 і один з десяти терморезисторів датчиків R_t, …., $R_{t_{10}}$, які почергово підключаються (перемикачем S_1) послідовно із змінним опором R_D, який виконує роль перемикача діапазонів. Міст живиться від гальванічного елементу $Á$. Напруга, що подається до мосту, регулюється реостатом R_4 при увімкненому як четверте плече моста контрольному опорі R_K (перемикач S_1 установлений в положення 11).

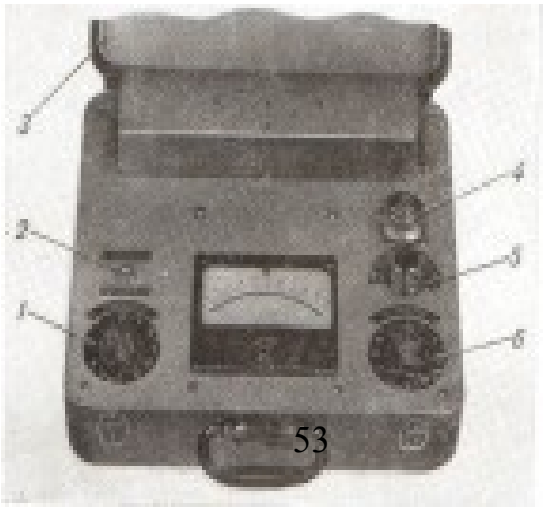


Рис.2.1 Пульт установки М-54-2: 1 – ручка перемикача діапазонів; 2 – ручка тумблера; 3 – кришка; 4 - вилка роз'єму; 5 – ручка регулювання живлення; 6 – ручка перемикача термометрів

На рис.2.17 наведений вимірювальний пульт установки. На його верхній панелі в центрі установлений вимірювальний прилад і виведені ручки керування, призначення яких вказано на шильдиках. На верхній панелі знаходиться також вилка 4 штепсельного роз'єму X для підключення з'єднувального кабелю з датчиками.

Коли установка вимкнена, ручка 2 тумблера S_2 (рис.2.16 і рис.2.17) знаходиться в положенні «Вимкнено», тумблер S_2 накоротко замикає вимірювальний прилад. На час вимірювань ручку 2 установлюють в положення «Вимкнено». При цьому вмикається живлення мосту і вимірювальний прилад розмикається, і виявляється увімкненим в діагональ моста.

Вимірювання починають з перевірки напруги живлення; за необхідності її регулюють. Для цього ручку 1 перемикача S_1 установлюють на поділку K (сам перемикач при цьому виявляється в положенні 11). Перевіряють показання вимірювального приладу – стрілка його повинна знаходитися на контрольній поділці шкали; за необхідності за допомогою ручки 5 реостата R_4 роблять регулювання напруги живлення, доки стрілка не установиться у контрольної поділки. Потім почергово вимірюють температуру у всіх 10-ти точках, в яких установлені датчики. Для цього ручка 1 установлюється на потрібний діапазон (орієнтовно), ручка 6 перемикача S_1 установлюється в положення «1» (перший датчик в положення «1»). Якщо ручка 1 була установлена правильно, то стрілка вимірювального приладу повинна установитися в межах шкали, у противному випадку її перемикають на сусідню поділку. Потім відраховують і записують показання приладу.

В аналогічній послідовності проводять вимірювання по іншим датчикам.

Потім проводять контрольне вимірювання напруги живлення. Воно за час вимірювань не повинне змінюватися.

За результатами вимірювань за допомогою повірочного свідоцтва (графік або таблиця) отримують значення температури на момент вимірювання в точках, де установлені датчики.

У тих випадках, коли результат контрольного вимірювання напруги відрізняється від значення, отриманого спочатку, необхідно вимірювання повторити, тому що, можливо, відбулася помилка. Якщо після повторного вимірювання ця напруга знову зміниться, то потрібно замінити гальванічний елемент.

Похибка вимірювання температури ґрунту при правильній експлуатації установки не перевищує 0,2°С.

Установка для вимірювання температури ґрунту АМ-2М-1 (електротермометр). Ця установка призначена для вимірювання температури ґрунту на сільськогосподарських полях. Вона складається з вимірювального пульту (рис.2.18) і комплекту датчиків.

Рис.2.18 Пульт установки АМ-2М-1

Датчик містить дротовий мідний терморезистор і з'єднаний з відрізком кабелю, який закінчується вилкою. Вимірювальна мостова схема із джерелом живлення змонтована в переносному вимірювальному пульті. Пульт з'єднується з датчиком за допомогою короткого двожильного кабелю, який має з одного кінця штепсельну вилку (до пульту), а з другого – розетку (до датчика).

Електрична схема 2М-1

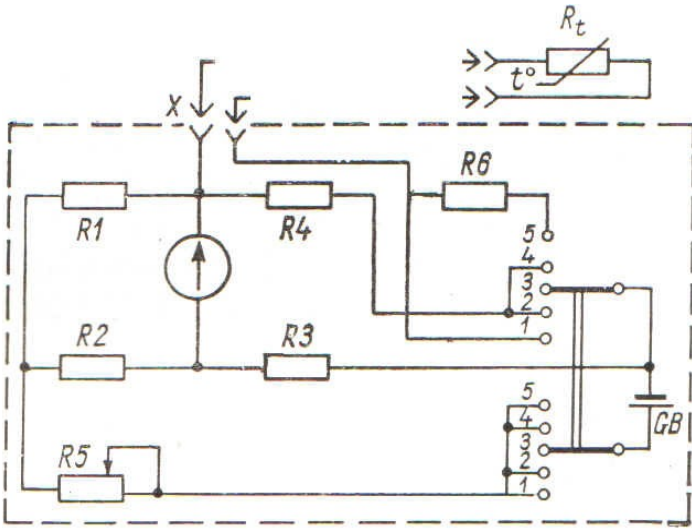


Рис.2.19 принципова установки АМ-

Вимірювальна схема приладу (рис.2.19) – частково урівноважений дводіапазонний міст. Трьома плечима моста служать постійні резистори R_1, R_2 і R_3. За допомогою двогалетного перемикача батарею GB можна вмикати в діагональ моста в трьох позиціях – для контролю і для вимірювання в двох діапазонах:

1) через контакти 2 (або 4), включаючи як четверте плече моста постійний резистор R_4; у цьому положенні здійснюють контроль напруги живлення моста, який регулюється реостатом R_5;

2) через контакти 1, включаючи як четверте плече моста терморезистор датчика R_t. Це забезпечує вимірювання в діапазоні від 0 до 50°С;

3) через контакти 5, включаючи як четверте плече послідовно з'єднані терморезистор R_t і резистор R_6. При цьому забезпечується вимірювання в діапазоні від -40°С до 0°С. (Опір R_6 дорівнює зменшенню опору R_t, який спричиняється зниженням температури від 50 до 0°С). Похибка вимірювання температури за допомогою установок цього типу може досягати 1°С.

Установка для вимірювання температури ґрунту АМ-29. Ця установка з метою уніфікації виробництва М-54-2 і АМ-2М-1 випускається двох типів: типу А (агрометеорологічна) і типу М (метеорологічна) для різного призначення.

Установка АМ-29 типу А є модифікацією установки АМ-2М-1 і практично від неї не відрізняється. Вона також призначена для вимірювання температури ґрунту на сільськогосподарських полях. Датчики (за конструкцією аналогічні датчикам М-54-2, рис.2.13 б) установлюються у верхніх шарах ґрунту (на глибині від 2 до 20 см) в контрольованих точках сільськогосподарського поля. Можна користуватися також переносним датчиком-щупом. Переносний пульт установки забезпечує вимірювання температури ґрунту на відстані не більше 2 м від місця установки датчиків.

Електричні схеми і конструкції пультів установок АМ-29 типу А і АМ-2М-1 істотних відмін не мають.

Похибка вимірювання температури за допомогою установки цього типу 1°С.

Установка АМ-29 типу М є модифікацією М-54-2. Вона призначена для дистанційного (до 120 м) вимірювання температури ґрунту і ґрунту на глибинах від 2 до 320 см.

Пульт повинен установлюватися в приміщенні і за допомогою кабелю з'єднуватися з десятьма датчиками, встановленими в ґрунті.

Передбачалося, що установка типу М буде застосовуватися на метеорологічних станціях поряд з М-54-2 і з часом повністю замінить її. Проте, незважаючи на відсутність істотних відмінностей в принципових схемах і конструкціях установок АМ-29 (типу М) і М-54-2, похибка АМ-29 (типу М) складає 1°С. Це значно перевищує допустиму похибку вимірювання температури ґрунту і тому установка АМ-29 на метеорологічних станціях не може застосовуватися до удосконалення технології її виробництва і зниження похибки до 0,2°С. По-видимому, при прагненні уніфікувати виробництво двох установок різного класу точності (М-54-2 і АМ-2М-1) мало місце зниження вимог до підбору та виготовленню елементів вимірювального моста пульту і датчиків установки високого класу точності (АМ-29 типу М) до рівня вимог, які відповідають виготовленню приладу більш низького класу (АМ-29 типу А). В результаті було отримано дві модифікації установки низького класу точності (з похибкою до 1°С).

2.7 Термоелектричні термометри.

Як первинні перетворювачі температури можуть бути використані металеві і напівпровідникові термопари. Явище термотоку полягає в

тому, що у замкнутому ланцюзі, який складений з різнорідних провідників або напівпровідників, виникає електричний струм, якщо температура місць з'єднання їх різна.

Метали можна розташувати в такий термоелектричний ряд: (-) Bi, Co, Ni, K, Pd, Na, Hg, Pt, Al, Mg, Sn, Pb, Cs, Ag, Cu, Zn, Cd, Mo, Fe, Sb, Si (+).

Якщо скласти термоелемент з будь-яких двох металів, які входять до цього ряду, то попередній метал виявиться електровід'ємним, а наступний – електрододатним. Чим дальше один від одного стоять в термоелектричному ряді метали, які складають термоелемент, тим більше при заданій різниці температур виникаюча ЕРС.

Температурна залежність ЕРС термоелемента виражається формулою

$$F = \varepsilon (t_1 - t_2), \qquad (2.17)$$

де ε - стала величина для даної пари металів.

На основі залежності (2.17) ε визначається для даної термопари як електрорушійна сила, що виникає при різниці температур спаїв 1°.

В табл.2.2 наведені середні значення ε для деяких термопар, які застосовуються при вимірюваннях температури.

Таблиця 2.2 Середні значення термопар

Термоелемент	ε, мкВ/°С
Мідь – константан	41
Манганін – константан	41
Платина – константан	34
Залізо – константан	52
Константан – хромонікель	69

Сила струму, який виникає у замкнутому ланцюзі, що складається з термопари з опором r і опору навантаження R (опір гальванометра, опір лінії зв'язку), при різниці температур Δt виражається формулою

$$I = \frac{\varepsilon \Delta t}{R + r}. \qquad (2.18)$$

Напруга у зовнішньому ланцюзі визначається як

$$U = \frac{\varepsilon \Delta t}{1 + \frac{r}{R}}. \qquad (2.19)$$

Часто для збільшення температурної чутливості термоелектричної установки в ланцюг вмикається декілька послідовно з'єднаних

термоелементів. У цьому випадку вирази (2.18) і (2.19) приймуть вигляд

$$I_n = \frac{n\varepsilon\,\Delta t}{R + nr}; \qquad (2.20)$$

$$U_n = \frac{n\varepsilon\,\Delta t}{1 + \frac{nr}{R}}, \qquad (2.21)$$

де n - кількість термоелементів.

Проте треба мати на увазі, що із збільшенням кількості термоелементів зростає опір nr термобатареї.

В метеорології термоелектричні термометри застосовуються при дослідженнях для вимірювання градієнтів температури, а також для вимірювання температури повітря, ґрунту і води. У випадку вимірювання температури «холодний» спай підтримується при постійній температурі або його температура повинна вимірюватися за допомогою допоміжного термометру.

Шкала вимірювального приладу, увімкненого в ланцюг термопари або термобатареї, може бути розділена на градуси температури (або різниці температур). Для реєстрації температури і різниці температур (за значеннями ЕРС термопар) застосовують автоматичні потенціометри, високочутливі реєстратори, а також реєстратори з попереднім посиленням.

Термометри з термоелементами у деяких випадках мають перевагу перед іншими термометрами, особливо при вимірюванні різниці температур. Вони можуть забезпечити вимірювання у всьому діапазоні температур, які зустрічаються в метеорології, і не потребують джерел живлення. Їхнім істотним недоліком є мала чутливість.

Термометри термотранзисторні. Термотранзисторами названі транзистори, застосовні як первинні перетворювачі температури. Як термометричну характеристику термотранзистора частіше за все вибирають напругу емітер – база $V_{åá}$. Термотранзистори можуть застосовуватися при вимірювання температури в межах від -70 до +200°С.

Термотранзистори володіють деякими позитивними якостями, такими, як стабільність, лінійність, ідентичність зразків, висока чутливість, малі габарити, невелика вартість та деякі інші.

Температурна залежність напруги емітер – база $V_{åá}$ з достатньою точністю визначається виразом

$$V_{åá} = V_{åá}^{0} - At,$$

де $V_{åá}^{0}$ - напруга емітер – база при 0°С;

$\grave{A}$ - стала величина;

t - температура.

Термометри з термотранзисторами містять мостову вимірювальну схему, одним з плечей якої є перехід емітер – база термотранзистора, на колектор якого надходить замикаюча напруга. Джерело живлення моста і транзистора повинне бути стабілізованим. Напруга на виході моста визначається виразом $V = ct$, де c - коефіцієнт, що залежить від параметрів вимірювального моста і характеристик термотранзистора, тобто для певного виду термотранзисторного термометра величина постійна.

Серійно випускається транзисторний електротермометр ТЕТ-2 (рис.2.20). Ця установка призначена для вимірювання температури ґрунту на поверхні і глибинах, на яких стаціонарно установлюються датчики, і в будь-якій точці поля до глибини 50 см за допомогою переносного датчика-щупа. Установка забезпечує вимірювання температури в діапазоні 120°С (від -40 до +80°С) з дискретністю відліку 2°С і в діапазоні 60°С (від -10 до +50°С) по трьом діапазонам по 20°С з дискретністю 0,2°С.

ТЕТ-2 містить вимірювальний пристрій і датчики (рис.2.20 а, б), якими установка може бути укомплектована в будь-якій кількості. Установка може комплектуватися також і комутатором (перемикачем) для почергового підключення датчиків до вимірювального приладу.

Вимірювальний пристрій переносний. В ньому розміщені елементи нерівноважного моста і стабілізатора, гальванічний елемент та інші узгоджені і допоміжні елементи схеми, головним чином, резистори. На лицьовій його панелі (рис.2.20 а) розміщені вимірювальний прилад, ручка перемикача піддіапазонів, шкала піддіапазонів і кнопка для увімкнення приладу. На боковій стінці знаходиться розетка (закрита ковпачком) для почергового підключення датчиків (або перемикача датчиків). Вимірювальний прилад має дві шкали – одна з межами від -40 до +80°С для наближених вимірювань, друга тримежова: від -10 до +10°С, від +10 до +30°С, від +30 до +50°С, для більш точних вимірювань.

Вимірювальний пристрій має знімну захисну кришку.

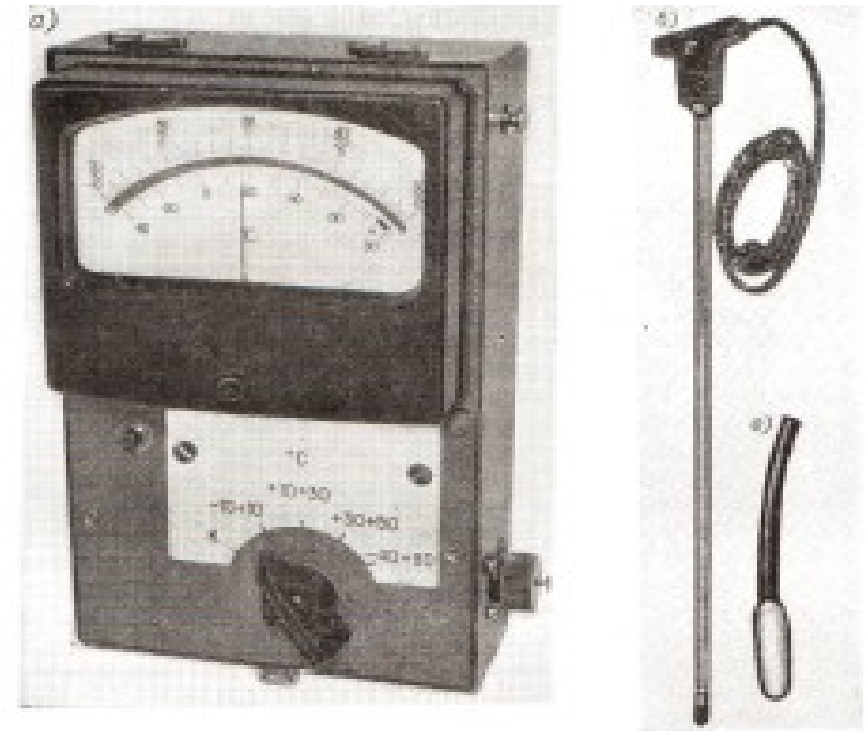


Рис.2.20 Установка для вимірювання температури ґрунту ТЕТ-2: а – пульт; б і в – датчики

Датчики в залежності від призначення мають різну конструкцію. Переносний датчик-щуп (рис.2.20, б) призначений для вимірювання температури ґрунту на глибинах до 50 см. Він являє собою металеву трубку (довжиною приблизно 50 см) з гострим наконечником і ручкою. Наконечник з'єднаний з трубкою за допомогою втулки з теплоізоляційного матеріалу. Термотранзистор закріплений всередині трубки безпосередньо у наконечника і за допомогою кабелю зв'язаний з вилкою штепсельного роз'єму, всередині корпуса якого знаходиться резистор, увімкнений в ланцюг струму емітера для установлення заданого значення характеристичної напруги $V^{o}_{áá}$.

При зміні температури датчик заглиблюють в ґрунт до потрібної глибини, натискаючи на його ручку; глибина заглиблення визначається по шкалі, що нанесена на трубці (нуль шкали співпадає з наконечником, де знаходиться термотранзистор).

Датчик для стаціонарної установки (рис.2.20, в) являє собою металеву капсулу з термотранзистором всередині, герметично з'єднану з відрізком кабелю, жили якого з'єднують термотранзистор з вилкою штепсельного роз'єму.

При вимірюванні температури датчик підключають до вимірювального пристрою (або через перемикач). Вимірювальний пристрій установлюють горизонтально. Надалі процес вимірювання аналогічний процесу вимірювання температури термометрами опору і виконується в такій послідовності: перевіряють положення стрілки приладу і при необхідності коректором установлюють її на нуль, рукоятку установлюють в положення «К» (при цьому стрілка повинна установитися біля контрольного сектора в кінці нижньої шкали), потім ручку переводять в положення « - 40 + 80 » і по положенню стрілки відносно нижньої шкали визначають температуру. Більш точне її значення отримують, установлюючи ручку в положення, що відповідає піддіапазону, визначеному попереднім грубим вимірюванням, і зробивши відлік по верхній шкалі приладу.

Основна похибка ТЕТ-2 при вимірюванні в широкому діапазоні складає 2°С, а в піддіапазонах – 0,5°С.

2.8 Вимірювання і реєстрація температури повітря і ґрунту на метеорологічних станціях.

Вимірювання температури повітря. На метеорологічних станціях вимірюють середні значення температури (період осереднення декількох хвилин) невеликого шару повітря (товщиною 10 – 20 см), середина якого розташована на висоті 2 м від поверхні землі.

Автономні прилади і датчики, які застосовуються для вимірювання температури повітря, повинні мати радіаційний захист, в достатній мірі послаблений вплив прямої сонячної радіації на їхні чутливі елементи, або міститися в захисних пристроях. На метеорологічних станціях прилади, призначені для вимірювання і реєстрації температури повітря, установлюють на метеорологічній площадці в захисних будках.

Термометри установлюють в захисній (психрометричній) будці (рис.2.21). Три стінки і дверцята будки зроблені з подвійних жалюзі. Пластинки жалюзі закріплюються на відстані 25 мм одна від іншої під кутом 45° до вертикалі стінки. Жалюзі захищають термометри, установлені в будці, від попадання на них прямих сонячних променів і разом з тим забезпечують вільний доступ повітря. Стеля будки зроблена суцільною, дно складається з трьох дощок; середня дощечка закріплена трохи вище двох інших і перекриває зазор між ними. Над стелею будки для зменшення її нагрівання закріплена стріха, що має невеликий скат. Внутрішні розміри будки: висота 525 мм, ширина 160 мм, глибина 290 мм. Всередині будки до середньої дощечки полу

закріплений залізний штатив, на якому установлюються два психрометричних термометра (сухий – ліворуч і змочений – праворуч) і між ними за допомогою гвинтів закріплюється волосяний гігрометр. В нижній частині штатива на залізних лапках лежать максимальний і мінімальний термометри. На нижній перекладині штатива є кільце, в яке вставляється психрометричний стаканчик з водою. Для зменшення нагрівання будку фарбують в білий колір.

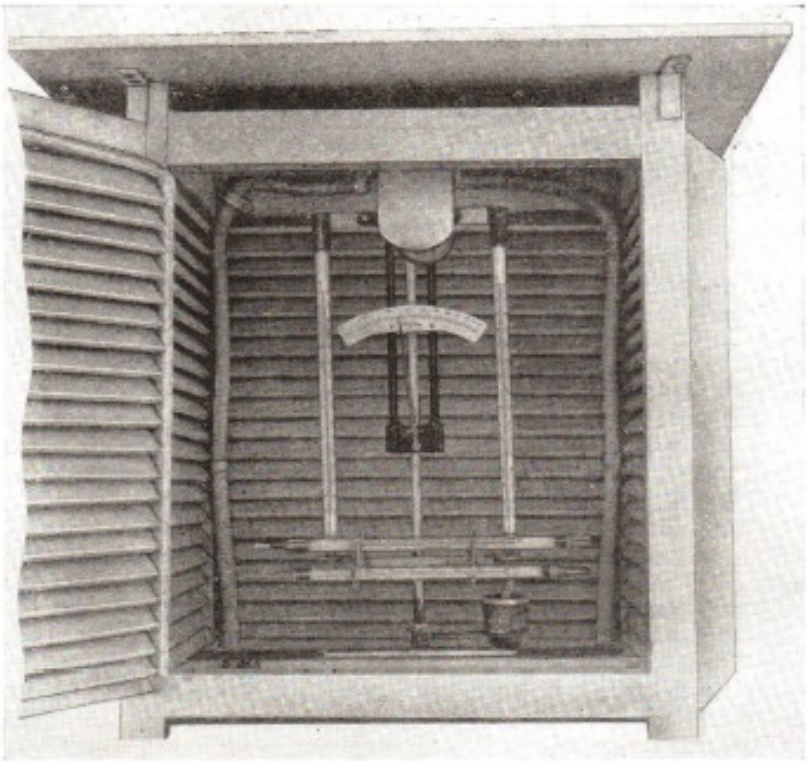


Рис.2.21 Прилади в захисній психрометричній будці

Будка установлюється на дерев'янних або металевих стойках (рис.2.22) і прикріплюється залізними косинцями або планками.

Для вимірювання температури повітря суворо на одній і тій же висоті (2 м) будку установлюють так, щоб резервуари термометрів були на висоті 2 м від поверхні ґрунту.

Взимку в місцях, де сніговий покрив досягає висоти більше 1 м, потрібно мати запасну підставку висотою 2,75 м і драбинку відповідних розмірів. На цій підставці установлюють будку, коли висота снігового покриву буде приблизно 1 м. Влітку необхідно слідкувати за тим, щоб трава під будкою підрізалася.

Будка орієнтується дверцятами на північ, з тим щоб під час проведення вимірів сонячні промені не могли попасти на термометри.

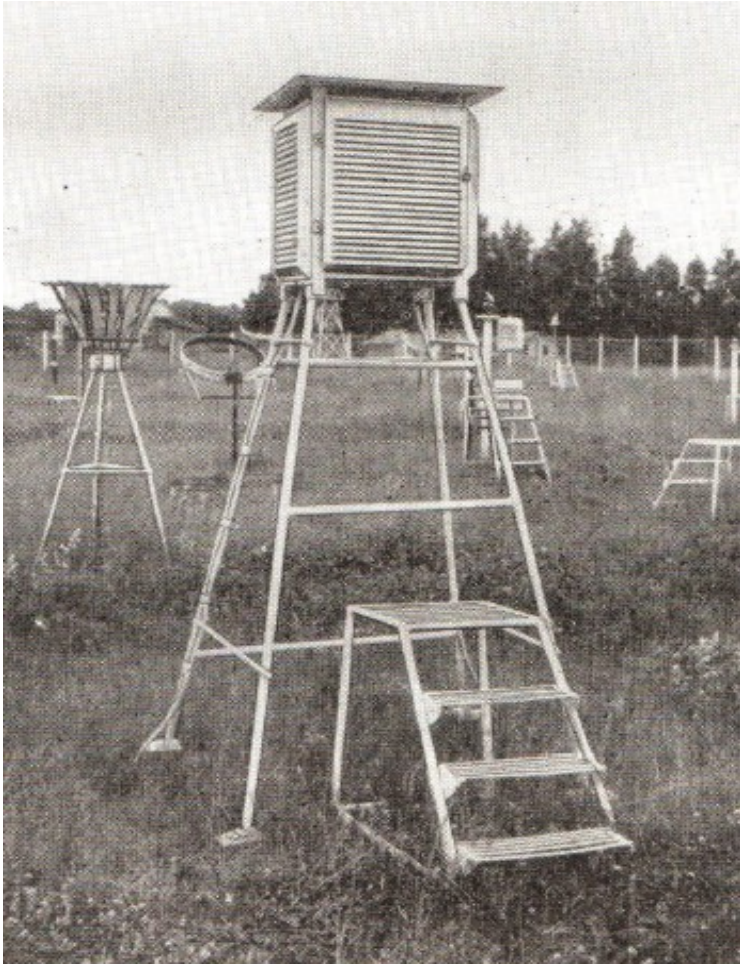


Рис.2.22 Захисна будка на метеорологічній площадці

На полярних станціях, де сонце може знаходитися і в північній частині неба, ці заходи не завжди дійові. В цих випадках спостерігачам при проведенні вимірювань потрібно стати так, щоб затінювати термометри.

Біля будки установлюється драбинка, з якої спостерігачу зручно робити відліки. Стойки і драбинка установлюються на закопаних в землю стовпчиках.

Для освітлення приладів під час вимірювань на стелі будки (поблизу дверці) установлена лампочка (з екраном до спостерігача). Для уникнення нагрівання повітря в будці і приладів, які знаходяться всередині будки, допускається застосування лампочок потужністю не більше 25 Вт, а вмикати їх потрібно тільки на час відліку.

В другій захисній будці (рис.2.23) на метеорологічній площадці (рис. 1.3) установлюється термограф і гігрограф. Ця захисна будка відрізняється від психометричної тільки трохи більшими розмірами (внутрішні розміри 605 × 460 × 460 мм); їх конструкція, спосіб

установки і орієнтування відносно сторін світу аналогічні. Всередині будки закріплюються дві полки. Нижня, на якій установлений термограф, розташована так, що чутливий елемент (біметал) термографа знаходиться на висоті 2 м від поверхні землі (на верхній полці установлений гігрометр).

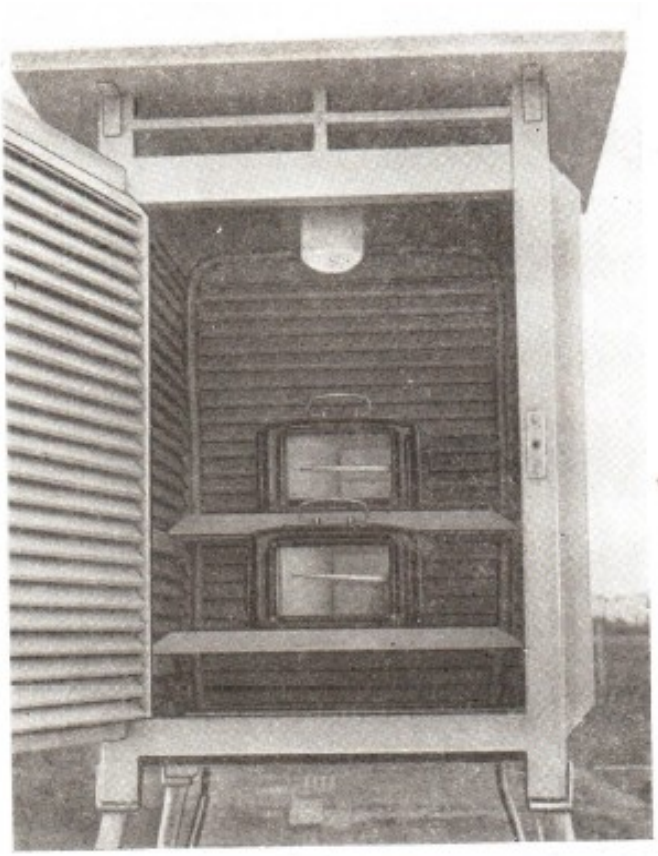


Рис.2.23 Самописи в захисній будці

Деякий запас стрічок для термографа потрібно зберігати в будці біля приладу, з тим щоб стрічка знаходилась в однакових умовах з ним і не деформувалася при нагріванні її на барабан.

Зміна стрічок на термографі відбувається в такому порядку.

Відкривають кришку термографа, відводять стрілку з пером і знімають барабан з осі. У верхньому куті кінця знятої стрічки записують час (з точністю до однієї хвилини), коли зроблена остання відмітка. Вивільнюючи стрічку, знімають її з барабану. Беруть нову стрічку, на зворотній стороні якої повинно бути надписано пункт спостережень і дата, коли ставиться стрічка, і накладають її на барабан так, щоб вона щільно до нього дотикалася, а нижній обріз стрічки впритул упирався у виступ барабана. Лівий край стрічки накладають на правий.

Горизонтальні лінії на обох кінцях стрічки повинні співпасти. У верхньому лівому куті нової стрічки відмічають час початку запису (з точністю до однієї хвилини) і одягають барабан на вісь.

Барабан установлюють так, щоб положення пера відносно шкали стрічки відповідало часу установки. Барабан при цьому можна обертати в будь-якому напрямку, але останній поворот при остаточній установці барабана в потрібному положенні повинен робитися проти годинникової стрілки (для вибірки люфтів).

Присувають аретир так, щоб перо доторкнулося до стрічки, одягнутій на барабан. При цьому від пера на стрічці повинен залишитися слід. Потім закривають кришку термографа.

При погіршенні якості запису перо потрібно зняти, промити спиртом або водою, добре обтерти і, прочистити кусочком щільного паперу розщіп пера, знову насадити на стрілку і наповнити перо чорнилами. У випадку необхідності перо замінюють.

Перо повинне бути насаджено на стрілку так, щоб відстань від осі обертання важеля до кінчика пера (радіус обертання пера) дорівнювала б радіусу вертикальних кривих на стрічці. Для перевірки правильності насадки пера стрілку з пером за допомогою регульованого ключа (або гвинта) переміщують по всій шкалі стрічки. Описана пером дуга повинна бути паралельна дугам шкали стрічки. Після такої перевірки перо за допомогою ключа установлюють відносно шкали стрічки в положення, яке відповідає практичному значенню температури повітря (за показаннями сухого термометра психрометра). Періодично потрібно контролювати ступінь притиску пера до барабану. При дуже великому притиску виникає велике тертя між пером і стрічкою; при зміні температури переміщення пера по вертикалі відбувається скачкоподібно і запис виходить ступінчастим. При недостатньому притиску стрілки з пером вона може відключитися від барабану – запис перерветься. Ступінь притиску визначають, нахиляючи термограф на 30 - 40°С в ту сторону, де розташоване перо. При правильному притиску пера воно повинне при цьому відходити від стрічки. Якщо притиск дуже великий (неостаточний), його потрібно зменшити (збільшити).

Для обробки запису на стрічці самописа необхідно розрахувати поправки, які отримують на основі одночасних визначень температури повітря по психрометричному термометру в будці і за записом термографа вісім разів на добу і під час установки, і зняття стрічки. Моменти вимірювання температури в строки відмічаються на стрічці рисками, які перетинають температурну криву. Ці відмітки робляться натиском кнопки, яка знаходиться на задній стінці (або з лицьової сторони) термографа.

На рис.2.24 наведений відрізок стрічки термографа з обробленим записом.

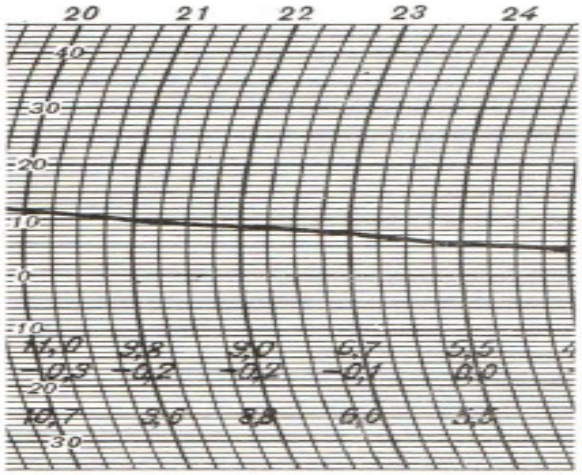


Рис.2.24 Зразок запису на стрічці термографа

Обробка запису проводиться таким чином. Для кожної години з точністю до 0,1°С, записують їх в нижній частині стрічки у відповідних годинних ординат (верхній рядок). Потім для термінових годин виписують на стрічку значення виправлених показань психрометричного термометра і обчислюють різницю між ними і температурою в термінові години за записом на стрічці. Ці різниці є поправками до значень температури в термінові години, отримані за записом на стрічці.

За значеннями цих поправок та їх зміні (різниці) за відрізок часу між кожними сусідніми терміновими годинами обчислюють поправки для значень температури, отриманих за записом на стрічці в кожну цілу годину. Ці поправки записуються на стрічці (середній рядок) і потім добавляються до значень температури, раніше отриманих за записом на стрічці (верхній рядок). Отримані таким чином виправлені значення температури для кожного часу записуються в нижній рядок.

На станціях обчислення поправок в міжстрокові години роблять за допомогою таблиць поправок.

Вимірювання температури ґрунту. На метеорологічних станціях проводять вимірювання температури поверхні ґрунту і на глибинах до 3,2 м. Температуру ґрунту на поверхні визначають за допомогою лежачих на ній рідинних термометрів: термінового, максимального і мінімального. Термометри кладуть на незатіненій оголеній площадці розміром 4 × 6 м. Весною площадка перекопується на глибину 25 – 30 см, вирівнюється і розрихлюється; надалі систематично прополюється. В теплий час року термометри установлюються в центрі площадки так, щоб резервуар і

зовнішня оболонка їх заглиблювались наполовину в ґрунт. Установлювати термометри потрібно резервуарами на схід на відстані 5 – 6 см один від одного: перший - з півночі, терміновий, а потім мінімальний і за ним максимальний.

При наявності снігового покрову всі три термометри кладуть таким же чином на поверхню снігу. В ясні літні дні мінімальний термометр після строку 07 год убирають в тінь і знову установлюють за півгодини до строку 19 год. Це обумовлено тим, що при сильному нагріванні сонячними променями і наступним охолодженням, через дистиляцію спирту у верхню частину капіляру, термометр почне давати заниженні показання.

Прийнятий метод визначення температури поверхні ґрунту не досконалий, тому проводяться роботи з покращання методики цих спостережень.

Вимірювання температури ґрунту проводиться в окремих точках на глибинах 2, 5, 10, 15, 20, 40, 80, 120 і 240 або 320 см термометрами опору або ж на глибинах 5, 10, 15 і 20 см колінчатими термометрами (Савінова), а на глибинах 20 см і більше - витяжними ртутними термометрами (установка ТПВ-50) або термометрами опору (установка Т-54-2).

Колінчаті термометри (Савінова) установлюються на теплий період року (після сходу снігового покрову до зниження температури ґрунту на глибині 5 см нижче 0°С) на тій же площадці, де установлюються термометри для спостережень за температурою поверхні ґрунту. Їх установлюють в середині площадки на 20 см до заходу від термометрів, які лежать на поверхні ґрунту. Частини колінчатих термометрів, що виступають із землі, повинні розташовуватися в ряд по наростаючих глибинах (5, 10, 15, 20 см) в напрямку із сходу на захід, причому резервуари їх повинні бути звернені на північ. Відстань між термометрами повинна бути приблизно 10 см.

При установці термометрів в ґрунті робиться канавка (виїмка) довжиною 40 см і шириною 25 – 30 см з однією вертикальною стінкою (на північ). Канавка напрямляється не точно по лінії схід – захід, а з відхиленням від цієї лінії до півночі приблизно на 30° (рис.2.25).

Вздовж виїмки кладуть пряму рейку, відмічають від нижньої її поверхні глибину, на якій повинен бути установлений термометр, і роблять в стрімкій стінці горизонтальне заглиблення самим резервуаром термометра. Кожний термометр всувають резервуаром в ґрунт до самого вигину (при цьому слідкують, щоб ґрунт щільно прилягав до резервуару термометра) і частково засипають його землею. Після установки всіх термометрів канавку засипають врівень з поверхнею ділянки. Для стійкості термометрів їхні виступаючі частини над ґрунтом підпирають рогаткою.

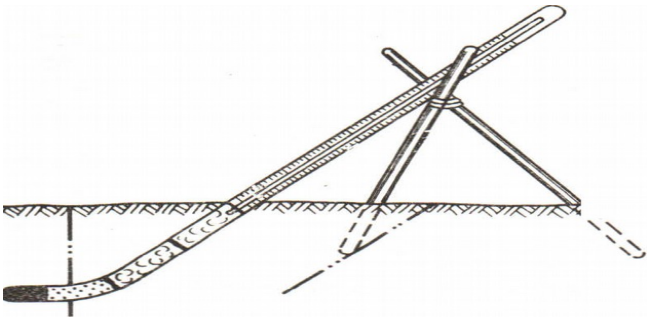


Рис. 2.25 Установка колінчатих термометрів в ґрунт

Установка ТПВ-50 розміщується на відкритій площадці з природним покривом. Труби розташовуються в один ряд на відстані 50 см одна від іншої по зростаючій глибині в напрямку зі сходу на захід. (рис.2.26).

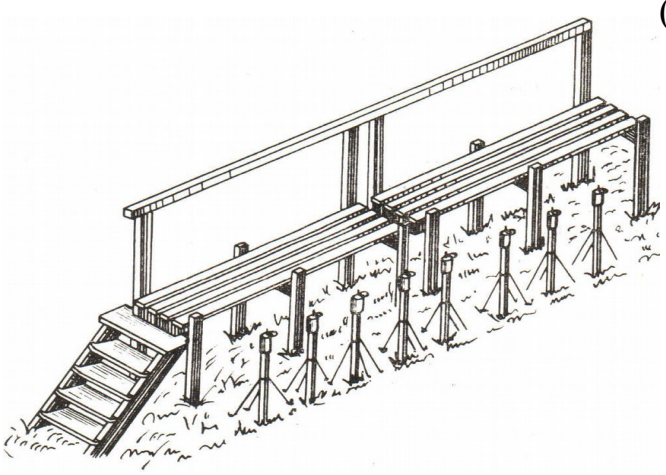


Рис.2.26 Розміщення установки ТВП-5 на метеорологічній площадці

Установка труб в ґрунті робиться у вертикальних шпарах відповідної глибини, проритих за допомогою бура. Частину труби, що знаходиться над ґрунтом, закріплюють за допомогою дротових відтягнень. Наземна частина труб в районах з висотою снігового покрову більше 50 см повинна бути 1 м і 40 см в районах з висотою снігового покрову мене 50 см.

Щоб при спостереженнях по витяжних термометрах не порушувати навколо них стан поверхні ґрунту, робиться відкидний міст, з якого проводять вимірювання. Цей поміст установлюють з північної сторони ряду витяжних термометрів, на відстані 30 см від них, на одному рівні з верхніми кінцями труб витяжних термометрів або трохи нижче їх (між вимірюваннями дошка помосту повинна знаходитися у вертикальному положенні).

Необхідно слідкувати, щоб в труби не попадала вода. Для контролю термометр в нижній частині обертають куском промокального паперу і прив'язують його ниткою. Потім, опустивши на деякий час термометр в трубу, виймають його, дивляться, чи нема води на промокальному папері. У випадку появи тріщин в трубі необхідно їх замазати або замінити трубу новою.

З часом мідні ошурки, які оточують резервуар витяжного термометра, поступово злежуються, ущільнюються і тиснуть на резервуар термометра. Внаслідок цього точка нуля витяжного термометра може зміщуватися (підвищуватися) більше, ніж у інших термометрів. При перевірці точки нуля термометри не винімають з оправ, а тільки знімають з палок. Витяжні термометри разом з оправою заглиблюють в сніг (лід, який тане), закриваючи снігом і оправу. Через годину, не вині маючи термометр із снігу, очищують частину шкали біля 0° і роблять відлік точки нуля.

Монтаж установки М-54-2 на метеорологічній площадці. Датчики установлюють на площадці з природним покровом. Для установки термометрів на глибинах 5, 10, 15, 20 і 40 см на ділянці робиться виїмка ґрунту довжиною 40 см, шириною 25 – 30 см і глибиною 40 см з однієї строго вертикальної стінки, зверненої на південь. У виїмці за допомогою стриженька підготовлюють шість горизонтальних отворів, в які вставляються датчики. З'єднувальний кабель від кожного датчика повинен укладатися горизонтально на одній глибині з ним на протязі не менше 30 см. Межа виїмки відмічається кілочками, і виїмка засипається раніше вибраним з неї ґрунтом. На глибинах 80, 120, 160 і 320 см датчики установлюються вертикально в скважинах, підготовлених ґрунтовим буром. Для кожного датчика робиться окрема скважинах. Скважини повинні розташовуватися по лінії схід – захід на відстані 50 см одна від

одної. Кожний датчик опускається в скважину на відповідну глибину. Після його заглиблення вільний простір скважини засипається землею.

Кабель на всьому протязі до місця вводу його в приміщення потрібно зарити в землю на глибину не менше 20 см. Вимірювальний пульт установлюється в приміщенні на столі, в добре освітленому місці.

При виході з ладу одного з датчиків його потрібно замінити запасним. Кабель датчика, який вийшов з ладу, відрізують в 10 – 20 см від місця його розгалуження від з'єднувального кабелю і до місця відрізу приєднують кабель нового датчика (припаюючи їх кінці). Місце пайки необхідно ретельно обернути ізоляційною стрічкою, а зверху додатково промазати резиновим клеєм. Оболонку кабелю в місці пайки також необхідно обмотати ізоляційною стрічкою і два-три рази промазати резиновим клеєм, просушуючи після кожного разу. Потім новий датчик поміщають в ґрунт замість вибулого з ладу. Надалі при обчисленні температури в цій точці потрібно користуватися паспортними даними заново установленого датчика.

Контроль справності окремих термометрів здійснюється тільки шляхом аналізу розподілу температури по глибинам на основі середніх декадних і середніх місячних значень. Повторні повірки датчиків важко здійснені (важко виймати їх з ґрунту), але у кожному випадку при вилучені датчиків їх потрібно перевірити в точці 0°, помістивши в лід, який тане, або сніг.

Мерзлотомір АМ-21 (рис.2.17). Мерзлотомір служить для визначення глибини промерзання ґрунту. Він випускається в декількох модифікаціях, призначених для різних районів (в залежності від глибини промерзання ґрунту).

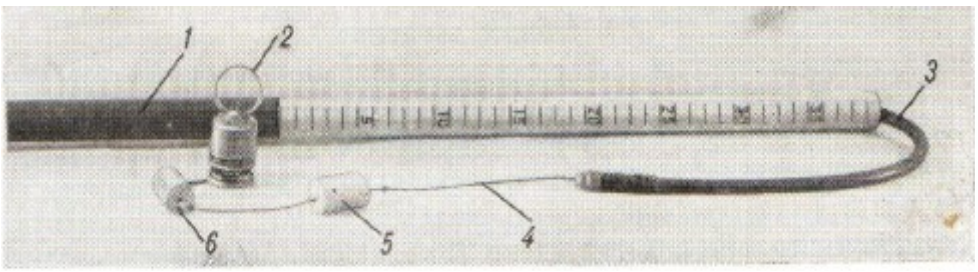


Рис.2.27 Мерзлотомір: 1 – захисна труба; 2 – ковпачок з кільцем; 3 – резинова трубка; 4 – шнур; 5 і 6 - пробки

Основними частинами мерзлотоміра є водонепроникна, закрита з нижнього кінця пластмасова труба 1, вертикально установлена на деякій глибині в ґрунті, і резинова трубка 3, що знаходиться всередині її. На трубі 1 і трубці 3 нанесені шкали з ціною поділки 1 см. На трубі 1

шкала нанесена у верхній частині з нулем на 40-м або 100-м см від верхнього кінці, на трубці 3 – по всій її довжині з нулем у верхнього кінця.

Труба 1 установлюється в ґрунт, в заздалегідь підготовлену скважину (як це роблять при установці труб ТПВ-50), закритим кінцем вниз на глибину, при якій нуль шкали співпадає з поверхнею ґрунту. По цій шкалі визначають висоту шару снігу біля мерзлотоміра. Резинова трубка 3 заповнюється водою і з обох кінців закривається капроновими пробками, в яких закріплений шнур 4, що проходить через всю трубку. На шнурі всередині трубки є вузли, перешкоджаючі переміщенню вздовж трубки утвореного в ній стовпчика льоду. Верхній кінець трубки за допомогою шнура прикріплюється до ковпачка 2 з кільцем. Ковпачок щільно закриває трубу 1 і охороняє її від попадання опадів. На шнурі закріплені також теплоізоляційні пробки 5. Ковпачок і пробки перешкоджають теплообміну трубки 3 з повітрям. Трубка 3 може також скріплюватися ковпачком за допомогою стержня з пластмаси або дерева (подібно витяжним термометрам).

По довжині шнур між ковпачком і верхнім кінцем трубки дорівнює верхній частині труби 1, що виступає над поверхнею ґрунту. Тому, коли мерзлотомір правильно зібраний і установлений, верхній кінець трубки 3 знаходиться на рівні поверхні ґрунту.

Спостереження за мерзлотоміром починають з момента початку заморозків і проводять на протязі всієї зими до повного відтанення ґрунту. При визначенні глибини промерзання ґрунту резинову трубку 3 витягують за кільце ковпачка 2 з труби 1 і двома пальцями прощупують трубку зверху вниз, визначаючи межі стовпчика льоду в трубці. По поділкам шкали на поверхні трубки, які співпадають з цими межами, визначають глибину залягання і товщину шару мерзлоти в ґрунті. При цьому, природно, передбачається, що розподіл температури в ґрунті такий же, як в мерзлотомірі, і що точка замерзання ґрунтової води і води в мерзлотомірі одна і та ж (тому і рекомендується заповняти трубку мерзлотоміра ґрунтовою водою). Для більшості ґрунтів вимірювання глибини промерзання цим мерзлотоміром дають цілком задовільні результати.

Контрольні запитання:

1. Які бувають температурні шкали ?
2. Від чого залежить коефіцієнт інерції ?
3. Які бувають види термометрів ?
4. З яких основних частин складаються скляні рідинні термометри ?
5. Дайте поняття біметалевих термометрів.

6. В чому полягає принцип дії термометрів опору ?
7. Яким приладом вимірюють температуру ґрунту ?
8. Що собою являють термоелектричні термометри ?
9. Які термометри і як розміщені на метеоплощадці ?
10. Для чого потрібний термограф ?
11. Як проводиться обробка стрічок термографа ?
12. На яких глибинах вимірюють температуру ґрунту ?
13. Для чого служить мерзлотомір ?
14. В чому полягає перевага термометрів опору перед рідинними термометрами ?
15. Яким термометром вимірюють температуру повітря, якщо вона нижче -50°С і чому ним ?

3. ВИМІРЮВАННЯ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ В МЕТЕОРОЛОГІЇ

3.1 Загальні відомості.

Атмосферним тиском називають гідростатичний тиск, що створюється атмосферним повітрям на всі предмети, які знаходяться в ньому. Припущення про наявність атмосферного тиску було зроблено в першій половині XVII ст. Галілеєм і експериментально підтверджено Торрічеллі. Атмосферний тиск в будь-якій точці атмосфери визначається масою вертикального стовпа вище лежачого повітря, яке простирається до меж атмосфери. Кожний шар атмосфери зазнає тиску вищележачих шарів і в свою чергу тисне на нижче лежачі. Тиск з висотою убуває; на висоті 5000 м він приблизно в два рази менше, ніж на рівні моря. Для порівняння результати систематичних вимірювань тиску на всіх метеорологічних станціях приводяться до тиску на рівні моря. Залежність атмосферного тиску від висоти виражена формулою Лапласа. Для приведення тиску до рівня моря на станціях користуються таблицями, обчисленими за спрощеною формулою

$$p_o = p_z = \frac{15982 + z(1+\alpha t)}{15982 - z(1+\alpha t)}, \qquad (3.1)$$

де p_o и p_z - відповідно тиск, обчислений на рівні моря і виміряний на висоті z;

α - температурний коефіцієнт об'ємного розширення повітря;

$t = \frac{t_o + t_z}{2}$; t_o і t_z - відповідно температура повітря, виміряна на станції і обчислена для рівня моря. Виходячи з середнього градієнта температури -0,6ºС на м$^{-1}$ на 100 м $t_o = t_z + 6 \cdot 10^{-3} z$.

В деяких випадках результати вимірювання атмосферного тиску використовуються безпосередньо, без приведення до рівня моря, наприклад, при баронівелюванні, або приводяться до висоти певного пункту, наприклад, до старту злітно-посадкової смуги (ВПС) аеродрому.

Крім абсолютного значення атмосферного тиску на метеорологічних станціях визначають значення і характер баричної тенденції. Значення тенденції визначають за зміною тиску за три години між строками спостережень, а її характер – по виду кривої реєстрації або за результатами частіших вимірювань тиску. Значення і характеристика баричної тенденції використовуються при прогнозуванні атмосферних процесів.

Одиницею тиску в системі СІ є Паскаль (Па), проте до цього часу в метеорології та деяких інших областях широко використовуються одиниці тиску мілібар і міліметр ртутного стовпа (мбар, мм.рт.ст.). Співвідношення цих одиниць:

- 1 Па = 10^{-2} мбар ·0,75 мм.рт.ст.;
- 1 мбар = 10^{2} Па = 0,75 мм.рт.ст.;
- 1 мм.рт.ст. = 133,3224 Па = 1,3332 мбар.

Атмосферний тиск в горизонтальному напрямку розподіляється нерівномірно; характер цього розподілу безперервно змінюється. В кожній точці тиск зазнає також відносно невеликі періодичні коливання. Але аперіодичні коливання досить великі. Так, на рівні моря тиск може коливатися в межах від 885 до 1080 мбар (885 – 1080 гПа).

В метеорології атмосферний тиск вимірюється головним чином за допомогою ртутних барометрів (в метеорології барометри з іншими рідинами не застосовуються). Ртутні барометри мають істотні недоліки, зокрема, зв’язані із застосуванням ртуті, тому в ряді випадків використовують деформаційні барометри різних типів. В деяких випадках доцільно користуватися гіпсотермометром (термобарометром). Для реєстрації атмосферного тиску застосовують барографи з пружними чутливими елементами.

3.2 Види ртутних барометрів.

З моменту винаходу Торрічеллі барометра (1643) його конструкція була значно удосконалена. Як рідинна використовується ртуть, висока густина якої забезпечує можливість створення рідинних барометрів мінімальних габаритів.

Ртутні барометри можуть бути трьох систем. На рис.3.1 наведені їхні схематичні зображення. Принцип дії ртутного барометра легко зрозуміти з рис.3.1 а.

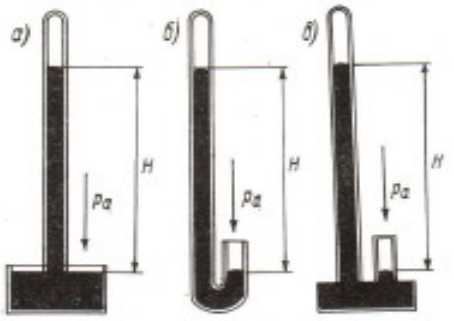


Рис.3.1 Типи ртутних барометрів: а – чашковий; б – сифонний; в - сифонно-чашковий

Якщо скляну трубку довжиною приблизно 90 см, запаяну з одного кінця, заповнити ртуттю, потім, перекривши отвір, перекинути і заглибити незапашним кінцем в ртуть, налиту в чашку, то після відкриття отвору трубки ртуть з неї витече в чашку тільки частково. В трубці залишиться стовп ртуті висотою H. Очевидно, що тиск цього стовпа ртуті (припускається, що трубка вертикальна) і тиск повітря p, що залишилося всередині трубки, урівноважують атмосферний тиск p_a, який тисне на поверхню ртуті в чашці. Якщо трубка в достатній мірі вакуумована ($p_a \leq 10^{-2}$ мбар), то тиск, надаваний ртутним стовпом висотою H, дорівнює атмосферному: $H\rho g = p_a$, де ρ - густина ртуті, g - прискорення вільного падіння. Таким чином, вимірюючи H, при відомих значеннях ρ і g, визначають атмосферний тиск p_a.

Промисловістю випускаються тільки чашкові і сифонно-чашкові барометри. Вимірювання атмосферного тиску за їх допомогою зводиться до визначення з необхідною точністю висоти стовпа ртуті H. Для забезпечення заданої точності вимірювання атмосферного тиску H вимірюють з точністю до десятої, а в деяких барометрах до сотої частки міліметра (шкала барометрів частіше градуюється в інших одиницях тиску, точність відліку і в цих випадках близька до вказаної). Така точність забезпечується застосуванням точних шкал і ноніусів, а також строгим додержуванням певних правил вимірювання.

Барометр чашковий станційний з компенсованою шкалою (рис.3.2). Барометрична трубка 6 цього барометру - калібрована скляна, запаяна з верхнього кінця трубка з внутрішнім діаметром 7,2 мм і довжиною приблизно 800 мм, заповнена під вакуумом (тиск не більше 10^{-3} мбар) очищеною ртуттю. Вона закріплена нижнім кінцем в кришці пластмасової або чавунної чашки 9 за допомогою шайби-втулки 10 з гвинтовою нарізкою. Чашка 9 складається з трьох частин, які згвинчуються. Середня частина 11 має діафрагму з отворами. Діафрагма виключає різкі коливання ртуті в чашці (під час перевезення), за яких в барометричну трубку може проникнути повітря. Крім того, діафрагма займає деякий об’єм, зменшуючи необхідну кількість ртуті

при заданому її рівні в чашці. Барометр сполучається з атмосферою через різьбовий отвір в кришці чашки, який закривається гвинтом 8. При загвинчуванні гвинта 8 шкіряна шайба, що знаходиться під його головкою, притискається до кришки чашки і отвір щільно закривається.

Вимірювання висоти ртутного стовпа проводиться за шкалою, яка нанесена біля краю наскрізного вертикального прорізу у верхній частині оправи 4, за допомогою ноніуса 2. Шкала наноситься в межах, в яких барометром даного типу (на барометрі типу СД-А від 810 до 1070 мбар, типу СР-Б – від 680 до 1070 мбар) проводиться вимірювання атмосферного тиску.

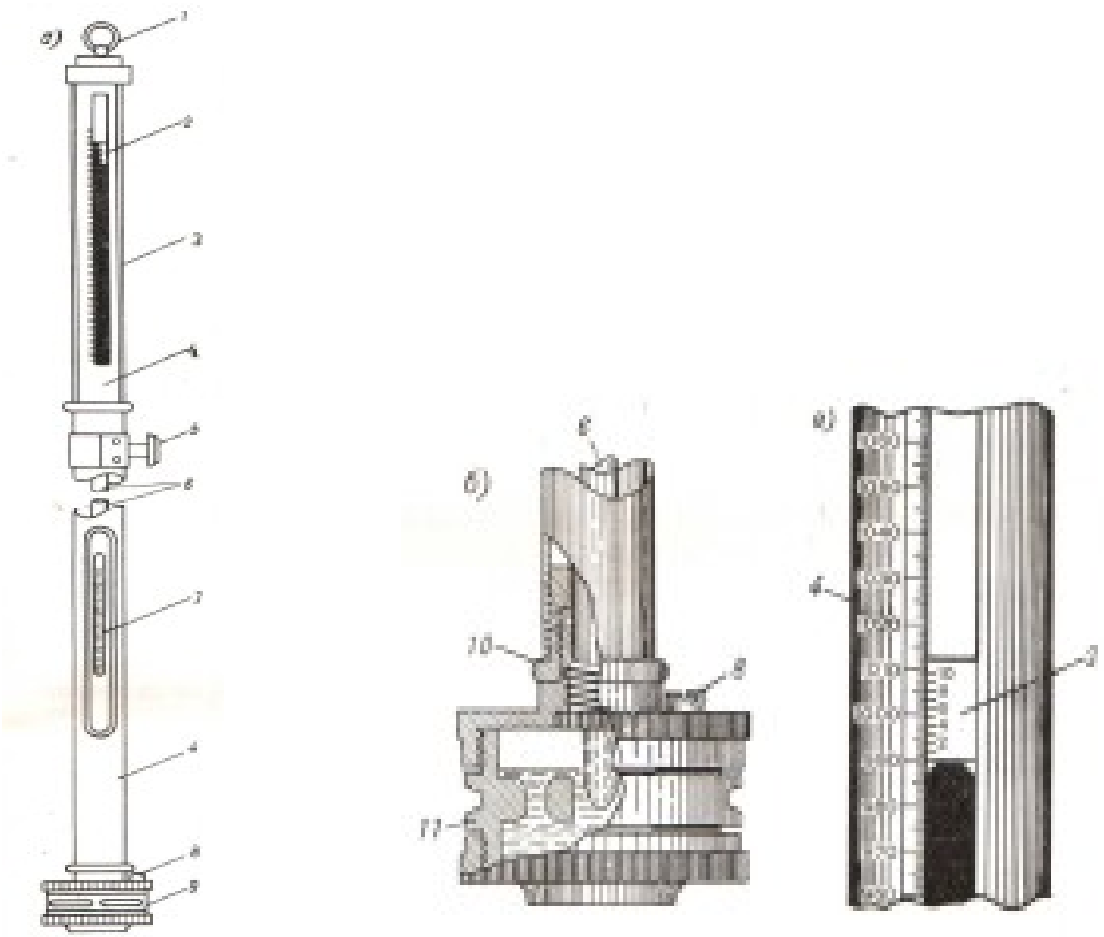


Рис.3.2 Барометр чашковий станційний: а – загальний вигляд; б – чашка барометра; в – шкала і ноніус: 1 – кільце; 2 – ноніус; 3 – захисне скло; 4 – оправа; 5 – рукоятка кремальєри; 6 – барометрична трубка; 7 – термометр; 8 – гвинт; 9 – чашка; 10 – втулка; 11 – середня частина чашки з діафрагмою

Шкала захищена від забруднення скляною трубкою 3. Пластинка ноніуса знаходиться в прорізу. Вона прикріплюється до трубки (кільця),

що вставлене всередину оправи і може переміщуватися за допомогою кремальєри. Під час обертання рукоятки 5 кремальєри ноніус переміщується вздовж прорізу по шкалі барометра. Нижній край пластини ноніуса співпадає з нулем шкали ноніуса. При проведенні вимірювань візирна лінія повинна проходити через нуль ноніуса і торкатися вершини меніска ртуті (рис.3.3, а і б).

Десять поділок ноніуса дорівнюють 19 поділкам шкали барометра, що дозволяє робити відліки з точністю до десятої частки ціни поділки шкали (число десятих часток визначається за номером поділки ноніуса, який співпадає з поділкою шкали).

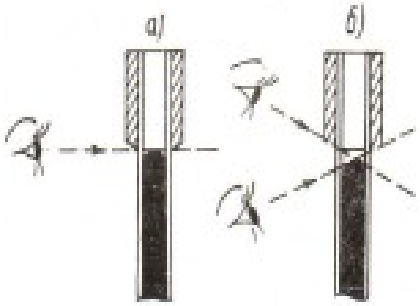


Рис.3.3 Положення ока при відліку по барометру: а – правильне; б - неправильне

Для визначення температури барометра (що необхідно для введення поправки в його показання) служить термометр 7, прикріплений біля прорізу в нижній частині барометра. Ціна поділки термометра 1,0ºС, але відраховувати температуру потрібно з точністю до 0,1ºС.

При вимірюванні тиску за допомогою станційного чашкового барометру достатньо визначити по його шкалі положення меніска ртуті в трубці, не визначаючи рівень ртуті в чашці, хоча при зміні тиску він також змінюється і співпадає з нулем шкали тільки при одному значенні тиску H_o. Зміна рівня ртуті в чашці відносно нуля шкали враховується компенсованою шкалою барометра. Побудова такої шкали основується на таких міркуваннях і розрахунках. При деякому тиску, коли рівень ртуті в чашці співпадає з нулем шкали, висота стовпа $H_o = n_o x$, де n_o - відповідний відлік за шкалою; x - ціна поділки шкали (рис.3.4)..

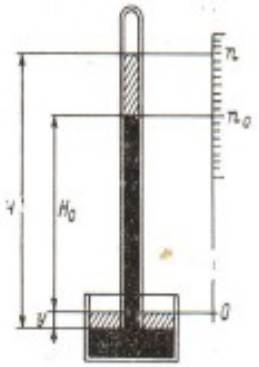


Рис.3.4 Схема барометра чашкового з компенсованою шкалою

При деякій зміні тиску висота стовпа ртуті зміниться на ΔH за рахунок зміни його рівня в трубці на $(n - n_o)x$ і в чашці на y; $\Delta H = (n - n_o)x + y$ (відмітимо, що ΔH і $(n - n_o)x$ завжди одного знака, а y - зворотного їм). Зміна висоти стовпа супроводжується переміщенням деякого об'єму ртуті з чашки в трубку (або навпаки). Зміна рівнів, викликана цим переміщенням об'єму в трубці і чашці, зворотно пропорційна площам їх поперечного перерізу (маса ртуті в барометрі постійна). Для станційних барометрів типа СР співвідношення площ перерізу чашки і трубки дорівнює 1:0,02. На основі цього $y = 0{,}02(n - n_o)x$; $\Delta H = 1{,}02(n - n_o)x$, звідки $x = \frac{\Delta H}{1{,}02(n - n_o)x}$ мм. Якщо шкала градуйована в мм.рт.ст., то $\frac{\Delta H}{n - n_o} = 1$ і $x = 0{,}98$ мм; якщо в мбар, то $\frac{\Delta H}{n - n_o} = \frac{1}{1{,}33}$ і $x = 0{,}735$ мм.

На станції барометр поміщують в спеціальну шафу, яка прикріплюється до стінки. В шафі барометр підвішують за кільце 1 (рис.3.2, а) до спеціального гаку з гайкою, який прикладений до барометра. Барометр не повинен зазнавати різких коливань температури, тому шафу з барометром неможна розміщувати поблизу обігрівальних систем та інших джерел тепла, віконних проїмів і дверей; його потрібно також захищати від попадання прямих сонячних променів.

Проведення вимірювань. Вимірювання по станційному барометру проводять в такому порядку.

1. Відчиняють шафу і вмикають освітлення.

2. Відраховують температуру по термометру з точністю до десятих часток градуса, визначаючи останні на око.

3. Злегка постукують пальцем по оправі барометра, перешкоджаючи зціпленню ртуті зі стінками трубки, і надають меніску ртуті (в барометричній трубці) нормальної форми.

4. Підводять ноніус зверху до моменту гаданого доторку його зрізів вершини меніска ртуті в барометричній трубці. При цьому око повинно знаходитися на візирній лінії, що проходить через нуль ноніуса і задній зріз кільця ноніуса (рис.3.3, а).

5. Відраховують показання барометра.

В результаті вимірювання вносять поправки на систематичні похибки. Після відліку ноніус не зміщують. Це дає можливість кожний раз перевіряти результат попереднього вимірювання (і виявити грубі прорахунки, якщо вони мали місце).

Перевезення станційного барометра. При перевезенні або перенесенні барометра потрібно строго додержуватися певних правил. Барометр заздалегідь готують до перевозки, для цього потрібно:

1. Загвинтити гвинт 8 (рис.3.2) в кришку чашки барометра до упора.

2. Зняти барометр з підвісного гака.

3. Плавно нахилити барометр настільки, щоб ртуть заповнила всю барометричну трубку. При цьому відбувається удар ртуті об верхній запаяний кінець барометричної трубки, тому нахиляти барометр потрібно обережно, тому що при різкому ударі трубка може розбитися.

Попутно рекомендується по характеру звука, який супроводжує удар ртуті, визначити збереженість вакууму в барометричній трубці. Якщо звук високий (металевий), вакуум зберігся; якщо звук низький (приглушений), в трубку попало повітря (воно виконує роль амортизатора).

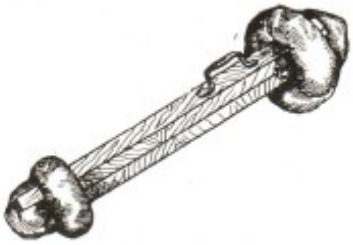
4. Перевернути барометр чашкою вверх, не затримуючи його в горизонтальному положенні.

5. Укласти барометр в футляр, який попередньо розташовують так, щоб при укладенні чашка барометра лежала в ньому на 5 – 10 см вище верхнього кінця барометричної трубки.

Переносити барометр потрібно так, щоб його чашка була завжди вище запаяного кінця барометричної трубки.

При перевозках ртутних барометрів у зібраному вигляді на далеку відстань застосовуються спеціальні м'які подушки, які одягаються на кінці футлярів (рис.3.5). Подушка, що вдягається на кінець футляру, в якому знаходиться чашка барометра, робиться трохи більших розмірів, ніж подушка, що вдягається на інший його кінець.

Рис.3.5 Упаковка барометра для перевезення



Завдяки цьому упакований барометр, покладений на горизонтальну поверхню, виявиться в похилому положенні (чашка вище запаяного кінця барометричної трубки).

Барометр сифонно-чашковий контрольний (рис.3.6). Його барометрична трубка має складну будову. Верхня її частина 12, що складає $^{1}/_{3}$ всієї довжини трубки, має діаметр приблизно 14 мм, а інші $^{2}/_{3}$ - значно тонші. Трубка вигнута в місці звуження в сторону від верхньої частини і спаяна за допомогою скляного балона 13 з другою

короткою трубкою 14 таким чином, що верхня широка частина трубки 12 розташована співосно з трубкою 14. Трубка 14 в своїй нижній (робочій) частині має такий же діаметр, як верхня робоча частина трубки 12.

Нижні кінці трубок 12 і 14 вмонтовані в стальний наконечник 15, який вставляється в чашку 16 і прикріплюється в ній. Трубка 12 є довгим коліном барометру, трубка 14 – коротким. Коротке коліно барометра у верхній частині має циліндричний прилив з отвором. На приливі закріплений ніпель, що закривається ковпачком 7 з шкіряною прокладкою.

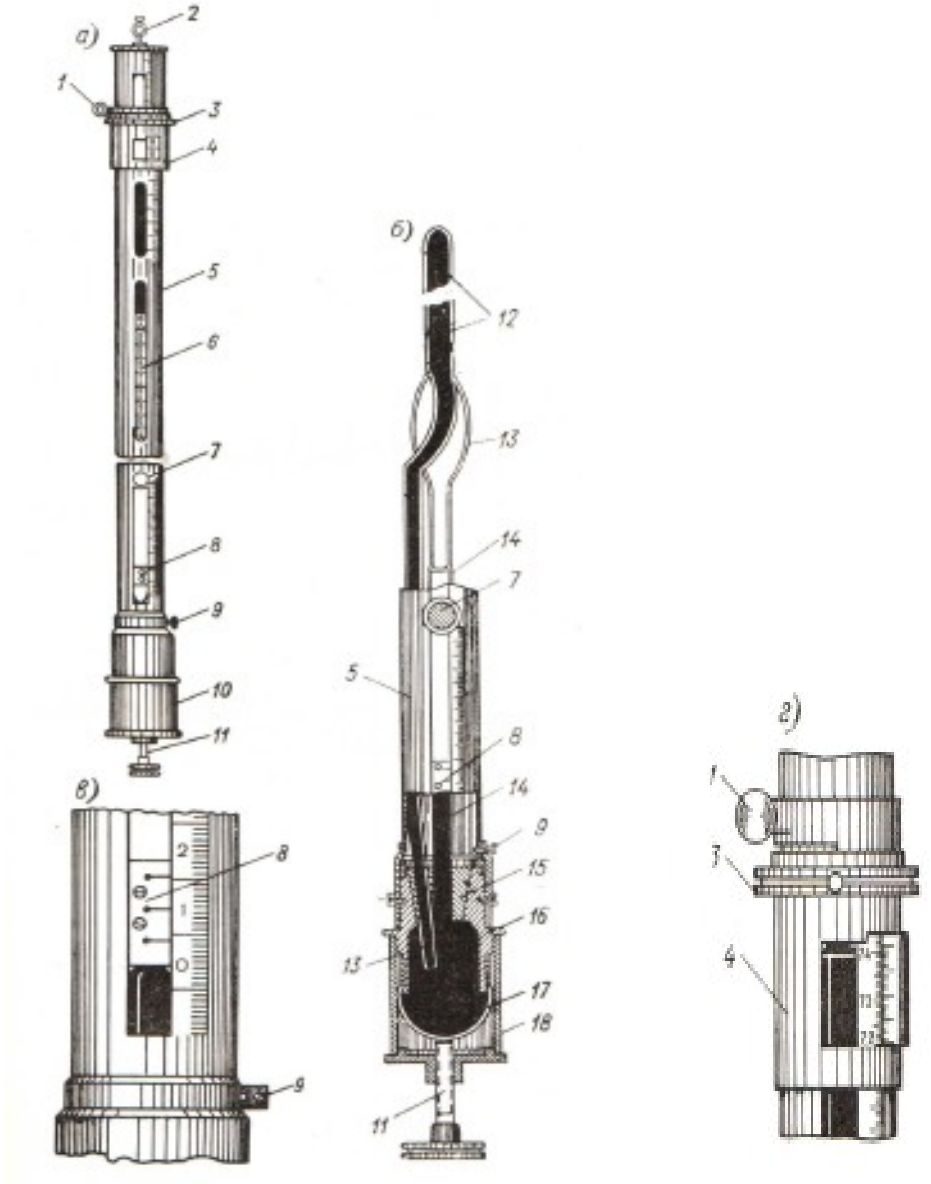


Рис.3.6 Барометр сифонно-чашковий контрольний: а – загальний вигляд; б – розріз; в – нижній індекс; г – ноніус; 1, 9 і 11 – гвинти; 2 – кільце; 3 – мікромітряне кільце; 4 - рухлива муфта; 5 – оправа; 6 – термометр; 7 –

ковпачок; 8 – індекс; 10 – захисний циліндр; 12 і 14 – трубки; 13 – скляний балон; 15 – наконечник; 16 – чашка; 17 – мішок: 18 – корпус.

Обидві скляні трубки вставлені в оправу 5 (латунна трубка), що з'єднується з чашкою 16. В оправі є наскрізні прорізи, через які видні стовпчики ртуті у верхньому і нижньому колінах барометра. На оправі вздовж прорізів нанесені ділянки шкали: у верхньому прорізу – від 850 до 1070 мбар, у нижньому – від 0 до 130 мбар. В нижньому прорізі установлюється індекс 8, з'єднаний з кільцем, яке прикріплюється до оправи гвинтом 9 таким чином, щоб нижній зріз індексу 8 був установлений строго проти нульової поділки шкали (після установки індексу гвинт 9 торкати не можна). Дном чашки 16 служить мішок 17 з м'якої шкіри (лайка). Нижня частина мішка 17 за допомогою гвинта 11, який вгвинчується в дно захисного циліндра 10, може переміщуватися вверх і вниз, змінюючи рівень ртуті в обох колінах барометра.

В середній частині оправи барометра установлений термометр 6. На оправі біля верхнього прорізу є рухлива муфта 4 з прорізом, праворуч якого закріплений ноніус з 20 поділками на шкалі. За допомогою ноніуса відлік за шкалою барометра може проводитися з точністю до 0,05 мбар. Муфта 4 складається з декількох частин, рухомих відносно одна одної. Верхня частина її може бути прикріплена гвинтом 1 на будь-якій ділянці оправи барометра у верхньому прорізі, що дозволяє зробити грубу установку зрізу ноніуса біля меніска ртуті; нижня частина може переміщуватися вверх і вниз відносно верхньої частини муфти за допомогою мікромітряного кільця 3, що дозволяє точно установити зріз кільця (нуль ноніуса) на вершину меніска ртуті.

Барометр підвішується за кільце 2 на спеціальному гаку, який вгвинчується в стіну. Чашка барометра пропускається в кільце, також вгвинчене в стіну. За допомогою трьох гвинтів, які є в кільці, барометр установлюється строго вертикально. Перевірка вертикальності установки барометра здійснюється в двох взаємно перпендикулярних площинах за допомогою виска, який підвішується рядом з барометром; при цьому захисна трубка барометра повинна бути розташована паралельно виску.

Атмосферний тиск за допомогою цього барометра визначається по висоті стовпа ртуті, що дорівнює різниці рівнів ртуті в довгому і короткому колінах барометра.

На точність показань контрольного барометра не впливають не циліндричність трубки і деяка зміна кількості ртуті в чашці. Важливе значення має правильна установка нижнього зрізу індексу 8 (рис.3.6, а, б). Для точної установки індексу 8 на пластиці індексу зроблено три штриха. При співпаданні нижнього зрізу індексу з нулем шкали, яка

нанесена на захисній трубці, штрихи повинні розташовуватися так, щоб середній штрих точно співпадав з поділкою шкали, що позначена цифрою 1 (10 мм), а два бокових були б симетрично зміщені відносно штрихів на шкалі, позначених 5 і 15 мм.

Барометр сифонно-чашковий інспекторський (рис.3.7). Цей барометр більше придатний для перевозок, ніж інші ртутні барометри, тому він використовується під час інспекцій станцій.

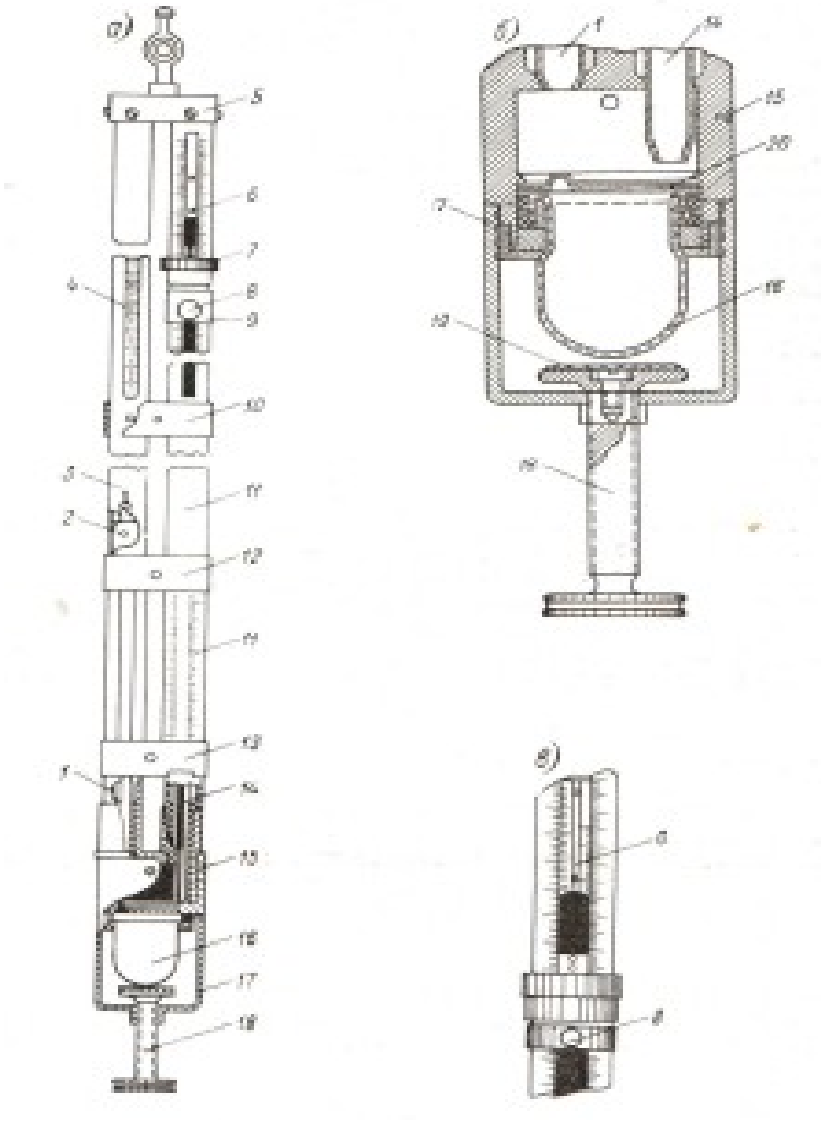


Рис.3.7 Барометр сифонно-чашковий інспекторський: а – загальний вигляд; б – розріз чашки; в – ноніус; 1 і 14 - трубки барометра; 2 – кран; 3 і 11 - трубки оправи; 4 – термометр; 5 – головка; 6 – ноніус; 7 – мікромітряне кільце; 8 – гвинт; 9 – муфта; 10, 12 і 13 – хомути; 15 – чашка; 16 – мішок; 17 – циліндр; 18 – гвинт; 19 – диск; 20 – діафрагма.

Інспекторський барометр складається з чашки 15 для ртуті, в кришку якої вставлені дві скляні трубки. Права барометрична трубка 14

довга (приблизно 86 см) із запаяним верхнім кінцем, ліва трубка 1 – коротка. У верхньому кінці трубки 1 закріплений металевий кран 2, який відкривається при спостереженнях для сполучення барометра з навколишнім середовищем.

Положення крану визначається по рисці на пробці крану. Якщо риска пробки співпадає з буквою О, що нанесена на корпус крану, значить кран відкритий – барометр сполучається із зовнішнім повітрям; якщо риска співпадає з буквою З, нанесену також на корпус крана, значить кран закритий – барометр не сполучається із зовнішнім повітрям. Трубки 14 і 1 поміщені в металеву оправу. Оправа складається з трубок 11 і 3, які скріплені хомутами 10, 12 і 13, і головкою 5. Трубки-оправи 3 і 11 мають наскрізні прорізи. Вздовж прорізу трубки 11 нанесена мілібарова шкала; нульова поділка шкали знаходиться трохи вище нижнього краю прорізу. Шкала має дві ділянки: нижня ділянка від 0 до 130 мбар і верхня – від 550 до 1070 мбар.

Хомут 13 установлюється так, що його нижній зріз співпадає з нульовою поділкою шкали. Зріз хомута 13 служить при вимірюванні тиску нульовим індексом.

Чашка 15 барометра має діафрагму 20 і еластичне дно у вигляді мішка 16 з м’якої шкіри (лайки). На чашку нагвинчується циліндр 17, через дно якого в різьбовому отворі проходить гвинт 18 з вільно обертальним диском 19. Обертаючи гвинт, піднімають або опускають дно мішка 16, тим самим змінюють рівні ртуті в обох колінах барометра. У верхній частині трубки 3 знаходиться термометр 4. На трубці-оправи 11 біля прорізу переміщується муфта 9, будова якої така ж як і у контрольного барометра. Вона прикріплюється за допомогою гвинта 8, після чого ноніус 6 може в невеликих межах плавно переміщуватися для точної наводки за допомогою мікромітряного кільця 7. Шкала ноніуса має 20 поділок і забезпечує можливість відліку з точністю 0,05 мбар.

Правила установки інспекторського барометру і порядок роботи з ним такий же, як і для контрольного барометра. Інспекторський барометр під час інспекції високогірських метеорологічних станцій дозволяє вимірювати низький атмосферний тиск (для інспекції високогірських станцій випускається спеціальний барометр з шкалою від 440 до 940 мбар). Це забезпечується хомутом 12, яким користуються при визначенні низьких значень атмосферного тиску, підводячи рівень ртуті до його нижнього зрізу, а не до хомута 13. При повірці барометра його інструментальну поправку повинні визначати окремо при установці рівня ртуті по хомуту 13 і по хомуту 12.

<u>Правила проведення вимірювань за допомогою сифонно-чашкових барометрів.</u>

1. Відраховують показання термометра при барометрі (з точністю до 0,1ºС).

2. Відгвинчують на 1-2 обороти ковпачок (або відкривають кран) короткого коліна, сполучаючи його з атмосферою.

3. Плавним обертанням гвинта 11, на яке спирається шкіряне дно чашки барометра, підводять ртуть в короткому коліні до рівня нижнього зрізу індекса (рис.3.3, а). При підведенні ртуті до зрізу індекса необхідно, щоб останній рух гвинта був на підняття ртуті. Якщо при наведенні ртуть буде піднята дуже високо, то її потрібно опустити нижче зрізу і знову підвести до нього знизу вверх. Цим забезпечується постійність форми менісків ртуті (і сил капілярного тиску в барометричній трубці).

4. Підводять зріз індексу рухливого кільця з ноніусом на меніск ртуті у верхньому коліні барометричної трубки (як це робиться при вимірюваннях за допомогою чашкового барометра).

5. Перевіряють правильність установки меніска стовпчика ртуті по нижньому індексу. (Якщо при перевірці виявиться, що установка неправильна – стовпчик ртуті міг зміститися, то необхідно знову почати вимірювання з пункту 2).

6. Відраховують показання по шкалі барометра.

7. Опускають ртуть в короткому коліні настільки, щоб вона не була видна в прорізі (для того, щоб робоча частина барометричної трубки короткого коліна не покривалася окислами ртуті).

8. Закривають ковпачок 7.

Правила перевозки сифонно-чашкового барометра.

1. Відгвинчують і знімають ковпачок 7 короткого коліна барометра (рис.3.6).

2. Плавним обертанням нижнього гвинта 11 піднімають ртуть до тих пір, доки вона на покажеться в отворі ніпеля крана короткого коліна (при цьому необхідно строго слідкувати за тим, щоб не упустити ні однієї краплі ртуті; пролита ртуть забруднює приміщення).

3. При появі краплі ртуті в отворі крану короткого коліна його закривають, впритул нагвинчуючи ковпачок 7.

4. Знімають барометр з підвісу, попередньо опустивши в нижньому кільці кріплення установочні гвинти.

5. Плавно перевертають барометр чашкою доверху, при цьому коротке коліно весь час повинно знаходитися над довгим. Для цього потрібно тримати барометр ковпачком 7 до себе і обертати так, щоб його верхній кінець рухався проти годинникової стрілки. Перевернувши барометр, укладають його в ящик, який повинен попередньо установлений також, як і при укладці чашкового барометра.

6. Уклавши барометр в ящик, потрібно відгвинтити гвинт 11 на півоберта, створивши цим запасний об'єм для ртуті при можливому її розширенні через підвищення температури барометра.

Потрібно мати на увазі, що барометрична трубка контрольного сифонно-чашкового барометра легко ламається при ударі і навіть при різкому переміщенні барометра, тому перевозка барометра потребує особливої обережності.

При перевозці інспекторського барометра потрібно, також як і у контрольного барометра, підняти ртуть в короткому коліні так, щоб крапля її показалася в отворі, що знаходиться на задній стороні крану. При появі ртуті закривають кран 2 (рис.3.7), після чого барометр знімають і перевертають також, як це вказувалося для інших барометрів.

Інспекторський барометр звичайно перевозять в дерев'яному футлярі, який міститься в парусиновому чохлі з ременем для переноски барометра за плечима.

Похибки вимірювання атмосферного тиску за допомогою ртутних барометрів; поправки до їх показань.

Систематичні похибки. Тиск стовпа ртуті барометра висотою H, що урівноважує атмосферний тиск p_a, дорівнює $p_a = H_o g \rho$; значення H при одному і тому ж значенні p_a може змінюватися в залежності від значень g - прискорення вільного падіння і ρ - густини ртуті, що залежить від температури ртуті. Крім того, потрібно врахувати, що температура впливає також на розміри шкали барометра (нанесеної на металевій оправі барометра). Таким чином, прискорення вільного падіння і температура є впливовими величинами на ртутний барометр. Зіставлення результатів вимірювання тиску ртутним барометром забезпечується приведенням їх до нормальних умов – при температурі $0^\circ C$ і $g_n = 980{,}665$ см/с^2 (близьке до значення прискорення вільного падіння на широті 45°). Нормування показань барометра здійснюють шляхом введення двох поправок: 1) на прискорення вільного падіння (постійна для даного місця) і 2) на відхилення температури від $0^\circ C$ (визначається при кожному вимірюванні).

Поправка на температуру визначається на основі відомих залежностей від температури густини ртуті і довжини шкали барометра. Тиск, отриманий стовпом ртуті висотою H_t при температурі (ртуті) t, приводиться до рівного йому тиску стовпа ртуті висотою H_0 і з температурою $0^\circ C$: $H_t \rho_t g = H_o \rho_o g$, ρ_t і ρ_o - відповідно густина ртуті при температурі t і $0^\circ C$. Враховуючи залежність густини від температури: $\rho = \frac{\rho_o}{1 + \alpha t}$, отримаємо значення висоти цього стовпа при $0^\circ C$:

$$H_o = \frac{H_t}{1+\alpha t}, \qquad (3.2)$$

де α - температурний коефіцієнт об'ємного розширення ртуті.

Довжина (і ціна поділки) шкали, нанесеної на латунній оправі барометра, відповідає своєму номінальному значенню тільки за певної температури t_n. При температурі t вона дорівнює $l_t = l_n\left[1+(t-t_n)\beta\right]$, де β - температурний коефіцієнт лінійного розширення латуні. Тому результат вимірювання висоти стовпа ртуті за шкалою барометра при температурі t, що дорівнює h_t, буде відрізнятися від дійсного значення H_t на нормований множник $\frac{l_t}{l_n} = 1+(t-t_n)\beta$; отже, $H_t = h_t\left[1+(t-t_n)\beta\right]$. Підставивши це значення H_t в (3.2), отримаємо

$$H_o = h_t \frac{1+\beta(t-t_n)}{1+\alpha t}.$$

Ця рівність дозволяє отримати значення систематичної температурної похибки $(h_t - H_o)$ і поправку $\Delta h_t = H_o - h_t$, яка виключається:

$$\Delta h_t = -h_t\left[(\alpha-\beta)t - \beta t_n\right].$$

Підставляючи значення $\alpha = 18{,}18 \cdot 10^{-7}$ і $\beta = 1{,}84 \cdot 10^{-7}$, отримаємо $\Delta h_t = -h_t \cdot 10^{-7}(16{,}34t + 1{,}84t_n)$; при $t_n = 0$ $\Delta h_t = -16{,}34 \cdot 10^{-7} h_t t$. Звичайно поправку визначають, користуючись таблицею, обчисленою по одній з цих формул для різних значень t і h_t.

<u>*Поправка на прискорення вільного падіння*</u> визначається на основі залежності прискорення вільного падіння від широти і висоти над рівнем моря місця (точки) проведення вимірювань. Таким чином, ця поправка складається з двох частин, які визначаються широтою і висотою місця. Прискорення вільного падіння тіл змінюється з широтою головним чином через зміну з широтою відцентрової сили, яка діє на тіла за їх участі в земному обертанні і направлена проти сили тяжіння, що визначає прискорення вільного падіння. Найбільшого значення відцентрована сила досягає на екваторі і дорівнює нулю на полюсі. Відповідно до цього прискорення вільного падіння має мінімальне значення на екваторі і максимальне – на полюсі ($g_0 = 978{,}05$ см/с^2; $g_{45} = 980{,}65$ см/с^2; $g_{90} = 983{,}25$ см/с^2). Його залежність від широти місця φ визначається формулою $g_\varphi = g_{45}(1 - 0{,}00265\cos 2\varphi)$. Враховуючи, що виміряний барометром тиск H (висота стовпа ртуті) знаходиться в обернено пропорційній

залежності від прискорення g, тому $H_{45} = H_{\varphi}\frac{g_{\varphi}}{g_{45}}$. Звідси отримуємо вираз для нормованої поправки на широту місця $\Delta H_{\varphi} = H_{45} - H_{\varphi}$:

$$\Delta H_{\varphi} = H_{\varphi}\left(\frac{g_{\varphi}}{g_{45}} - 1\right). \qquad (3.3)$$

Залежність прискорення g_z від висоти місця над рівнем моря визначається законом всесвітнього тяжіння (закон Ньютона). Прискорення g вільно падаючого тіла обернено пропорційне квадрату відстані тіла до центру земного шару:

$$\frac{g_z}{g_o} = \frac{R^2}{(R+z)^2}.$$

В земних умовах $z << R$ ($R = 6{,}371 \cdot 10^6$ м; порядок z не перевищує 10^3 м), тому з достатньо високою точністю можна, обмежуючись членами $\frac{z}{R}$ першого порядку, прийняти $\frac{g_z}{g_0} = 1 - \frac{2z}{R}$. Через те, що $\frac{H_0}{H_z} = \frac{g_z}{g_0}$ і $R = 6{,}371 \cdot 10^6$ м, то $H_0 = H_z\left(1 - 314 \cdot 10^{-9} z\right)$. Ця формула розрахована для пунктів, які знаходяться на висоті z у вільній атмосфері. Для пункту, що знаходиться на височинах на земній поверхні, з врахуванням сил тяжіння навколишніх мас земної поверхні вона набере вигляду

$$H_0 = H_z\left(1 - 196 \cdot 10^{-9} z\right).$$

На основі останньої формули визначають поправку на висоту місця $\Delta H_z = H_0 - H_z$:

$$\Delta H_z = - H_z 196 \cdot 10^{-9} z. \qquad (3.4)$$

Прискорення вільного падіння на широті φ і висоті z над рівнем моря виражається формулою

$$g_{\varphi, z} = g_{45}\left(1 - 259 \cdot 10^{-4} \cos 2\varphi\right) \cdot \left(1 - 196 \cdot 10^{-9} z\right).$$

Поправка, що нормує показання барометра по широті і висоті місця вимірювань, дорівнює $\Delta H_{\varphi, z} = \frac{g_{\varphi, z}}{g_n} - 1$; на станціях її обчислюють як суму $\Delta H_{\varphi, z} = \Delta H_{\varphi} + \Delta H_z$, користуючись двома таблицями: в одній, складеній на основі формули (3.3), за значеннями H_{φ} і φ знаходять ΔH_{φ}, в іншій, складеній на основі формули (3.4), за значеннями H_z і z знаходять ΔH_z.

<u>Систематична інструментальна похибка</u> барометра складається з двох різних за своїм характером частин: 1) виникає внаслідок не вдосконалення технології виробництва барометрів і 2) складається з суми неврахованих систематичних похибок, на які не вводять поправки через їх малості або складності розрахунків. До перших можна віднести похибки, викликані непостійністю площ внутрішнього перерізу

барометричної трубки і чашки чашкового барометра, відхиленням від номінальних розмірів поділок шкали, зміщенням положення нуля шкали і т.д. До других потрібно віднести похибки, які є результатом капілярних явищ і впливу тиску парів ртуті і залишків газу у ваккумованому об'ємі трубки над ртуттю. Капілярні явища – опускання або піднімання рідин всередині вузьких трубок - виникають під впливом поверхневого натягу рідини, яке створює надлишковий тиск всередині рідини в трубці. Цей тиск залежить від рідини, матеріалу і діаметру трубки, і температури рідини. Ртуть в барометричній трубці має випуклу поверхню (ртуть не змочує скло). Всередині ртуті в барометричній трубці створюється додатковий молекулярний тиск Δ, що дорівнює

$$\Delta = \frac{2\sigma}{R},$$

де σ - поверхневий натяг ртуті,

R - радіус меніска ртуті.

Через те, що Δ пропорційний кривизні $(1/R)$ поверхні ртуті, яка убуває із збільшенням діаметру трубки, то барометрична трубка виготовляється достатньо великого діаметру. За цих умов $\Delta = 0{,}7 \ldots 0{,}8$ мбар і включається до інструментальної поправки, а невеликі за абсолютним значенням температурні зміни не враховуються. Для того, щоб зберегти постійність кривизни меніска ртуті в чашковому барометрі, до відліку його показань необхідно злегка постукати по його оправі (при цьому зчеплення ртуті з склом послаблюється і меніск приймає свою нормальну форму). В сифонно-чашковому барометрі при проведенні вимірювань верхню точку меніска підводять до нижнього індексу завжди знизу вверх.

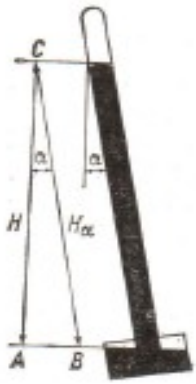
Вплив парів ртуті і повітря, яке залишилося. Над ртуттю в барометричній трубці завжди є пари ртуті. Їх тиск направлений проти атмосферного, викликаючи цим зменшення висоти стовпа ртуті і, отже, заниження показань барометра. Тиск парів ртуті залежить від температури, так, наприклад, при $0^\circ C$ він дорівнює $3 \cdot 10^{-4}$ мбар, при $20^\circ C$ дорівнює $17 \cdot 10^{-4}$ мбар, при $60^\circ C$ дорівнює $353 \cdot 10^{-4}$ мбар; зміни його невеликі (повірку роблять при температурі $20^\circ C$), тому при вимірюванні тиску на станціях ці зміни не враховують, але при більш точних вимірюваннях вони повинні враховуватися.

Тиск повітря, яке залишилося при вакуумуванні, також знижує показання барометра. Тиск повітря в замкнутому об'ємі всередині барометричної трубки, на відміну від тиску парів ртуті, залежить не тільки від температури, але і від тиску (при зміні тиску стовп ртуті переміщується, змінюючи об'єм, який займає повітря у верхній частині трубки); врахувати це дуже важко. Тому єдиним можливим способом виключення цієї помилки є досягнення високого вакууму в трубці при

виготовленні і збереженні його при експлуатації барометра. Контроль вакууму в трубці можна здійснювати раніше описаним способом. Контроль можна також здійснювати, оцінивши кількість повітря в трубці по об'єму, який він займає при перевернутому положенні барометра, коли барометрична трубка заповнена ртуттю. В справному барометрі діаметр пухирця повітря, який може при цьому утворюватися біля запаяного кінця трубки, не повинен перевищувати 1 мм.

Інструментальна похибка барометра визначається при його повірці і виключається введенням інструментальної поправки (вказаної в повірочному свідоцтві барометра).

Помилка через нахил барометра. Атмосферний тиск урівноважується тиском стовпа ртуті, висота якого H дорівнює різниці рівнів ртуті в трубці і чашці (рис.3.8).



При нахилі барометра (при незмінному тиску) на кут α ця різниця (висота стовпа) залишається незмінною, хоч довжина стовпа збільшується до H_α. Відлік по шкалі при такому положенні барометра приведе до додаткової не врахованої похибки $\Delta H_\alpha = H_\alpha - H$.

Рис.3.8 Вплив нахилу барометра на його показання.

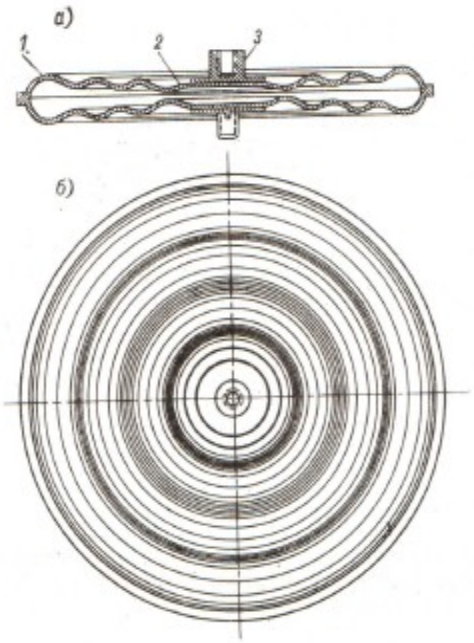
Через те, що $H_\alpha = \frac{H}{\cos\alpha}$, то $\Delta H_\alpha = H\left(\frac{1}{\cos\alpha} - 1\right)$, звідки $\cos\alpha = 1 - \frac{\Delta H_\alpha}{H}$. Для того, щоб при $H \sim 10^{-3}$ мбар $\Delta\alpha \le 0{,}05$ мбар, необхідно, щоб $\alpha \le 0{,}5^\circ$. Таким чином, при вимірюваннях необхідно строго слідкувати за тим, щоб положення барометру не відхилялося від вертикального.

<u>*Обчислення результатів вимірювань по барометрам*</u>. У відлік по барометру вводяться дві поправки: 1) постійна поправка, що складається з двох поправок – інструментальної і на силу тяжіння; 2) поправка на приведення показань барометра до температури $0^\circ C$.

Поправка на силу тяжіння, яка визначається в залежності від широти і висоти місця, із зміною тиску змінюється незначно, тому її обчислюють для даної станції по середньорічному значенню тиску і, підсумовуючи з інструментальною поправкою, отримують постійну поправку. Цю поправку визначають місцеві УГМС для кожного барометра на станції.

3.3 Деформаційні барометри.

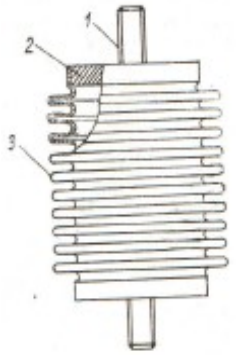
Принцип дії деформаційних барометрів заснований на залежності пружної деформації твердих тіл від подаваного на них тиску. Як первинні перетворювачі для цих барометрів застосовують елементи особливої форми і конструкції, чутливі до зміни тиску і перетворюють його в лінійне переміщення або силу (зусилля). Найбільш розповсюдженими з них є вакуумовані мембрані коробки (барокоробки), блоки з них (бароблоки) і сильфони, виготовлені з сталі, бронзи та їх сплавів з іншими металами.



Барокоробка (рис.3.9,а) складається з двох спаяних або зварених по периметру круглих мембран 1 (діаметром 30 – 80 мм), які мають жорсткі центри 2 з кріпильними ніжками 3. З окремих коробок, які скріплюються між собою гвинтовими з'єднаннями ніжок, збираються бароблоки (рис.3.9, б).

Рис.3.9 Барокоробка: а – розріз; б - вигляд зверху; 1 – мембрана; 2 – центр мембрани; 3 – кріпильна ніжка

Чутливість бароблоку дорівнює сумарній чутливості складових його коробок. Сильфон (рис.3.10) являє собою тонкостінну гофровану трубку 3, закриту з обох кінців впаяними (вваренними) дисками 2.



В центрі дисків є кріпильні ніжки 1. внутрішня порожнина барокоробок і сильфонів вакуумується (через отвір в одній з ніжок, який потім заварюється або запаюється).

Рис.3.10 Сильфон: 1 – кріпильна ніжка; 2 – диск; 3 – гофрована трубка

Барокоробка як перетворювач тиску в лінійне переміщення (деформація) діє таким чином. Зовнішній (атмосферний) тиск на мембрани, направлений на стиснення коробки, урівноважується силою пружної деформації мембран або, якщо вони не досить пружні, силою додаткової вимірювальної пружини. При зміні тиску рівновага порушується, мембрани (і пружина при її наявності) деформуються до положення, при якому рівновага відновлюється; переміщення жорстких центрів мембран коробки, яке відбулося при цьому, відносно один одного може служити мірою зміни атмосферного тиску.

Барокоробка може служити перетворювачем тиску в силу. При цьому жорсткі центри мембран не повинні зміщуватися відносно один одного, а зміну тиску на мембрани компенсують відповідною зміною натягу вимірювальної пружини, зв’язаної з жорсткими центрами мембран. У даному випадку застосований метод силової компенсації, при якому сила натягу пружини є мірою вимірюваного тиску (його зміни).

В найбільш широко застосованих деформаційних барометрах-анероїдах як первинні перетворювачі використовуються барокоробки і бароблоки. Бароблок (або барокоробка) кріпиться однією з вільних ніжок до основи (корпусу) анероїда. На цій же основі монтується його вторинний перетворювач, який з’єднується з другою вільною ніжкою бароблоку. В анероїдах, основаних на принципі вимірювання деформації (лінійного переміщення жорстких центрів), як вторинний перетворювач застосовується передаточно-множний механізм, який перетворює малі переміщення вільного жорсткого центру відносно основи в достатньо великі кутові переміщення стрілки анероїда, яка вказує. В анероїдах,

основаних на принципі силової компенсації, вторинний перетворювач побудований за схемою динамометра.

Анероїди випускаються декількох конструкцій. Розглянемо найбільш розповсюджені з них.

Анероїд БАММ* (рис.3.11; 3.12).

Рис.3.11 Барометр-анероїд БАММ

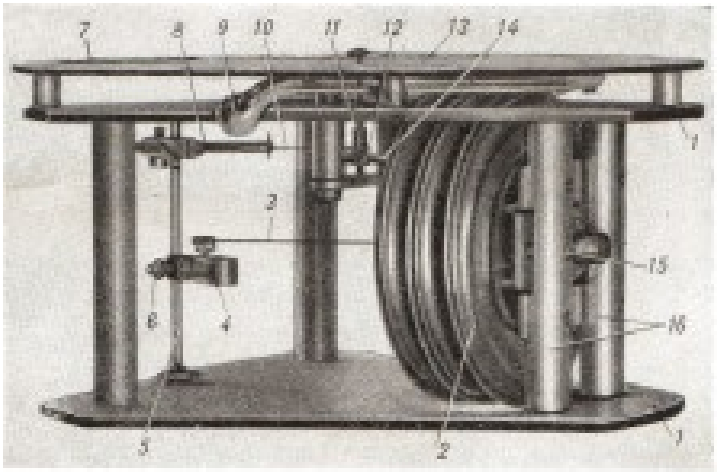


Рис.3.12 Механізм барометра –анероїда БАММ: 1 – плата; 2 – бароблок; 3 – тяга; 4 і 8 - плечі важеля; 5 – вісь; 6 і 15 - регулювальні гвинти; 7 - стрілка; 9 - термометр; 10 - шарнірний ланцюг; 11 – вісь стрілки; 12 - ролик; 13 - шкальна плата; 14 – спіральна пружина; 15 – гвинт; 16 – стойка.

Бароблок 2 однією з своїх кріпильних ніжок за допомогою пластини прикріплений до стойок 16. Друга вільна ніжка шарнірно з'єднана за допомогою жорсткої тяги 3 з плечем 4 важеля (4 – 8), закріпленого на осі 5, яка служить йому опорою. Друге плече 8 важеля (4 – 8) зв'язане пластинчато-шарнірним ланцюгом 10 з роликом 12, який насадженим на вісь 11 стрілки 7.

* БАММ – барометр-анероїд Маклакова і Мануйлова.

Спіральна пружина (волосок) 14, що зв'язана з віссю 11, тримає ланцюг 10 в натягнутому стані, вибираючи тим самим люфти в з'єднаннях механізму. До верхньої плати 1 за допомогою втулок і гвинтів прикріплена шкальна пластинка 13, в центрі якої є отвір для виходу кінця осі 11. На кінець осі 11 насаджена стрілка 7. До нижньої шкальної пластинки прикріплений дугоподібний ртутний термометр 9, який видний через проріз пластини. На верхній стороні шкальної пластини нанесені шкали: тиску (в мм.рт.ст. або в Па) - по окружності і температури (в ºС) - у краю дугового прорізу. При підвищенні тиску бароблок стискається і передаточний механізм повертає стрілку і додатково заводить волосок. При зменшенні тиску бароблок розтягується і передаточний механізм працює в напрямку, при якому натяг ланцюжка 10 послаблюється; натяг ланцюжка (вибірка люфту) і поворот стрілки відбувається під впливом волоска. Регулювання чутливості анероїда при його настройці і повірці здійснюється шляхом зміни за допомогою гвинта 6 співвідношення довжин плечей 4 і 8 важелю, а установка показань анероїда по показанням зразкового приладу здійснюється гвинтом 15, при обертанні якого бароблок переміщується вздовж своєї осі.

Механізм анероїда установлюється в пластмасовому корпусі і закріплюється разом з прокладкою і склом кільцем, яке нагвинчується на корпус. В корпусі є отвір, через який за допомогою викрутки можна (при повірці) обертати гвинт 15.

БАММ-1 забезпечує вимірювання атмосферного тиску в межах від 800 до 1060 гПа або від 600 до 800 мм.рт.ст.; основна похибка 2 гПа (приблизно 1,5 мм.рт.ст.). Вимірювання можна проводити при температурі повітря від -10 до +40ºС.

Барометр-анероїд М-67 (МД-49-2). Механізм цього барометру не має принципових відмінностей від описаного вище механізму БАММ-1. Він відрізняється від нього тільки тим, що його бароблок складається з чотирьох барокоробок, і тим, що в ньому застосовані струнні осі, які зменшують тертя.

Механізм М-67 (рис.3.13) установлений в металевому, зверху заскленому корпусі, який за допомогою амортизаційних пружин 3 закріплений в футлярі. Футляр закривається кришкою 1, закріпленою на петлях. Завдяки наявності амортизаційних пружин анероїд М-67 при перевозці менше зазнає пошкоджень від можливих механічних впливів. Він придатний для роботи при температурі від -40 до +40ºС. Його похибка 0,8 мм.рт.ст.

Вимірювання тиску за допомогою барометра-анероїда. При експлуатації анероїд в футлярі повинен зберігатися в місці, де нема різких змін температури.

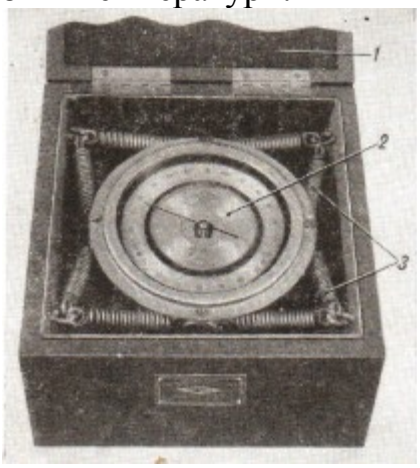


Рис.3.13 Барометр-анероїд М-67: 1 - кришка футляра; 2 - анероїд; 3 – амортизатори

Футляр відкривають тільки на час проведення відліків. Відкривши футляр, знімають показання термометра анероїда з точністю до 0,1ºС (це роблять в першу чергу, щоб уникнути теплового впливу самого спостерігача на термометр). Потім, перевіривши на око правильність положення анероїда (його шкальна пластина повинна бути розташована горизонтально) і постукавши пальцем по склу (що зменшує тертя в окремих ланках передаточного механізму), знімають відлік по положенню кінця стрілки відносно шкали з точністю до десятої частки поділки (0,1 мм.рт.ст.; 0,1 гПа). Показання записують. Закривають кришку футляру.

Для отримання значення тиску показання анероїда виправляють трьома поправками: 1) температурною; 2) шкаловою і 3) добавочною, які наводяться в повірочному свідоцтві, що прикладається до анероїда.

Температурна поправка. При зміні температури анероїда його показання змінюються внаслідок того, що пружність мембранних коробок (і пружини, якщо вона є) не залишається постійною. При підвищенні температури їх пружність зменшується, в силу чого коробка стискається більше і анероїд дає завищені показання. Для зменшення температурного коефіцієнта при виготовленні анероїда його компенсують на температуру. Така компенсація досягається тим, що в анероїд ній коробці залишається деяка кількість газу. Проте практично повністю виключити вплив температури анероїда на його показання не можна. Отже, при одному і том же атмосферному тиску показання анероїда можуть відрізнятися в залежності від його температури.

Для того, щоб виключити вплив температури, показання анероїда приводять «до температури 0ºС». Для цього при повірці для анероїда

визначається температурний коефіцієнт, який дорівнює зміні його показань при зміні температури на 1ºС.

Температурний коефіцієнт вважають додатнім, якщо із збільшенням температури анероїда його показання збільшуються. В повірочному свідоцтві наводиться температурна поправка у вигляді добутку температурного коефіцієнту, взятого із зворотнім знаком, і температури, виміряної по термометру анероїда (наприклад, $0{,}03\,t$ мм).

Шкалова поправка. Ця поправка виключає систематичну інструментальну похибку анероїда, яка виникає в результаті технологічних допусків при виготовленні його шкали, вузлів передаточного механізму і барокоробки. Чутливість також не може бути повністю ідентичною по всій шкалі і для всіх випущених екземплярів анероїдів. Все це приводить до похибок вимірювання, різним в різних ділянках шкали, які визначають при повірці за допомогою барокамери і зразкового манометра (порівнюючи показання анероїда і манометра при різному тиску в барокамері). По отриманим в результаті таких порівнянь значенням обчислюють поправки для окремих точок шкали, які віднесені до похибок в точці шкали 760 мм.рт.ст. Цю точку приймають рівною нулю. Такі поправки прийнято називати «шкаловими».

В повірочному свідоцтві до анероїду шкалові поправки наводяться для всієї шкали через кожні 10 поділок (мм.рт.ст.). Поправку до будь-якої точки шкали обчислюють інтерполяцією по поправках до двох сусідніх з нею точок. Інструментальна поправка анероїда протягом часу змінюється. Для врахування цього, а також для врахування поправки в точці 760 мм.рт.ст. вводять добав очну поправку.

Добав очну поправку визначають при повірці, порівнюючи показання анероїда, виправлені температурною і шкаловою поправками, з результатами вимірювань зразковим барометром. Таку повірку анероїдів необхідно проводити не рідше, ніж через 6 місяців.

Анероїди мають деякі переваги перед ртутними барометрами (малі габарити і масу, відсутність ртуті, зручність транспортування). Проте їх недостатня точність і зміна інструментальної похибки в процесі експлуатації не дозволяють використовувати анероїди як основний прилад для вимірювання тиску на метеорологічних станціях. Вони застосовуються в тих випадках, коли вимірювання тиску допустиме з похибкою більше 1 мбар (на деяких постах, в окремих експедиціях та ін.).

Барограф (рис.3.14). Для безперервної реєстрації змін атмосферного тиску застосовуються барографи. На метеорологічних станціях зустрічається декілька конструкцій барографа, які відрізняються головним чином, зовнішнім оформленням.

Барограф розміщений в пластмасовому корпусі. До нижньої рами корпуса за допомогою чотирьох гвинтів прикріплено основу – металеву плату 12 (рис.3.15, а), на якій змонтований увесь механізм приладу.

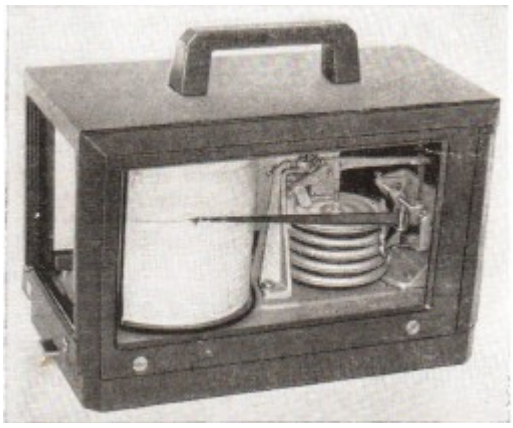
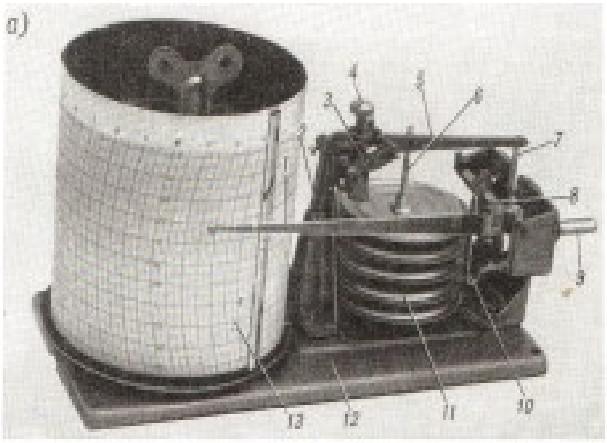


Рис.3.14 Барограф.

Чутливий елемент – блок барокоробок 11 – нижнім кінцем за допомогою біметалевого компенсатора кріпиться до плати 12. Верхній кінець бароблока за допомогою упору 6 і передаточної системи зв'язаний зі стрілкою 1 пера.



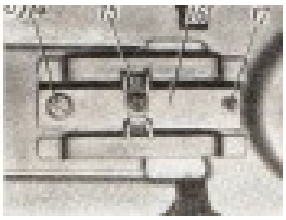


Рис.3.15 Механізм барографа (а) і біметалевий термокомпенсатор (б): 1 – стрілка пера; 2 і 3 – кронштейни; 4 – гвинт; 5 – важіль; 6 – упор; 7 – тяга; 8 – вісь пера; 9 – кнопка; 10 - рукоятка упору; 11 – бароблок; 12 – плата; 13 – барабан; 14 і 17 – гвинти; 15 – скоба; 16 – біметалева пластинка.

Передаточна система складається з важелю 5 з шарніром, розташованим в рухливому кронштейні 3, тяги 7 і регульованого важелю, який має загальну вісь 8 зі стрілкою 1 і закріпленого гвинтом. Змінюючи за допомогою цього гвинта довжину важеля, можна регулювати

чутливість барографа. Передаточний коефіцієнт механізму приблизно 80. Положення рухливого кронштейна 3, який має шарнір в кронштейні 2, фіксується зверху гвинтом 4 і знизу упорною пружиною. За допомогою гвинта 4, розташованого у верхній частині кронштейна 2, можна переміщувати рухливий кронштейн 3 навколо його шарніра, тим самим переміщуючи всю систему важелів (не деформуючи коробки) і установлюючи кінець стрілки 1 з пером в потрібне положення відносно поділок на стрічці (надітій на барабан часового механізму) у відповідності з атмосферним тиском. Рукоятка упора 10 дозволяє відводити перо. Відмітки на стрічці барографа можна зробити, натискаючи кнопку 9.

При підвищенні атмосферного тиску барокоробки стискаються і через важільну систему повертають стрілку, переміщуючи її доверху. При зниженні атмосферного тиску коробки під впливом пружних сил мембран розширюються і стрілка переміщується вниз. Чутливість бароблоку залежить від зміни температури (пружність мембран). Для виключення впливу температури на показання барографа застосовується термокомпенсатор. Він являє собою біметалеву пластинку 16 (рис.3.15, б), з одного кінця укріплену гвинтом 14 з гайкою до нижньої сторони основи 12; на другому її кінці гвинтом 17 прикріплений бароблок. Крім того, пластинка 16 кріпиться з основою 12 пересувною скобою 15 і гвинтом. Установлюючи скобу 15 ближче чи далі від бароблока (гвинта 17), укорочують або подовжують вільно діючий кінець пластини 16 відповідно, зменшуючи або збільшуючи переміщення бароблоку при зміні температури, добиваються температурної компенсації. Реєстрація тиску проводиться на спеціальних стрічках, які накладаються на барабан часового механізму.

Барограф потрібно установлювати на окремій поличці, закріпленій на стіні недалеко від ртутного барометру. Його не потрібно піддавати сильним температурним коливанням, тому що, незважаючи на температурну компенсацію, це може позначитися на його записах. Тому барограф не можна установлювати поблизу опалювальних батарей, віконних прорізів, в місцях куди можуть попасти сонячні промені.

Барографи в залежності від підкладної шестірні і приданого їм часового механізму можуть бути добові і тижневі. Стрічки барографа (рис.3.15, а) розграфлені через рівні проміжки горизонтальними лініями, а по вертикалі через рівні проміжки дугами. Горизонтальні лінії утворюють шкалу тиску в мілібарах, вертикальні дуги - шкалу часу. Шкала тиску на стрічці має межі від 960 до 1050 мбар, поділки нанесені через кожні 2 мбар і оцифровані через кожні 10 мбар. По шкалі часу ціна поділок між сусідніми дугами 15 хв для добового барографа і 2 год – для тижневого.

Установка стрічки на барографі робиться також, як і на термографі. Контрольні відмітки на стрічці барографа робляться при проведенні вимірювань тиску по барометру в основні строки спостережень. Виправлені показання барометра є вихідними при обробці стрічок для введення поправок до даних за записом барографа. В іншому обробка не відрізняється від обробки стрічок термографа.

Датчик тиску уніфікований (ДТУ). ДТУ складається з датчика тиску (ДТ) і блоку живлення (БЖ) (рис.3.16).

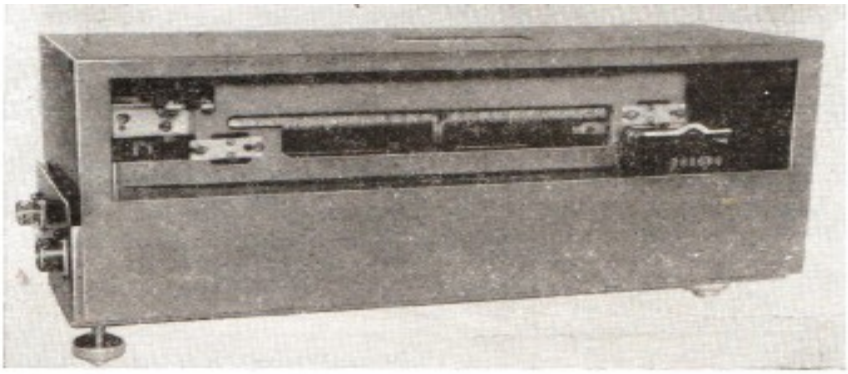


Рис.3.16 Датчик тиску уніфікований (ДТУ) без блоку живлення.

Уніфікація ДТУ полягає в тому, що в повному комплекті (ДТ і БЖ) він використовується як автономно діючий барометр, а його датчик (ДТ) як датчик атмосферного тиску автоматичної метеорологічної станції.

Принцип дії ДТ оснований на перетворенні атмосферного тиску, діючого на його чутливий елемент – сильфон, в силу, пропорційну цьому тиску, і вимірюванні її методом силової компенсації.

Сильфон 1 (рис.3.17, а) ніжкою нижнього жорсткого центру прикріплений до корпуса приладу, а другою ніжкою за допомогою тяги 2 зв'язаний с коротким плечем важеля 3, який має точку опори на підвісі 4, також не рухливо прикріпленому до корпуса приладу. На довгому плечі важеля 3 розташовані два вантажу – вимірювальний 5 і компенсаційний 6. Вся ця система може розглядуватися як нерівноплечові ваги. Компенсація сили, яка розвивається сильфоном 1, наступає при рівності моменту сили, прикладеною сильфоном до короткого плеча важеля 3, сумі моментів сил тяжіння вантажів 5 і 6, прикладених до його довгого плеча. Рівновісний стан системи визначається з положення прикріпленого на кінці довгого плеча важеля 3 сердечника 7 нуль-індикатора 8 відносно його індукційних котушок, закріплених на корпусі приладу (рис.3.17, а, б). При стані рівноваги, коли сердечник 7 знаходиться в нейтральному положенні, вихідна напруга нуль-індикатора дорівнює нулю. При зміні атмосферного тиску відповідно зміниться сила впливу сильфона на

важіль 3 і рівновага системи порушиться; важіль 3 повернеться на деякий кут і змістить сердечник 7 з нейтрального положення, внаслідок чого в котушках нуль-індикатора 8 виникне напруга розбалансу. Ця напруга надходить на систему автоматичної обробки, що складається з підсилювача 9, серводвигуна 10 з редуктором 13, зв'язаним ходовим гвинтом 11 і гайкою 18 з вимірювальним вантажем 5.

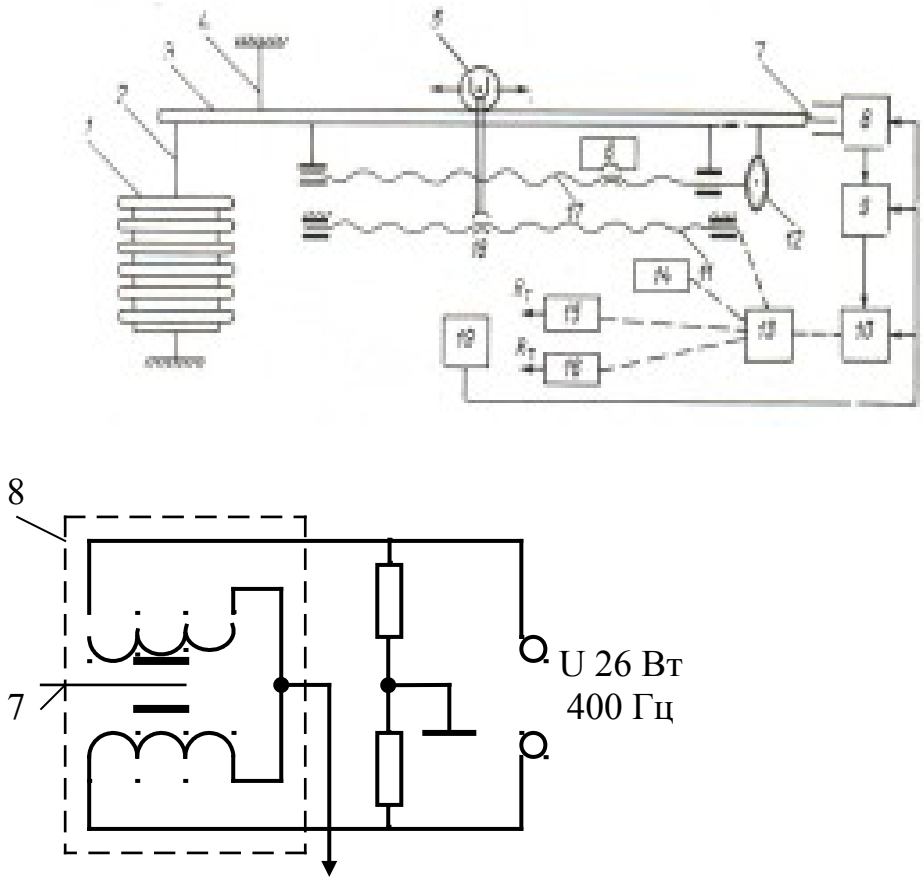


Рис.3.17 Схеми структурна ДТУ (а) і електрична принципова нуль-індикатора ДТ (б): 1 – сильфон; 2 – тяга; 3 – важіль; 4 – підвіс; 5 і 6 - вимірювальний і компенсаційний вантажі; 7 – сердечник; 8 – нуль-індикатор; 9 – підсилювач; 10 – серводвигун; 11 - ходовий гвинт; 12 – лімб; 13 – редуктор; 14 - лічильник; 15 і 16 – потенціометри; 17 - ходовий гвинт; 18 – гайка; 19 - блок живлення.

При розбалансі системи двигун 10 починає обертатися в напрямку, який визначається фазою сигналу розбалансу нуль-індикатора; вона задається таким чином, щоб вантаж 5 переміщувався в напрямку , при якому рівновага системи відновлюється. Лінійне переміщення вимірювального вантажу 5 вздовж довгого плеча важелю 3 до моменту

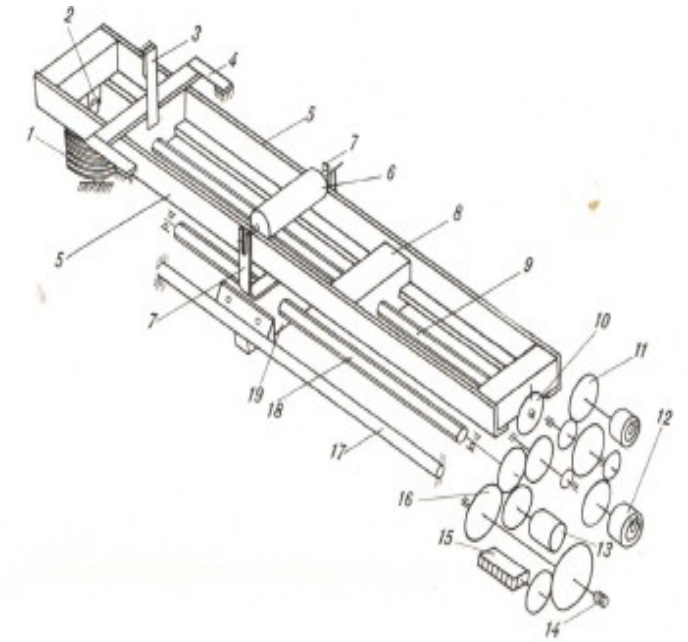
відновлення рівноваги є мірою зміни тиску, який викликав порушення рівноваги системи. Це переміщення визначається кількістю обертів гвинта 11, який через редуктор 13 зв'язаний з цифровим лічильником 14 і двома потенціометрами – грубого 16 і точного 15 відліків.

Лічильник служить для візуального зняття показань, а потенціометри, до яких надходить напруга постійного струму, - для зняття показань при підключенні ДТ як датчика автоматичної станції. Система з двох лічильників забезпечує високу точність зняття показань. Передаточне число редуктора 13, який зв'язує гвинт з лічильником і потенціометром, забезпечує можливість зняття візуальних показань в абсолютних значеннях з дискретністю в 10^{-2} мбар і зняття напруги з потенціометрів у заданому масштабі.

Компенсаційний вантаж 6 установлюється гвинтом 17 в положення, яке залежить від меж зміни атмосферного тиску в місці установки ДТ. Положення вантажу 6 фіксується за шкалою лімба 12. Ціна поділки шкали лімба наводиться в паспорті ДТ.

Взаємозв'язок основних механічних елементів ДТ наведений на кінематичній схемі (рис.3.18).

Рис.3.18 Кінематична схема ДТ: 1 – сильфон; 2 – тяга; 3 і 4 – вертикальна і горизонтальні підвіси; 5 – коромисла; 6 - вимірювальний вантаж; 7 - повідкова вилка; 8 - компенсаційний вантаж; 9 – ходовий гвинт; 10 – лімб; 11 і 12 – потенціометри; 13 - мотор; 14 – рукоятка; 15 – лічильник; 16 – шестерні; 17 – направляючі; 18 – ходовий гвинт; 19 – каретка.



Всі конструктивні вузли ДТ, вагова система, шестерні (редуктори) 16, мотор 13, підсилювач розміщені на основі. Коромисло 5 (рис.3.17, важіль 3) вагової системи підвішене на основі за допомогою хрестоподібної пружної опори, яка складається з вертикального 3 і двох горизонтальних 4 пружних стрічкових підвісів. На кінці довгого плеча коромисла закріплено осердя нуль-індикатора і поршень масляного демпфера (на рисунку не показаний).

Механізм переміщення вимірювального вантажу містить дві направляючі 17, ходовий гвинт 16 і каретку 19, яка зв'язана з ходовим гвинтом плаваючою гайкою. Каретка 19 зв'язана з вимірювальним вантажем 6 повідковою вилкою 7. Хід каретки в крайніх положеннях

обмежується мікровимикачами, які розмикають ланцюг живлення обмотки збудження двигуна при переході нею допустимих меж. Цим виключається можливість поломки приладу при його несправності або порушенні правил його експлуатації.

Компенсаційний вантаж 8 установлюється в потрібному положенні (у відповідності з потрібними межами вимірювань) обертанням гвинта 9, який закінчується шліцом (для викрутки). На кінці гвинта 9 закріплений лімб зі шкалою, ціна поділки якої вказується в паспорті ДТ, що полегшує установку вантажу 8 в потрібне положення.

У верхній частині основи знаходиться рівень, за яким прилад при експлуатації за допомогою регульованих по довжині гвинтових ніжок установлюється горизонтально. На основі закріплюється ртутний термометр (в комплекті ДТУ) або датчик термометра опору (в комплекті автоматичної станції) для вимірювання температури ДТ.

Живлення ДТУ здійснюється від мережі 220 В, 50 Гц через БЖ, який за допомогою кабелю, що закінчується вилкою, підключають до мережі, а за допомогою кабелю через штепсельні роз'єми до ДТ.

В показання ДТУ вводять температурну поправку $\Delta t(t - t_0)$ в мілібарах, де Δt мбар ºС – температурний коефіцієнт; t_0 - температура, при якій Δt приводиться до нуля (ці дані беруться з паспорта приладу); t - температура, виміряна по термометру ДТ.

В приладі є біметалевий компенсатор, тому температурний коефіцієнт ДТ доброї якості виготовлення близький до нуля $(\Delta t \leq 10^{-2})$, проте допускаються до експлуатації ДТ, у яких $\Delta t \leq 5 \cdot 10^{-2}$ мбар/ºС.

Випадкова похибка ДТУ не перевищує 10^{-2} мбар.

3.4 Гіпсометричний метод вимірювання тиску.

Гіпсометричний метод визначення атмосферного тиску оснований на залежності температури кипіння рідини від тиску.

Рідина починає кипіти при температурі, за якій пружність її парів дорівнює зовнішньому тиску на поверхні рідини. Як рідину при вимірюванні тиску гіпсотермометром використовують дистильовану воду.

Знаючи температуру пари киплячої води, можна по спеціальних таблицях знайти пружність пари, а через те, що пружність пари дорівнює зовнішньому тиску, то отже, і атмосферний тиск.

Таким чином, визначення атмосферного тиску по гіпсометричному методу зводиться до вимірювання температури пари киплячої води. Середня чутливість методу $\left(\frac{\Delta t}{\Delta P}\right)$ приблизно 0,03ºС/мбар.

Прилад, за допомогою якого вимірюють тиск цим методом, називається ***гіпсотермометром***. Він складається з власне гіпсотермометра (рис.3.19) і кип'ятильника з паровою камерою (рис.3.20).

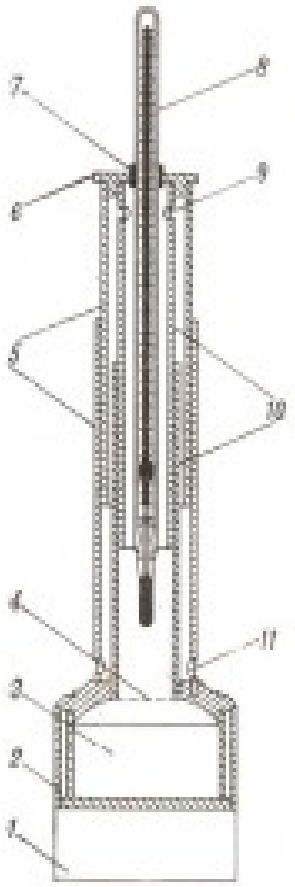
По конструкції власне гіпсотермометр – це спеціальний високочутливий ртутний термометр, який забезпечує вимірювання температури в точці 0ºС і від 83 до 103ºС з похибкою не більше 0,01ºС (відліки проводять за допомогою лупи). Точка 0ºС використовується при повірці гіпсотермометру; шкала від 83 до 103ºС забезпечує визначення тиску від 450 до 1120 мбар з похибкою 0,3 – 0,4 мбар. Така висока точність відліку забезпечується високою чутливістю гіпсотермометра (завдяки великому об'єму резервуару і малої внутрішньої площі перерізу капіляру в робочій частині гіпсотермометра). Висока чутливість і великі межі шкали при відносно невеликій довжині гіпсотермометра (приблизно 300 мм) можливі завдяки наявності запасного об'єму (розширення в капілярі) на не робочій ділянці шкали гіпсотермометра, який відповідає температурному діапазону від 0,5 до 83ºС.

Рис.3.19 Гіпсотермометр.

Кожний гіпсотермометр повинен мати повірочне свідоцтво, в якому наводяться поправки по шкалі і показання гіпсотермометра при температурі льоду, що тане, в посудину з яким його поміщують після попереднього перебування протягом 30 хв в парах киплячої води при деякому відомому тиску (значення якого також наводиться в свідоцтві).

Для забезпечення достовірності результатів вимірювань у відповідності з високою точністю відліків необхідна періодична повірка збереження градуйованої характеристики гіпсотермометра. Її виконують по двом точкам: 0ºС (точка танення льоду) і температурі парів киплячої води при заданому тиску. Порівняння отриманих при цьому результатів з наведеними в повірочному свідоцтві (на основі попередньої повірки) дозволяє визначити зміну поправок в цих точках, які відбулися з моменту попередньої повірки і розповсюдити їх по всій шкалі.

Кип'ятильник гіпсотермометра (рис.3.20) призначений для установки гіпсотермометра в парах киплячої води.



Він складається з корпусу 2, в нижній частині якого знаходиться нагрівач 1 (електронагрівальний елемент, спиртівка і т.д.), а над ним посудина 3 для дистильованої води. Над посудиною знаходиться парова циліндрична камера з подвійними стінками з двох пар металевих, телескопічно з'єднаних трубок 5 і 10, і кришкою 6 з теплоізоляційного матеріалу. В отвір кришки через ущільнювальне кільце 7 вставляється гіпсотермометр 8. На посудині у основи парової камери є сітка 4, яка захищає гіпсотермометр від бризів киплячої води. Гіпсотермометр установлюється так, щоб стовпчик ртуті в його капілярі в момент відліку виступав над ущільнювальним кільцем 7 на 1 – 2 мм. Висоту парової камери регулюють, опускаючи або піднімаючи її верхню частину.

Рис.3.20 Розріз кип'ятильника з гіпсотермометром: 1 – нагрівач; 2 – корпус; 3 – посудина з водою; 4 – сітка; 5 і 10 – кришка; 7 – ущільнювальне кільце; 8 – гіпсотермометр; 9 і 11 - отвори

Пара киплячої води заповнює парову камеру, проходить через отвір 9 у верхній частині трубки 10, через зазор між трубками 5 і 10 і далі через отвір 11 в навколишнє середовище.

Внутрішні стінки трубки 10 з двох сторін стикаються з парою киплячої води, а тиск всередині парової камери дорівнює атмосферному, що забезпечує рівність температури в камері і температури парів киплячої води при даному атмосферному тиску.

Результати вимірювання гіпсотермометром залежать тільки від тиску. Маса гіпсотермометра і габарити значно менші, ніж у ртутних барометрів. Він транспортабельний і застосовний в складних умовах (в експедиціях, на судах та ін.).

Контрольні запитання:

1. Що називається атмосферним тиском ?
2. В яких одиницях вимірюють атмосферний тиск ?
3. Які бувають типи ртутних барометрів ?

4. В якому порядку проводять вимірювання атмосферного тиску ?
5. Яких правил потрібно додержуватися під час перевезення чи перенесення барометра ?
6. Яким барометром користуються на гірських метеостанціях для визначення атмосферного тиску ?
7. Які бувають похибки під час вимірювання атмосферного тиску ?
8. Як визначається поправка на температуру ?
9. Як визначається поправка на прискорення вільного падіння ?
10. Чи впливають пари ртуті на показання барометра ?
11. На чому оснований принцип дії деформаційних барометрів ?
12. Для чого служить барограф ?
13. Як працює уніфікований датчик тиску ?
14. На чому оснований гіпсометричний метод вимірювання тиску ?

4. ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ В МЕТЕОРОЛОГІЇ

4.1 Загальні відомості.

Під ***вологістю*** повітря (вологовмістом) розуміють вміст водяних парів у повітрі.

Вміст водяної пари в повітрі може оцінюватися багатьма величинами: абсолютною і відносною вологістю, пружністю водяної пари точкою роси, дефіцитом вологості та ін..

Абсолютна вологість a - кількість водяної пари в грамах, яка міститься в одному кубічному метрі повітря (г/м^3).

Пружність водяної пари e, яка знаходиться в повітрі, або ***парціальний тиск*** водяної пари, виражається в мілібарах (мбар) або в міліметрах ртутного стовпа (мм.рт.ст.). Абсолютна вологість і парціальний тиск водяної пари повітря (мбар) зв'язані виразом

$$a = 217\frac{e}{T} \quad \text{або} \quad a = \frac{0{,}8\,e}{1+\alpha t}, \qquad (4.1)$$

де T і t - температура водяної пари (повітря) в К і ºС відповідно;

α - температурний коефіцієнт об'ємного розширення пари, $\alpha = 3{,}66 \cdot 10^{-3}$ (ºС)$^{-1}$.

При даній температурі повітря і даному тиску парціальний тиск водяної пари e не може бути більше від тиску насичення E .

Відносна вологість повітря f - відношення парціального тиску водяної пари, яка є в повітрі, до тиску насичення водяної пари, що насичує простір при температурі t, виражене у віідсотках:

$$f = \frac{e}{E} \cdot 100\,\%. \qquad (4.2)$$

Дефіцит насищення d (або нестача насичення) - різниця між максимально можливою пружністю водяної пари при даній температурі і парціальним тиском водяної пари, яка знаходиться в повітрі:

$$d = E - e.$$

Точка роси t_d - температура, при якій водяна пара, що знаходиться в повітрі, досягає стану насичення при незмінному тиску, тобто $e = E_{t_d}$.

Масова частка водяної пари s - маса водяної пари, що міститься в одному кілограмі вологого повітря (г/кг; ‰):

$$s = \frac{622\,e}{p - 0{,}378\,e}, \qquad (4.3)$$

де p - тиск атмосфери.

Через те, що $p >> 0{,}378\,e$, то з достатньою точністю

$$s = \frac{622\,e}{p}. \qquad (4.4)$$

Відношення суміші r - відношення маси водяної пари, що міститься в об'ємі вологого повітря, до маси сухого повітря в тому ж об'ємі (г/кг; ‰):

$$r = \frac{622\,e}{p - e}. \qquad (4.5)$$

На практиці метеорологічних вимірювань доводиться зустрічатися в першу чергу з парціальним тиском водяної пари (e), відносною вологістю повітря (f), точкою роси (t_d) і дефіцитом насичення (d).

Найбільш розповсюдженими методами вимірювання вологості повітря є психрометричний і гігрометричний (методи визначення вологості за допомогою гігрометрів різного типу), а найбільш розповсюдженими приладами - психрометри і волосяні гігрометри. Проте вони не повністю задовольняють вимоги, які ставляться до приладів для вимірювання вологості, особливо при від'ємних температурах повітря. Тому проводяться пошуки нових методів вимірювання вологості повітря.

Методи вимірювання вологості практично реалізуються шляхом застосування приладів з первинними перетворювачами, для яких вимірюваними вхідними величинами є дефіцит вологості $(E - e)$, відносна вологість f і точка роси t_d. Проте через тісний взаємозв'язок всіх величин, які характеризують вологість повітря, не завжди легко визначити, яка саме з них є вхідною для того чи іншого вимірювача вологості.

4.2 Психрометричний метод. Психрометри.

Психрометричний метод широко застосовується при вимірюванні вологості повітря і в метеорології до цього часу є основним. Він заснований на залежності інтенсивності випаровування з водної поверхні від дефіциту вологості повітря, яке стикається з нею. Для вимірювання вологості цей метод практично реалізується непрямим визначенням інтенсивності випаровування шляхом вимірювання зниження температури тіла, з поверхні якого відбувається випаровування, за рахунок витрат тепла тіла на випаровування води.

Маса води ΔM, що випаровується з поверхні площею S за проміжок часу Δt, визначається за формулою Дальтона

$$\Delta M = \frac{c\,S\,(E' - e)}{p}\,\Delta t, \qquad (4.7)$$

де c - коефіцієнт пропорційності, що залежить головним чином від швидкості руху повітря відносно випарної поверхні;

E' - максимальна пружність водяних парів при температурі випарної поверхні;

e - парціальний тиск водяної пари в повітрі;

p - тиск атмосфери.

Витрата тепла ΔQ_1 на випаровування маси води ΔM буде дорівнювати

$$\Delta Q_1 = \Delta M L = \frac{cS(E' - e)}{p} \Delta t L, \qquad (4.8)$$

де L - теплота пароутворення води.

Як тільки температура поверхні тіла (води) знизиться відносно навколишнього повітря, завдяки теплообміну з повітря до тіла через охолоджену поверхню почне надходити тепло ΔQ_2, яке визначається формулою

$$\Delta Q_2 = B S_1 (t - t') \Delta t, \qquad (4.9)$$

де B - коефіцієнт зовнішнього теплообміну;

t і t' - відповідно температура повітря і охолодженого тіла;

S_1 - площа поверхні, через яку здійснюється теплообмін;

Δt - проміжок часу.

При сталому процесі витрата тепла на випаровування ΔQ_1 буде дорівнювати притоку тепла з повітря:

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2;$$

отже, на основі (4.8) і (4.9)

$$\frac{cSL(E' - e)}{p} \Delta t = B S_1 (t - t') \Delta t.$$

Розв'язуючи це рівняння відносно e і припускаючи, що $S = S_1$, отримаємо

$$e = E' - \frac{B}{cL}(t - t')p, \qquad (4.10)$$

або

$$e = E' - A(t - t')p. \qquad (4.11)$$

Вираз (4.11) називають ***психрометричною формулою***, а коефіцієнт $A = \frac{B}{cL}$ - ***психрометричним***. Психрометричний коефіцієнт залежить від швидкості руху повітря відносно поверхні, яка випаровує, - із збільшенням швидкості коефіцієнт зменшується. Проте при швидкості більше 2,5 – 3 м/с ця залежність стає слабкою (рис.4.1).

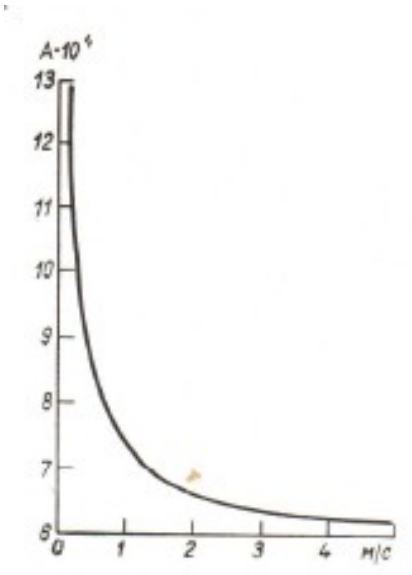


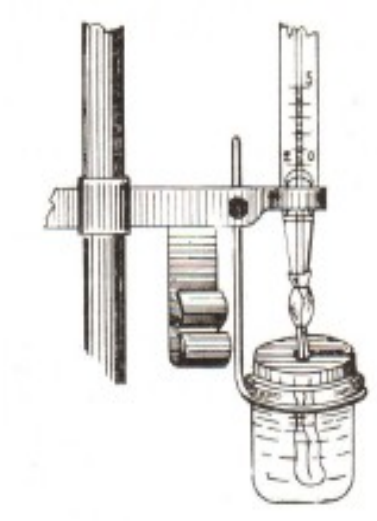
Рис.4.1 Залежність психрометричного коефіцієнта від швидкості руху повітря біля випарної поверхні

Прилади, які застосовуються при вимірюванні вологості повітря психрометричним методом, називаються ***психрометрами***. Психрометри містять два термометри. Одним вимірюють температуру тіла t', з поверхні якого відбувається випаровування води, а іншим – температуру навколишнього повітря t.

Як випарна поверхня використовується поверхня з нейтральним гігроскопічним покриттям, яке постійно або перед вимірюванням змочується дистильованою водою. Ця поверхня є конструктивним елементом первинного перетворювача термометра, по якому визначається температура тіла з випарної поверхні. Цей термометр психрометра називають «***змоченим***» на відміну від другого термометра психрометра, який служить для визначення температури повітря, і його називають «***сухим***».

Станційний психрометр. Цей психрометр складається з двох психрометричних термометрів, які установлені на штативі, і стаканчика для дистильованої води. Резервуар правого термометра обв'язується кусочком батисту, кінець якого занурений в воду, що заповнює стаканчик. Стаканчик установлюється в кільці тримача таким чином, щоб кришка, яка його закриває, знаходилась на 2 – 3 см нижче резервуара термометра (рис.4.2). При цьому забезпечується надходження води до поверхні резервуара по батисту і в той же час створюється можливість вільного обміну повітря коло резервуара, виключаючи можливість концентрації біля нього водяної пари і, отже, зменшення випаровування з його поверхні. Кришка стаканчика має проріз, що дозволяє знімати її, не витягуючи кінець батисту з води (стаканчика). Термометри для психрометра підбираються парами з можливо більш близькими характеристиками (габарити, розміщення поділок шкал, за інерцією, ходу поправок та ін.). Для психрометрів потрібно застосовувати тільки

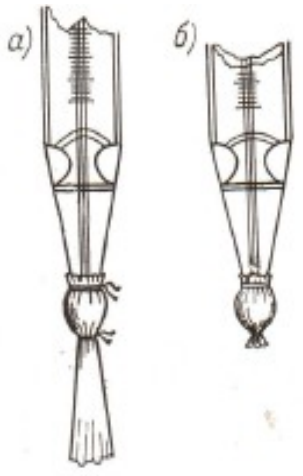
спеціальний сорт батисту (яким комплектуються психрометри). Інша тканина може не мати необхідних гігроскопічних властивостей, через що можуть виникнути додаткові похибки, які врахувати не можна.



Батист повинен щільно прилягати до резервуара термометра і покривати його тільки одним шаром. Тому використовують смужки батисту певних розмірів; їх ширина дозволяє обгорнути резервуар тільки один раз, а краї батисту можуть заходити один за другим не більше ніж на $^{1}/_{4}$ резервуара.

Рис.4.2 Психрометричний стаканчик на штативі.

Пов'язку батисту зручно робити, заклавши, наприклад, термометр в книгу так, щоб він виступав з неї резервуаром на 5 – 10 см. Книгу з термометром кладуть на стіл. Змочивши батист дистильованою водою, його щільно обгортають навколо резервуара термометра так, щоб один край (по довжині) навернутого батисту виступав на 2 – 3 мм вище резервуара термометра, а вся інша довжина виявилася нижче резервуара (рис.4.3, а).



Для станційного психрометра,

Потім, приготувавши з ниток дві петлі, однією затягують батист на верхній частині резервуара, а другу одягають на середину резервуара і поступово стягають її)резервуар кулеподібний) під її нижній кінець, не дуже сильно затягуючи (щоб не погіршити надходження води у верхню частину батисту).

Рис.4.3 Обв'язка резервуара змоченого термометра батистом при додатній (а) і від'ємній (б) температурі.

установленого в будці, психрометричний коефіцієнт дорівнює $A = 7{,}947 \cdot 10^{-4}$.

Потрібно слідкувати за тим, щоб батист завжди був чистим, м'яким і вологим. Забруднений батист погано всмоктує воду, тому необхідно змінювати його не рідше двох раз на місяць. На місцевостях з великою запиленістю повітря потрібно особливо уважно слідкувати за станом батисту і змінювати його у міру забруднення. В таких місцевостях, щоб по можливості запобігти забрудненню батисту, між строками спостережень кульку змоченого термометра, обв'язану батистом, можна тримати зануреною в стаканчик з водою. За 15 хв до вимірювань стаканчик установлюють в нормальне положення (на 2-3 см нижче резервуара термометра).

Вода, що застосовується для змочування, повинна бути дистильованою (присутність різних речовин, розчинених у воді, може впливати на швидкість випаровування).

Вимірювання за допомогою психрометра. Для забезпечення достатньої точності визначення відносної вологості за допомогою психрометра помилка в різниці відліків по термометрам повинна бути не більше 0,1°. Це потребує сторогого додержання при вимірюваннях певних правил. Батист термометра повинен бути добре змочений за 10 – 15 хв до відліку, для чого краще за все, знявши кришку, підняти стаканчик з водою і занурити в воду кульку термометра, потім знову поставити стаканчик на місце.

Відліки по термометрах повинні проводитися як швидше.

Вимірювання по психрометру при морозах. При температурах нижче 0ºС максимальна пружність водяної пари має дуже малі значення, внаслідок чого відносно невелика помилка у визначення температури по сухому і змоченому термометрам викликає велику помилку у визначенні вологості. Тому при визначенні вологості по психрометру при температурі нижче 0ºС необхідно точно виконувати правила експлуатації психрометра.

З появою перших заморозків батист змоченого термометру обрізується безпосередньо під кулькою (рис.4.3, б), а психрометричний стаканчик забирається з будки. За півгодини до спостереження стаканчик з дистильованою водою кімнатної температури приносять в психрометричну будку і занурюють шарик термометра, обгорнутий батистом, в воду. При цьому спостерігають за показаннями термометра. Необхідно дочекатися, щоб температура у змоченого термометра піднялася на 2 – 3 °С вище нуля. Це буде доказом, що вся стара льодяна корка на батисті розтанула. Після цього забирають стаканчик і знімають краплю води, що утворилася на кінці батисту, доторкнувшись до неї краєм стаканчика. Будку закривають і через 30 хв проводять відлік.

При температурі нижче 0ºС приходиться вирішувати питання про те, в якому стані знаходиться вода на батисті термометра – в твердому (лід) чи рідкому (переохолоджена вода). На око визначити це дуже важко. Між тим для обчислення вологості це необхідно знати, тому що максимальна пружність водяної пари при одній і тій же від'ємній температурі різна над переохолодженою водою і над льодом: тиск водяної пари над льодом менше, ніж над переохолодженою водою. Тому після проведення відліків потрібно установити, обмерзнув чи залишився м'яким батист на резервуарі термометру (поторкавши його), і врахувати це під час обчислень.

Відліки по психрометру при від'ємних температурах потрібно проводити з великою старанністю; потрібно слідкувати за тим, щоб під час відліків показання термометра були сталими, щоб на резервуарі сухого термометра не було льоду або паморозі, і щоб батист у змоченого термометру був або просочений переохолодженою водою, або покритий рівномірно тонкою скоринкою льоду. При додержуванні цих умов можна отримати надійні дані по психрометру для визначення вологості при температурах до -10°С.

В деяких випадках при від'ємних температурах (коли на батисті є лід) показання змоченого термометра бувають вище показань сухого термометру (іноді на 0,3°С). Це пояснюється тим, що водяна пара, яка знаходиться в повітрі, може не досягати стану насичення над поверхнею води (по відношенню до «води»), але в той же час пара вже пересичена по відношенню до «льоду», який знаходиться на батисті змоченого термометра. Тому водяна пара, що знаходиться в повітрі, почне конденсуватися на поверхні льоду змоченого термометру і при цьому виділяти тепло, яке і підвищить температуру (показання) змоченого термометра.

Так, наприклад, при температурі повітря -10°С і вологості $e = 2{,}8$ мбар відносна вологість по відношенню до «води» дорівнює 98 %, отже, водяна пара над водою ще не досягла стану насичення. А над льодом при температурі -10°С - $E = 2{,}60$ мбар, отже, при вологості повітря 2,8 мбар водяна пара буде перенасичувати простір над льодяною поверхнею.

<u>Обчислення вологості за показаннями станційного психрометра.</u> Обчислення парціального тиску водяної пари і відносної вологості за показаннями психрометра може бути зроблено за формулами (4.11) при $A = 0{,}0007947$

$$e = E' - 0{,}0007947\,(t - t')\,p \qquad (4.12)$$

для парціального тиску водяної пари і за формулою (4.3) для відносної вологості.

На метеорологічних станціях обчислення вологості проводиться за допомогою психрометричних таблиць.

Психрометричні таблиці містять сім таблиць; основною з них є таблиця 2, складена за формулою (4.12). Вона складається з окремих колонок, кожна для певного значення температури повітря t через 0,1°С.

Колонка складається з п'яти стовпчиків чисел. У першому наведені значення t' (можливі при даному t), в інших - обчислені для «води» або «льоду» значення t_d, e, f і d.

При обчисленні вологості за допомогою таблиць знаходять колонку, відповідну виміряному значенню температури повітря (виправлені показання сухого термометра психрометра), і в горизонтальній строчці по значенню t', яке відповідає виправленому показанню змоченого термометра, знаходять значення t_d, e, f і d. Через те, що таблиця розрахована для тиску 1000 мбар, то для випадків $p \neq 1000$ мбар знайдені значення виходять з похибками (якщо $p > 1000$ мбар, вони завищені, якщо $p < 1000$ мбар – занижені). Ці похибки виключають введенням поправок на тиск, які також обчислені і наведені в психрометричних таблицях 3а, 3б, 3в. Поправку до парціального тиску водяної пари Δe визначають по виміряному атмосферному тиску в залежності від значення $(t - t')$ і фази води на батисті за таблицями:

3а - при $0°C < (t - t') \leq 10°C$;

3б - при $10°C < (t - t') < 30°C$;

3в - якщо на батисті лід.

Знайдена поправка має додатний знак для $p > 1000$ мбар і від'ємний - для $p < 1000$ мбар. По виправленому значенню $e_{âèïð} = å_{1000} + \Delta å$ в табл.2 в тій же колонці для t знаходять значення e, яке найбільш близьке до $e_{âèïð}$, і з тієї строчки, де це значення знаходиться, вибирають виправлені значення t_d, f і d.

Психрометри аспіраційні. Фізичний принцип дії цих психрометрів такий же, як і станційного, але вони містять аспіраційний пристрій, який забезпечує протяжку повітря у резервуарів термометрів з постійною швидкістю 2 м/с. Це значною мірою виключає вплив швидкості вітру на показання психрометра. Випускаються психрометри двох типів: з аспіраторами з пружинним механізмом і з електродвигуном. Аспіратори взаємозамінювальні.

Аспіраційний психрометр містить два спеціальних термометри 3 і 9 (рис.4.4), які закріплені в металевій оправі, що складається з трубки 4 з трійником 6 і планочних захистів 5.

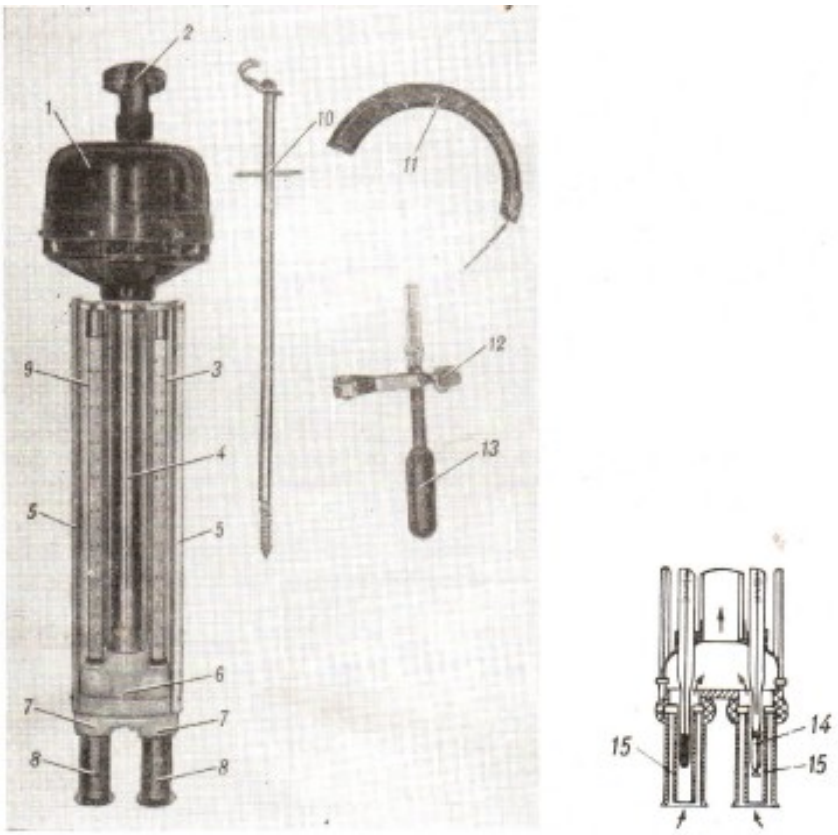


Рис.4.4 Психрометр аспіраційний: 1 – головка аспіратора; 2 - заводний ключ; 3 і 9 - змочений і сухий термометри; 4 – трубка; 5 - планочні захисти; 6 – трійник; 7 - пластмасові втулки; 8 - захисні трубки; 10 – гачок; 11 – вітровий захист; 12 – затискач; 13 - гумова груша; 14 – батист; 15 - внутрішні трубки.

До трійника 6 за допомогою пластмасових втулок 7 прикріплені по дві трубки 8 і 15, які є захистом резервуарів термометрів. Верхній кінець трубки 4 з'єднаний з головкою аспіратора 1, який просочує зовнішнє повітря через трубки 8 і 15 резервуарів термометрів. Внутрішні трубки 15 утримуються за допомогою трьох лапок, які спираються на краї зовнішніх трубок 8. Для зменшення теплопередачі між зовнішніми трубками 8 і внутрішніми 15 під лапки трубок 15 підкладаються тонкі кільця з теплоізоляційного матеріалу. Резервуар термометра 9 (правий) обгорнутий батистом, коротко обрізаний під резервуаром. Увесь прилад нікельований і полірований, завдяки чому його поверхня відбиває падаючі на нього сонячні промені, виключаючи надмірне нагрівання корпусу. Крім того, втулки 7 з теплоізоляційного матеріалу теплоізолюють трубки 8 і 15, які оточують резервуари термометрів, від корпусу приладу. Тому аспіраційний психрометр не потребує додаткового захисту.

Вимірювання по психрометру. Психрометр установлюють за допомогою гака-підвісу 10, який вгвинчують в стовпчик таким чином, щоб резервуари термометрів знаходились на висоті 2 м. Взимку психрометр установлюють за 30 хв, в влітку – за 15 хв до моменту відліку. При установці його орієнтують так, щоб прямі сонячні промені не попадали на термометри. Змочування термометру, обгорнутого батистом, взимку проводять за 30 хв, а влітку – за 4 хв до відліку.

Для змочування термометра користуються гумовою грушею 13 з піпеткою (рис.4.4), що прикладається до приладу. Її наповнюють дистильованою водою, потім легким натиском на грушу вводять воду в скляну піпетку до риски (якщо риска відсутня, то підводять воду не ближче ніж на один сантиметр від краю піпетки) і утримують її на цьому рівні за допомогою затискача 12. Потім вводять піпетку в праву трубку 15, де знаходиться резервуар термометра, обгорнутий батистом. Зачекавши 3 - 5 с, для того щоб батист просочився водою, відкривають затискач, опускають воду в грушу і виймають піпетку з трубки. При цьому потрібно виключити можливість натиску на грушу, тому що вода з груші може попасти по з'єднувальній трубці на сухий термометр, змочити стінки захисних трубок. Це призведе до додаткових похибок.

Взимку, як і в станційному психрометрі, термометр змочують для того, щоб кірка льоду на батисті розтанула.

Змочивши термометр, ключем 2 заводять механізм аспіратора, який в момент відліку повинен працювати повним ходом. Тому взимку за 4 хв до відліку потрібно зробити повторне заведення механізму.

При проведенні відліків спочатку потрібно швидко відрахувати десяті частки градуса по сухому і змоченому термометрам, записати результати і тільки після цього вже відраховувати і записати цілі градуси. При цьому необхідно строго слідкувати, щоб під час відліків вітер дув в напрямку від приладу до спостерігача.

Така обережність необхідна тому, що у аспіраційного психрометра відбувається засмоктування зовнішнього повітря і, якщо не вжити відповідних заходів, результати спостережень можуть бути перекручені.

Взимку при від'ємних температурах після відліку необхідно впевнитися в тому, що на батисті термометра знаходиться лід чи вода, як це було вказано для станційного психрометра.

При сильному вітрі швидкість аспірації порушується внаслідок утруднення викидів повітря з вентилятора. Щоб це виключити, на аспіратор 1 одягають з навітряної сторони (звідки дує вітер) особливий вітровий захист 11 (рис.4.4), що прикладається до психрометра. Захист потрібно обов'язково одягати на вентилятор вже при швидкостях вітру більше 3 м/с.

Аспіраційний психрометр є самим надійним приладом для визначення температури і вологості повітря при додатній температурі. Проте добрі результати з його допомогою виходять тільки при строгому додержуванні правил вимірювань. При проведенні вимірювань його не можна установлювати поблизу сильно нагрітих або значно зволожених поверхонь, тому що в психрометр може засмоктуватися повітря, яке стикається з ними, внаслідок чого результати вимірювань температури і вологості будуть недостовірні. Потрібно звертати особливу увагу на установку аспіраційного психрометра. Його краще за все установлювати на стовпі завжди з навітряної сторони, щоб повітря йшло від приладу до стовпа. З цією метою на чотирьох діаметрально розташованих сторонах стовпа заздалегідь роблять отвори, в які можна вгвинчувати гак-підвіс. При вимірюваннях гак-підвіс потрібно вгвинчувати в отвір з навітряної сторони стовпа. Спостерігач повинен знаходитися з підвітряної сторони, щоб не впливати на показання приладу.

При обчисленні вологості по аспіраційному психрометру швидкість обтікання повітря навколо приймачів термометрів приймається 2 м/с, тому необхідно, щоб швидкість аспірації у резервуарів термометрів в психрометрі завжди була близькою до 2 м/с. Повірка швидкості аспірації проводиться при випуску психрометра. Проте через забруднення або зношування деталей аспіратора швидкість аспірації з часом може змінюватися, а тому час від часу її треба перевіряти. На станціях це роблять непрямо, шляхом визначення швидкості обертання барабану із завідною пружиною, установленого в голові аспіраційного психрометра. З цією метою заводять пружину і очікують появи у віконці головки мітки – стрілку, яка нанесена на барабані пружини. Якщо стрілка довго не з'являється, то в момент її появи знову заводять пружину повністю. Коли вертикальна риска на барабані співпаде з вертикальною рискою на віконці, відмічають час. Після їх повторного співпадання визначають з точністю до однієї секунди час одного оберту барабана і порівнюють його з часом, вказаним в повірочному свідоцтві. Якщо тривалість обороту барабану пружини виявляється більшою на 5 сек, ніж вказано в повірочному свідоцтві, значить швидкість вентиляції недостатня - менше 2 м/с.

Догляд за приладом. Для правильної роботи аспіраційного психрометра необхідно слідкувати за чистотою батисту і своєчасною його зміною. Щоб перев'язати батист, потрібно, відгвинтивши від трубки головку аспіратора 1, витягти з оправи змочений термометр. Пов'язка батисту на термометр робиться так же, як і для станційного психрометру для зимового часу, тобто батист підрізується безпосередньо під резервуаром термометра.

З метою уберігання покриття оправи приладу від порчі рекомендується психрометр завжди тримати в футлярі, уникати дотику спітнілими руками, уберігати від запотівання, подряпин та ін.. Після спостережень прилад обов'язково протирається чистою ганчіркою. Заводити пружину аспіратора потрібно з обачністю в кінці заведення, щоб її не зірвати.

Обчислення вологості по аспіраційному психрометру. Швидкість аспірації у змоченого термометра в аспіраційному психрометрі відрізняється від швидкості обтікання повітря у змоченого термометра станційного психрометра. Психрометричний коефіцієнт цього психрометра $A = 0{,}00662$. Тому психрометрична формула для обчислення вологості по аспіраційному психрометру має вигляд

$$e = E' - 0{,}00662\, A\, p\,(t - t'). \qquad (4.13)$$

На практиці цією формулою користуються рідко, а обчислюють вологість за значеннями t і t', користуючись психрометричними таблицями. Обчислення по психрометричним таблицям в принципі не відрізняються від раніше наведених для станційного психрометру. Перша операція обчислень також робиться за психрометричною таблицею 2. При обчисленнях же поправки на тиск в даному випадку потрібно користуватися психрометричними таблицями:

4а - при $0^\circ C < (t - t') < 10^\circ C$;

4б - при $10^\circ C < (t - t') < 30^\circ C$;

4в - якщо на змоченому термометрі лід.

Ці таблиці побудовані цілковито аналогічно таблицям 3а, 3б, але обчислені спеціально для аспіраційного психрометра.

4.3 Гігрометри.

Волосяний гігрометр (МВ-1). Здатність знежиреного людського волосу змінювати свою довжину при зміні вологості навколишнього повітря була відома давно. Ще в 1783 році Соссюр вперше побудував гігрометр, застосувавши знежирений волос як чутливий елемент.

Подовження волосу ΔL при зміні відносної вологості від 0 до 100 % складає 2,5 % його довжини L і відбувається нелінійно:

Відносна вологість, %	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Подовження волосу, %	0	20,9	38,8	52,8	63,7	72,2	79,2	85,2	90,5	95,4	100

Для різних волос ця залежність варіює (особливо при високій вологості). Тому волоси для гігрометру відбираються (за здатністю), а потім зазнають спеціальної хімічної і механічної обробки. Трапляється, що з часом чутливість волосу змінюється, але закономірності цих змін невідомі. Очевидно, вони залежать від якості волосу, технології його обробки і умов зберігання та використання.

Волосяний гігрометр (рис.4.5) складається з рамки 8, на якій закріплена шкальна пластина 9, і волосу 10, верхнім кінцем закріпленого за допомогою клину і клею в отворі хвостовика 3 гвинта 7, а нижнім зв'язаного зі стрілкою 2.

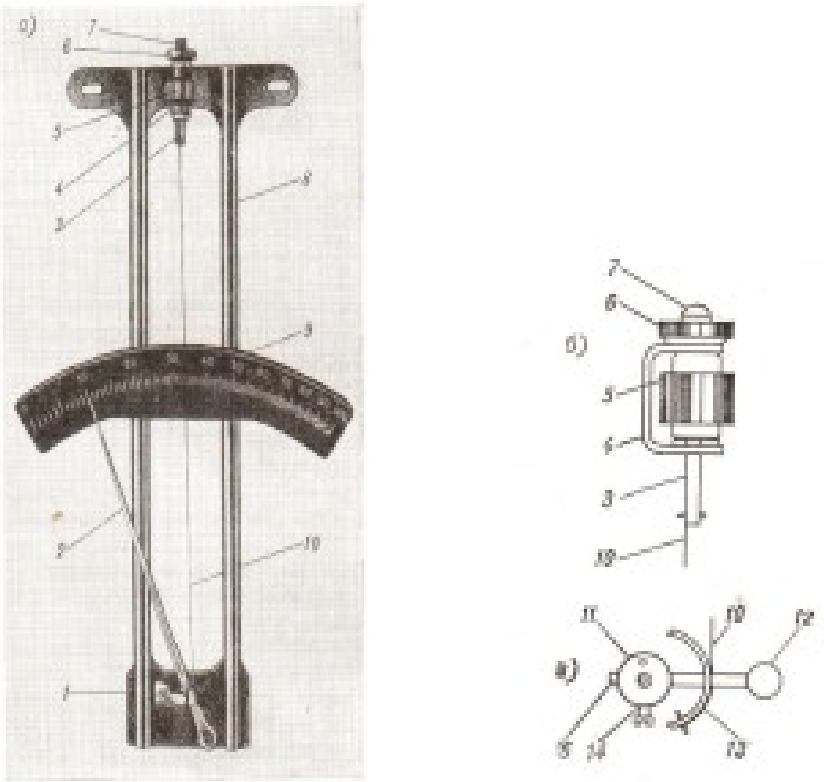


Рис.4.5 Гігрометр волосяний (а) і вузли кріплення волоса до рамки (б) і стрілки (в): 1 – рамка; 2 – стрілка; 3 - хвостовик; 4 – скоба; 5 – гайка; 6 - контргайка; 7 – гвинт; 8 – рамка; 9 – шкала; 10 – волос; 11 - вісь стрілки; 12 - тягарець; 13 - кулачок; 14 – гвинт; 15 – стрижень.

Гвинт 7 за допомогою гайки 5 може переміщуватися в скобі 4, закріпленій у верхній частині рамки 8. Нижній кінець волосу 10 за допомогою дерев'яного клину і клею (або шелака) закріплений в отворі кулачка 13. Кулачок закріплений на стержні 15, на кінці якого є тягарець 12. Стрижень 15 входить в отвір осі 11 (на якій сидить стрілка 2) і закріплюється гвинтом 14. Вісь 11 установлена в

кронштейні, закріпленому в нижній частині рамки 8. Таким чином, стрілка 2 під впливом волосу 10 і тягарця 12 може обертатися разом з віссю 11, переміщуючись вздовж шкали.

Пересуваючи стрижень 15 по осі 11, можна змінювати чутливість гігрометру, тому що при цьому змінюється довжина важелю, прикріпленого до кулачка 13, за який волос 10 переміщує стрілку 2. За допомогою гвинта-регулятора 14 можна установлювати стрілку на будь-якій потрібній поділці шкали. Для цього спочатку вивільнюють контргайку 6, потім, обертаючи гайку 5, переміщують вверх або вниз гвинт 14, а коли стрілка гігрометра установиться на потрібній поділці шкали, положення гвинта фіксують, закріплюючи контргайку 6. На шкалі нанесені нерівномірно 100 поділок, які збільшуються від 0 до 100. відліки за шкалою проводять з точністю до цілої поділки.

При збільшенні відносної вологості волос подовжується і стрілка під впливом тягарця 12 повертається вправо, при зменшенні волос скорочується і повертає стрілку вліво.

Волосяний гігрометр установлюється в психрометричній будці разом з психрометром і кріпиться на штативі між сухим і змоченим термометрами.

Відліки по волосяному гігрометру робляться в цілих поділках його шкали безпосередньо після відліків по психрометру (проміжок часу між цими відліками повинен бути мінімальним).

При кожному відліку по волосяному гігрометру необхідно перевірити, чи зазнає вісь стрілки великого тертя в цапфах. Для цієї мети після відліку відводять олівцем стрілку гігрометра трохи ліворуч і перевіряють, чи вертається вона в початкове положення. Кінець стрілки повинен переміщуватися вздовж шкали поблизу неї, але не зачіпаючи її.

Волосяний гігрометр підлягає повірці на придатність використання його як вимірювального приладу. Повірений гігрометр забезпечується повірочним свідоцтвом, в якому вказується тільки час повірки.

Волосяний гігрометр є відносним приладом, але в зимовий час (при температурі -10°С) він є основним приладом, по якому визначається вологість повітря. Щоб отримати дійсну відносну вологість, необхідно в показання гігрометра ввести поправки, які знаходять шляхом порівняння показань гігрометра з показаннями психрометра протягом 1 – 1,5 місяців до появи стійких морозів. Ці поправки для різних значень вологості знаходять графічним методом. Для цього на спеціальному бланку-графіку, на осі абсцис якого нанесена шкала, починаючи від 100 %, для значень вологості, визначених по гігрометру, а на осі ординат – шкала для значень відносної вологості, отриманих по психрометру, наносять точки, які відповідають значенням

відносної вологості, одночасно отриманим по психрометру і гігрометру (рис.4.6).

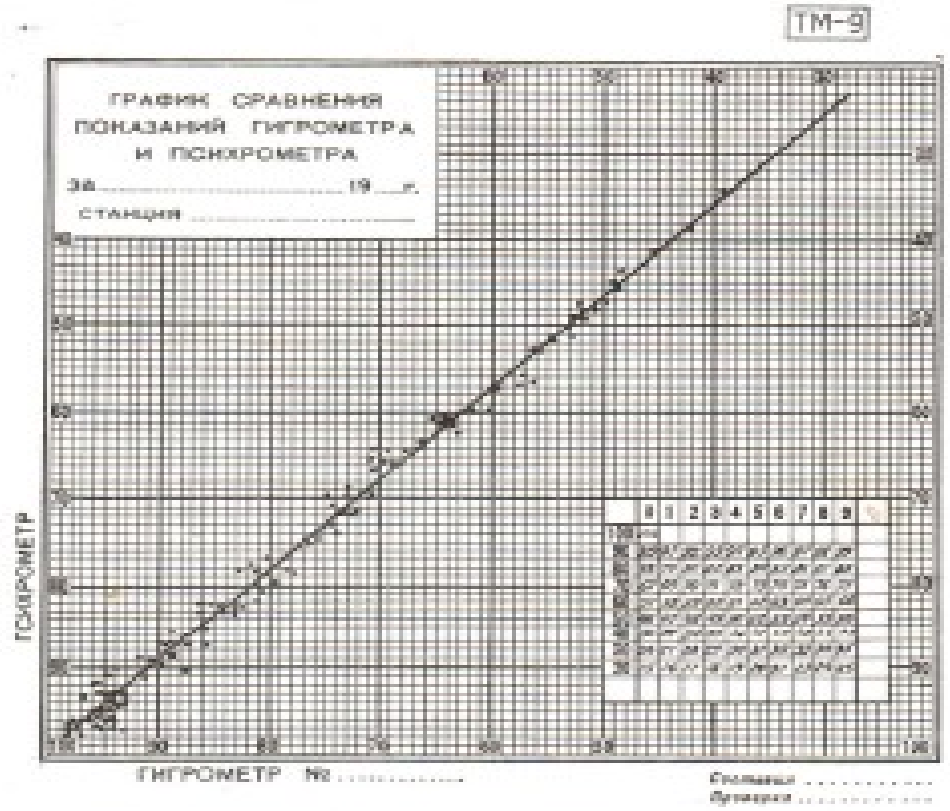


Рис.4.6 Графік для визначення поправок до показань гігрометра

Якщо точки в окремих випадках будуть співпадати, то вони відмічаються як звичайно в таких випадках, рисками по кількості співпадань. Якщо прилади справні і вимірювання проводилися правильно, точки розташовуються у вузькій смужці. На око визначають середню лінію, відносно якої точки розташовуються по обидві сторони рівномірно, і проводять її олівцем. Користуючись цим графіком, для будь-якого показання гігрометра можна знайти відповідне значення відносної вологості.

Більш зручно користуватися не графіком, а перевідною таблицею, складеною на його основі.

В таблиці в крайньому лівому стовпці цифри відповідають десяткам, а у верхній строчці – одиницям шкали гігрометра. Інші строки заповнюють значеннями відносної вологості, знятими з кривої графіка. Наприклад, відліку по гігрометру «43» відповідає значення вологості 39 %; відліку «83» - відповідає 82 %.

При забрудненні волосу його необхідно промити. Для цієї мети, не відкріплюючи кінець волосу, вивільнюють вісь зі стрілкою і занурюють

волос в дистильовану воду, налиту в плоску тарілку. Потримавши волос у воді 20 – 30 хв, м'яким пензликом декілька разів проводять по волосу, зануреному у воду. Після цього прилад збирають і, давши обсохнути волосу в звичайних кімнатних умовах, знову установлюють в будці. Чистку волоса можна проводити тільки влітку або восени, до визначення поправки гігрометра. Взимку чистити і регулювати гігрометр не можна, тому що при цьому можуть змінитися його поправки.

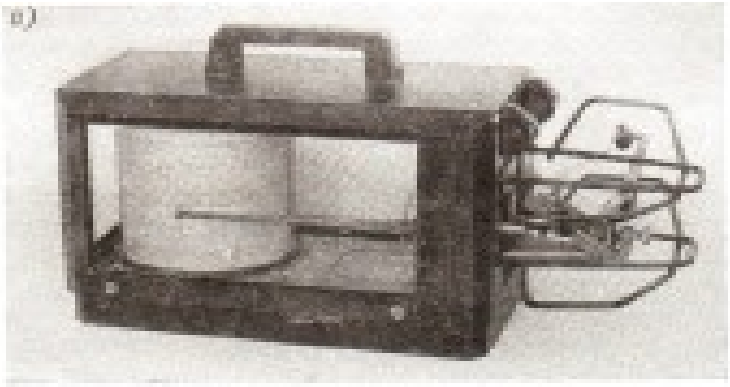
Взимку гігрометр інколи покривається паморозззю, льодом чи снігом. У цих випадках гігрометр доводиться знімати і переносити в тепле приміщення, щоб дати йому відтанути і висохнути (при цьому не можна розміщувати його поблизу високотемпературних джерел тепла). При переносці гігрометра, щоб не порвати волос і не розтягнути його, краще за все відвести стрілку вліво і притиснути її пальцем до шкали.

Не треба удаватися до механічної чистки волосу, його можна розтягнути або обірвати.

Реєстрація вологості повітря. Гігрографи. Для безперервної реєстрації змін вологості повітря служать гігрографи. Гігрографи виготовляються двох видів: волосяні (чутливий елемент – людський волос) і плівкові (чутливий елемент – органічна плівка). Вони випускаються добовими і тижневими. Корпуси гігрографів - пластмасові, такі є як у термографів.

На метеорологічних станціях застосовують волосяний гігрограф (рис.4.7). Основа корпусу служить для кріплення плати з механізмом гігрографа. Поза корпусои знаходиться кронштейн 7, який несе пучок волосся 6, захищений від пошкоджень закріпленим на задній стінці огородженням. Кришка має три прозорі стінки, які забезпечують можливість огляду ходу запису на стрічці барабану. На передній частині плато закріплена вісь 1 для барабану з часовим механізмом. Пучок волосся 6 з двох кінців закріплюється в цапфах кронштейна 7. Середина пучка надіта на гачок 9, який зв'язаний з важелем 10, закріпленим на одній осі з кулачком 5, що має на кінці тягарець 4. Під дією ваги кулачка 5 і тягарця 4 пучок волосся 6 знаходиться в натягнутому стані, а кулачок 5 притискається до кулачка 3. Кулачок 3, закріплений на одній осі з стрілкою 2 пера, завжди притиснений до кулачка 3 (тому що моменти сили тяжіння стрілки 2 з надягнутим пером трохи більші, ніж кулачка). При збільшенні відносної вологості пучок волосся подовжується, розвантажуючи важіль, з яким він з'єднаний гачком 9; при цьому кулачок 5 і тягарець 4 своєю вагою давлять на кулачок 3, переміщуючи його вниз, а стрілку 2 з пером – вверх по стрічці барабану. При зменшенні вологості волос скорочується, навантажує важіль 10 і піднімає кулачок 5, розвантажуючи кулачок 3, який під впливом ваги

важеля з пером піднімається догори до упору в кулачок. При цьому стрілка 2 з пером переміщується вниз по стрічці барабану.



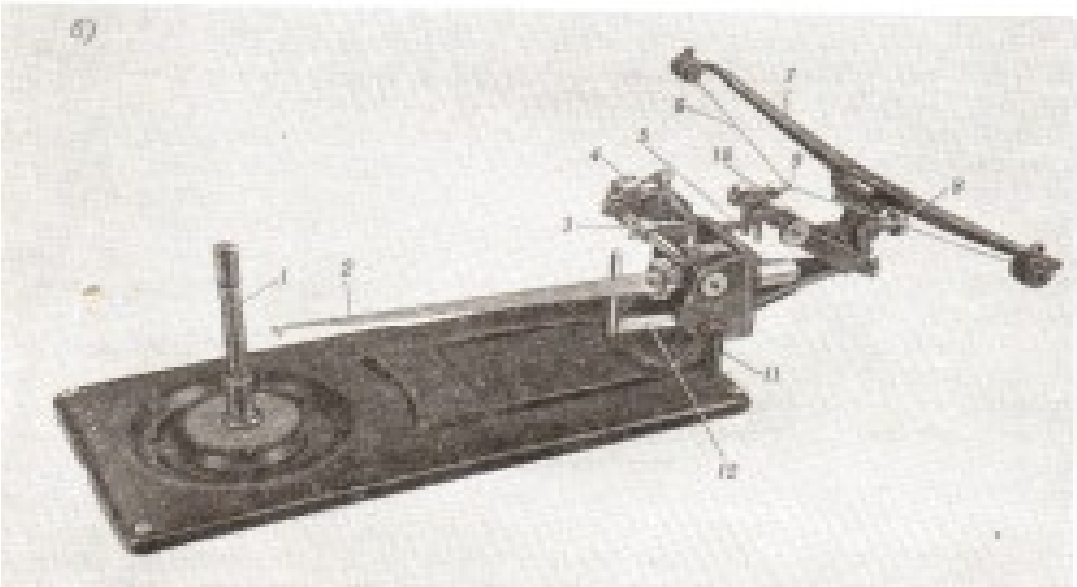


Рис.4.7 Гігрограф волосяний: а – зовнішній вигляд; б - механізм гігрографа; 1 – вісь барабану; 2 - стрілка з пером; 3 і 5 – кулачки; 4 – тягарець; 6 – пучок волосся; 7 – кронштейн; 8 – гвинт; 9 – гачок; 10 - важіль; 11 – рукоятка; 12 – аретир.

<u>Обробка записів на стрічці гігрографа</u> трохи відрізняється від обробки стрічок термографа. Розбивка запису на стрічці гігрографа на години робиться так, як і на стрічках термографа. Введення поправок в записі робиться за допомогою графіка, складеного на основі порівняльних даних значень відносної вологості в строкові години, які отримані по психрометру, і значень, знятих з стрічок гігрографа з точністю до 1 %. Графік будується так же, як і для поправок до гігрометра.

Для теплого періоду року обробка стрічок проводиться щомісячно за допомогою графіка, складеного за даними поточного місяця. В зимові місяці (при температурі нижче -10°С, коли по психрометру вологість не визначається) обробка стрічок робиться за допомогою сезонного графіку, складеного за даними двох найближчих місяців (осінніх або весняних) до наставання холодного періоду або після нього. Необхідно також використовувати окремі спостереження по психрометру, які можуть здійснюватися протягом холодного сезону, коли температура повітря підніметься вище -10°С. Порівняльні дані таких спостережень наносять на сезонний графік (ці точки наносять так, щоб вони відрізнялися від інших) і вони служать деяким контролем відповідності сезонної кривої для роботи гігрографа в даний зимовий місяць.

4.4 Інші методи і прилади для вимірювання вологості повітря.

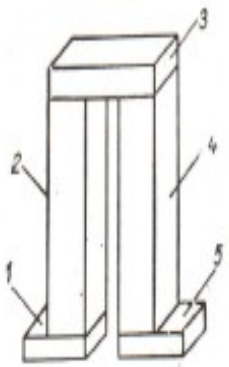
Гігрометр точки роси. Його дія основана на принципі встановлення динамічної рівноваги між конденсатом у вигляді крапель води або кристалів льоду, які сконденсувалися на поверхні твердого тіла, температура якого дорівнює точці роси навколишнього повітря, і парами води повітря. Практично цей метод здійснюється шляхом охолодження твердого тіла до точки роси навколишнього повітря і вимірювання при цьому температури тіла.

Як охолоджене тіло звичайно застосовують металеве дзеркальце, коефіцієнт відбиття якого різко зменшується при осадженні конденсату на його поверхні. Вимірювання температури дзеркальця в момент осадження конденсату здійснюється за допомогою мініатюрного терморезистора. Для охолодження дзеркальця доцільно застосовувати напівпровідникові термоелементи – напівпровідникові термохолодильники.

Напівпровідниковий термоелемент (рис.4.8) складається з двох стрижків з різних напівпровідникових матеріалів, до одного кінця яких припаяні металеві наконечники 1 і 5, а до другого – єднальна металева пластинка 3. При проходженні струму через термоелемент від джерела, підключеного до наконечників (в залежності від напрямку струму), пластинка 3 буде охолоджуватися (нагріватися), а наконечники 1 і 5 нагріватися (охолоджуватися). В основі цього явища лежить ефект Пелет'є.

При доброму сполученні напівпровідникових матеріалів, довжині стержнів 10 – 20 мм, доброму відводі тепла від наконечників і подачі живлення потужністю приблизно 1 Вт пластинка 3 охолоджується до 30°С нижче температури навколишнього повітря.

Рис.4.8 Напівпровідниковий охолоджуваний елемент: 1 і 5 - наконечники; 2 і 4 - напівпровідники; 3 – металева пластинка



Індикація осадження роси на поверхні дзеркальця робиться за інтенсивністю відбитого від дзеркала світлового променю візуально, за допомогою фотодіодів, фотоелементів та інших засобів. Визначивши за допомогою гігрометра точку роси та вимірявши температуру повітря, користуючись психрометричними таблицями, можна визначити всі величини, які характеризують вологість повітря.

На рис.4.9 наведений комплект гігрометра точки роси.

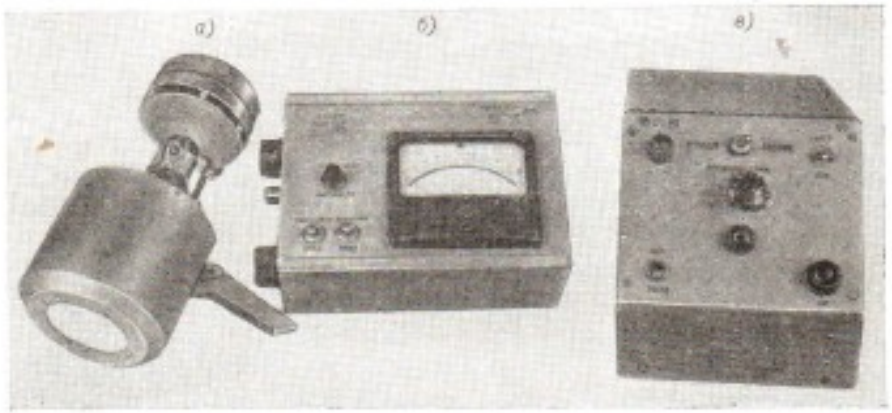


Рис.4.9 Гігрометр точки роси: а – датчик; б - вимірювальний пульт; в - блок живлення.

Цей гігрометр рекомендований як зразкова установка для повірки вимірювачів вологості повітря при температурі від -30 до +40°С і відносній вологості від 30 до 100 %, що відповідає зміні точки роси в межах від -40 до +40°С. Комплект установки складається з датчика, вимірювально-керуючого блоку, блоку живлення і типового вимірювального моста (на рис.4.9 міст не наведений). Установка забезпечує вимірювання точки роси з похибкою не більше 0,4°С. Всередині корпусу датчика знаходяться холодильник *В*, дзеркальце і термістор *Т*, припаяні до нього, і оптичний індикатор. Останній складається з накальної лампи *Н* з конденсатором і фотодіодом *V*. Промінь світла від лампи падає на поверхню дзеркальця і після відбиття на фотодіод.

Досліджуване повітря всмоктується у вхідний отвір повітропроводу датчика 1 аспіратором, розташованим в його верхній частині, очищується, проходячи крізь фільтр, обтікає поверхню дзеркала, потім гарячі спаї термоелемента холодильника і викидається аспіратором в навколишній простір.

В пульті керування і вимірювання змонтована вимірювальна схема (рис.4.10), що складається з вимірювального моста з плечима $R1$, $R2$, $R3$ (четвертим плечем є фотодіод V датчика) і вимірювального приладу – мікроамперметра (10 мА), розміщеного на лицьовій панелі. Там де знаходяться рукоятки тумблерів $S1$ (охолодження) і $S2$ (освітлення) для увімкнення живлення холодильника і накальної лампи H.

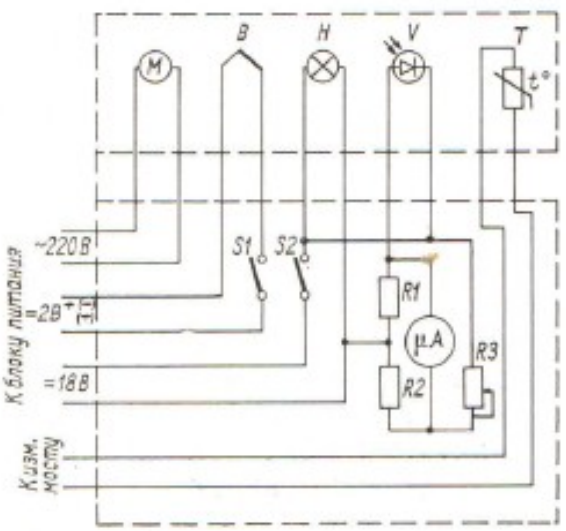


Рис.4.10 Електрична схема гігрометра точки роси.

Живлення установки здійснюється від мережі змінного струму через блок живлення, який дає напругу для живлення мотора аспіратора

M, лампи H, холодильника B, фотодіоду V. Вимірювальний міст для вимірювання опору термістора T живиться від гальванічного елемента. Вимірювання вологості починають при вимкненому живленні холодильника (тумблер $S1$ розімкнутий, на дзеркальці конденсату нема). Тумблером $S2$ вмикають живлення лампи H і моста ($R1$, $R2$, $R3$, V) і за допомогою рукоятки змінного опору $R3$ міст урівноважують (стрілка мікроамперметра знаходиться біля нуля шкали). Від блоку живлення на холодильник подається максимальна потужність і визначається максимальний струм розбалансу моста (показання мікроамперметра приблизно 7 мА). Потім, регулюючи потужність живлення холодильника, зменшують струм розбалансу моста в 3 – 4 рази (до 2 – 3 мА), добиваючись достатньо рівноважного стану між парами повітря і конденсатом на поверхні дзеркальця. При такому стані показання мікроамперметра повинні змінюватися не більше ніж на 0,5 поділки ($0{,}5 10^{-7}$ А) за хвилину при точці роси від -40 до 0°С і не більше ніж на 3 поділки за хвилину при її значенні від 0 до +40°С. Після досягнення цього за допомогою вимірювального моста вимірюють опір термістора T і по його градуйованій таблиці визначають значення точки роси. Бувають випадки, коли в процесі вимірювання конденсат на дзеркальці переходить з рідкого стану в твердий, при цьому показання мікроамперметра починають збільшуватися (розбаланс моста збільшується), тому що точка інею вище точки роси. У цих випадках вимірювання може бути закінчене двома шляхами.

Нагрівають дзеркало до повного випаровування конденсату, для чого вимикають живлення холодильника і для прискорення випаровування подають живлення зворотної полярності. Потім повторюють вимірювання, виконуючи операції в раніше вказаній послідовності, починаючи від подачі на холодильник живлення максимальної потужності. Якщо провести вимірювання таким способом з рідкою фазою через зовнішні умови не вдається, то вимірювання проводять другим способом.

Плавно зменшуючи потужність живлення холодильника, відновлюють значення струму розбалансу в межах 2 – 3 мА. За допомогою моста вимірюють значення точки інею. По отриманому значенню, користуючись психрометричними таблицями (розділ «лід»), знаходять потрібні характеристики вологості повітря.

Відомі конструкції гігрометрів точки роси з автоматичним регулюванням температури дзеркальця біля точки роси та її вимірюванням.

Електролітичний гігрометр з підігрівом. Він оснований на принципі вимірювання точки роси над насиченим соляним розчином, яка для даної солі знаходиться у відомій залежності від вологості

навколишнього повітря. Знаючи цю залежність, по виміряному значенню точки роси над розчином обчислюють вологість повітря. Найбільше розповсюдження мають гігрометри, в яких використовується хлористий літій. Чутливий елемент такого гігрометра (рис.4.11) складається з терморезистора 9 (з мідного або платинового дроту), на корпус якого одягнута панчоха 8 з скловолокна, просочена розчином солі, і двох електродів 6 і 7 з платинового дроту, намотаних зверху панчохи 8. Виводи 1 і 4 електродів закріплені в платі 5 (там же закріплені виводи 2 і 3 терморезистора). На електроди 6 і 7 подається напруга від джерела змінного струму (при постійному струмі відбувається поляризація електродів).

В процесі вимірювання вологості відбувається наступне. Хлористий літій поглинає водяну пару. Утворюється струмопровідний розчин, через який між електродами 6 і 7 протікає струм. Тепло, що виділяється при цьому, нагріває чутливий елемент, і вода з його поверхні починає випаровуватися.

Рис.4.11 Чутливий елемент електролітичного гігрометра з підігрівом: 1 і 4 – виводи електродів; 2 і 3 – виводи терморезисторів; 5 - плата; 6 і 7 – електроди; 8 - панчоха з скловолокна; 9 – терморезистор.

При постійній і достатній напрузі живлення, що підводиться до електродів 6 і 7, сила струму буде залежати від кількості води, яка надходить на елемент, тобто від вологості повітря. Чим більша вологість повітря, тим більша сила струму, що протікає через розчин, отже, тим більше нагрівається чутливий елемент. Нагрівання чутливого елемента буде продовжуватися до моменту установлення температура динамічної рівноваги, коли кількість поглинутої поверхнею елемента води з повітря буде дорівнювати кількості води, випареною нею. Температура чутливого елементу досягає значення, при якому тиск парів, які насичують простір над насиченим розчином хлористого літію, дорівнює парціальному тиску водяної пари атмосфери, тобто температура чутливого елемента дорівнює точці роси над насиченим розчином хлористого літію. Температура чутливого елемента в цьому режимі динамічної рівноваги достатньо стійка (постійна) і вимірюється за допомогою терморезистора 9, включеного до вимірювальної схеми.

У вологому повітрі живлення елемента змінним струмом не повинно перериватися. В протилежному випадку безперервно поглинаюча вода, розчиняючи хлористий літій, стікає разом з ним з чутливого елементу і

елемент руйнується. Якщо вимірювання проводяться періодично, безперервно живити елемент недоцільно, особливо враховуючи обмеженість ресурсу елемента. Тому його звичайно зберігають в камері з сухим газом, а впливу досліджуваного вологого повітря він зазнає тільки під час вимірювань.

Кулонометричні гігрометри. Вимірювання вологості повітря за допомогою гігрометрів цього типу основане на принципі вилучення за допомогою гігроскопічної речовини водяної пари з повітря і розкладання вилученої води шляхом електролізу. При цьому кількість електрики у відповідності із законом Фарадея є мірою кількості розкладеної води, отже, і кількості вилученої з повітря водяної пари. Поглинання і електроліз води можуть відбуватися одночасно. Якщо цей процес стаціонарний (кількості поглиненої і розкладеної води рівні), то мірою вологості може бути сила струму електролізу, а метод вимірювання вологості може бути названий амперометричним. Кількість електрики (у першому випадку) і сила струму (у другому) будуть залежати від кількості (об'єму) повітря, з якого вилучається водяна пара, тому при кулонометричному методі потрібно визначати об'єм повітря, яке пройшло через поглинач водяної пари за весь час вимірювання, а при амперметричному – за одиницю часу.

Вказані методи мають різновиди, і на їх основі різними авторами створено значну кількість гігрометрів. Один з них такий.

Дифузійний амперометричний гігрометр (рис.4.12). Його датчик складається з камери 1, в якій знаходиться чутливий елемент 2. Камера 1 сполучається з навколишнім повітрям, вологість якого вимірюється через отвір 4. Чутливий елемент 2 являє собою каркас з ізоляційного матеріалу (скло, фторопласт), на який по гвинтовій лінії навиті два тонких платинових дроти - електроди, які не торкаються один одного. В зазорі між електродами на поверхні ізолятора нанесена плівка фосфорного ангідриду (P_2O_5). Електроди приєднуються до вивідних контактів, які проходять через стінку камери 1, за допомогою прохідних герметичних ізоляторів 3.

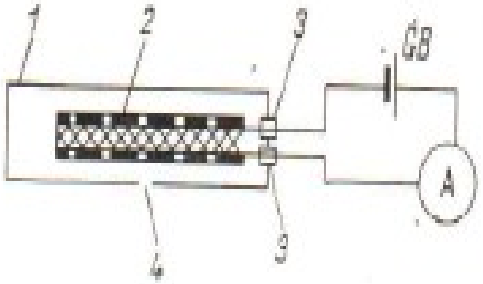


Рис.4.12 Схема дифузійного амперметричного гігрометра: 1 – камера; 2 - чутливий елемент; 3 - ізолятори з виводами; 4 – отвір.

За допомогою вивідних контактів датчик підключається до електричного ланцюга джерела живлення (батарея GB) і вимірювального приладу A.

Фосфорний ангідрид інтенсивно поглинає водяну пару повітря, утворюючи фосфорну кислоту: $P_2O_5 + 3\,H_2O = 2\,H_3PO_4$. Тиск водяної пари під фосфорним ангідридом порядку $2 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст., тому всередині камери концентрація молекул водяної пари значно менше, ніж в навколишньому повітрі. Завдяки цьому водяна пара через отвір дифундує в камеру. Одночасно з камери через цей же отвір рухається зустрічний потік молекул водню і кисню, який виник при дисипації фосфорної кислоти і електролізу води:

$$2\,H_3PO_4 \Leftrightarrow 2\,H^+ + 2\,H_2PO_4^-\,,$$

$$2\,H^+ + 2e^- \rightarrow 2H \rightarrow H_2\uparrow\,,$$

$$2\,H_2PO_4^- - 2\,e^- + H_2O \rightarrow 2\,H_3PO_4 + \frac{1}{2}\,O_2\uparrow\,.$$

Розміром отвору 7 задається швидкість дифузії молекул газу. При стаціонарному процесі кількість молекул води (пари) N, які проникають всередину камери датчика через отвір, визначається формулою

$$N = A\,\frac{S}{h}\,\frac{e}{p}\sqrt{T}\,, \qquad (4.14)$$

де A - сталий коефіцієнт;

S - площа отвору 7;

h - глибина отвору (товщина стінки);

e - парціальний тиск водяної пари, що міститься в повітрі;

p - тиск атмосфери;

T - абсолютна температура повітря.

Знаючи, що для електролізу кожної молекули необхідно пропустити в ланцюзі приладу два елементарних заряди e' (заряд електрона $e^- = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$), можна записати рівняння для сили струму електролізу (гігрометра) при сталому процесі:

$$i = 2e^-\,N$$

або, підставляючи значення N з рівності (4.14), отримаємо

$$i = \frac{2\,e^-\,A\,S}{h}\,\frac{e}{p}\sqrt{T}\,, \qquad (4.15)$$

звідки вологість (парціальний тиск водяної пари) дорівнює

$$e = C\,i\,\frac{p}{\sqrt{T}}\,, \qquad (4.16)$$

де $C = \frac{h}{2e^{-AS}}$ - сталий для даного гігрометра коефіцієнт.

Сорбційний електро-гігрометр (гігристор). Первинними перетворювачами цих гігрометрів є гігроскопічна плівка з органічного напівпровідника (поліакрілонітрія), електропровідність якої залежить від вологості навколишнього повітря. Конструктивно ці перетворювачі, названі гігристорами, складаються з скляної пластинки (20 – 30 мм), на поверхню якої нанесені срібні електроди, а зверху електродів – шар волого чутливого напівпровідника. Електроди мають гребінчатоподібну форму і нанесені так, що між ними залишається вузька зигзагоподібна смужка чистого скла. Кожний електрод з'єднаний з одним з двох контактів 3, якими гігристор підключається до вимірювальної схеми.

Опір гігристора змінюється у відповідності з виразом

$$R = R_0 e^{-bf + B/T},$$

де f - відносна вологість навколишнього повітря;

T - температура гігристора (середовища) в К;

R_0, b, B - сталі, що визначаються напівпровідниковим матеріалом і конструкцією гігристора;

e - основа натуральних логарифмів.

Опір гігристора змінюється приблизно від 10^9 до 10^{10} Ом при 30 % вологості і до 10^2 Ом при 100 % вологості. В середньому опір гігристора змінюється на 10 % при зміні вологості на 1 %. Його температурна чутливість на два порядки менша, проте при великому діапазоні зміни температури доводиться вводити відповідну поправку.

На рис.4.13 наведена польова агрофізична система (ПАС), призначена для вимірювання температури і відносної вологості повітря. Як первинний перетворювач відносної вологості в ній застосований гігристор. ПАС містить датчик, вимірювально-керуючий блок і блок живлення. В датчику розташовані платиновий терморезистор, чотири гігристори, аспіратор (з електродвигуном) для їх примусової вентиляції, напівпровідниковий елемент для охолодження або нагрівання гігристорів і деякі інші допоміжні елементи конструкції. Зовнішні конусоподібні кільця і кришка захищають датчик від впливу сонячної радіації.

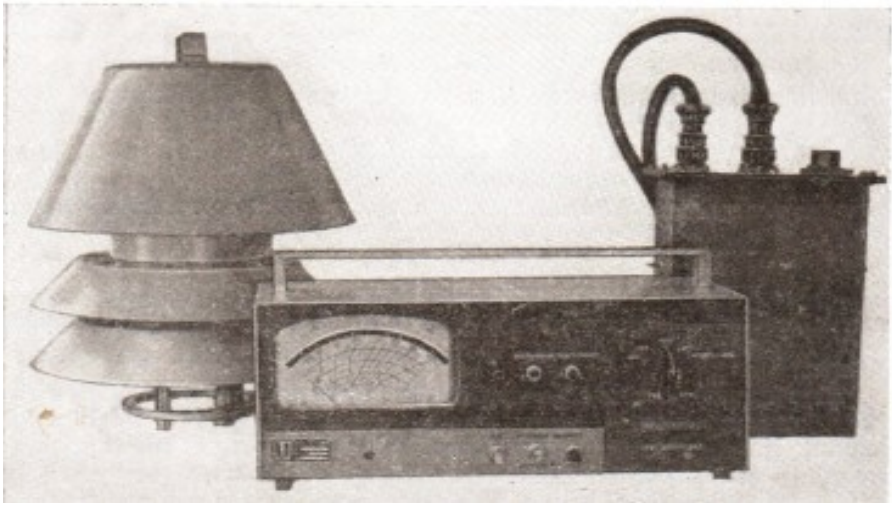


Рис.4.13 Польова агрофізична система (ПАС)

У вимірювально-керуючому блоці зосереджені елементи вимірювальних схем вологості (омметр для вимірювання опору гігристора) і температури (не рівноважний міст для вимірювання опору терморезистора) і елементи керування. На лицьовій панелі розташовані вимірювальний прилад, рукоятки тумблерів увімкнення живлення і вимірювальних ланцюгів. Вимірювальний прилад має шкали для двох діапазонів температури і шкалу вологості у вигляді сімейства пересічних кривих вологості і температури. Ця шкала дозволяє знімати показання вологості з врахуванням поправки на раніше виміряну температуру.

Блок живлення перетворює напругу змінного струму в стабілізовану напругу для живлення вимірювальних схем і в змінну напругу (10 Гц), яка необхідна для живлення гігристорів. Вимірювання температури проводиться так же, як і по іншим установкам з використанням нерівноважних мостових схем. Вимірювання вологості включає до себе підготовку гігристорів і перебудову схеми в залежності від вологості і температури повітря: прогрівання або охолодження гігристорів, паралельне або послідовне їх увімкнення та деякі інші операції. Вимірювальна схема ПАС дозволяє застосовувати гігристори в автоматичних метеорологічних станціях.

Незважаючи на деяку складність гігрометрів цього типу, вони є перспективними, їх експлуатаційні характеристики будуть поліпшуватися з удосконаленням технології виробництва гігристорів.

Гігрометр сорбційний оксидно-алюмінієвий. Принцип дії цього гігрометра оснований на залежності опору (електропровідності) плівки окису алюмінію, яка сорбує молекули водяної пари від відносної

вологості повітря. Вимірюючи опір плівки, можна визначити на основі існуючої залежності вологість повітря.

Найбільш важливим елементом гігрометра є первинний перетворювач, розроблений в ЦАО А.М. Бологуровим і М.Б.Фрідзоном для радіозонду. Детально розроблена технологія масового виробництва, простота конструкції, добрі технічні і метрологічні характеристики перетворювача забезпечують можливість його застосування для вимірювання вологості в приземному шарі повітря.

Цей перетворювач (рис.4.14) складається з алюмінієвого стержня 1 (діаметром 1 мм, довжиною 50 мм), покритого пористим шаром окису алюмінію 4 (товщиною 5 – 6 мкм) і зверху нього (шляхом розпилення у вакуумі) пористим шаром металу 3, який не перешкоджає сорбції водяної пари окисом алюмінію.

Стрижень і шар металу є електродами перетворювача. Металева втулка 2, що електрично зв'язана з електродом, є виводом (контактом) цього електроду. Нижня частина перетворювача має захисний наконечник 5. Первинний перетворювач розміщується в датчику, в якому йому забезпечується радіаційний захист, захист від опадів й аспірації. Вторинний перетворювач, який також знаходиться в датчику, забезпечує перетворення зміни опору первинного перетворювача в сигнал напруги 0 – 10 В постійного струму.

Рис.4.14 Датчик (розріз) сорбційного оксидно-алюмінієвого гігрометру: 1 – стрижень; 2 – втулка; 3 – шар металу; 4 – шар окису алюмінію; 5 – наконечник.

Через те, що первинний перетворювач не допускає живлення постійним струмом (через поляризацію електродів), то вторинний перетворювач забезпечує живлення його змінним струмом (7 кГц) і перетворює отриманий сигнал в напругу постійного струму. Для цього у вторинному перетворювачі є генератор і діодний міст. Отримана від вторинного перетворювача напруга вимірюється вимірювальним пристроєм, що містить блок живлення.

Гігрометри з розробленими оксидно-алюмінієвими первинними перетворювачами можуть забезпечити вимірювання в діапазоні від 0 – 100 % вологості при температурі від -70 до +50°С. Сталі часу

перетворювача не більше 10 сек (до температури -20°С), основна наведена квадратична похибка 2 %, систематична температурна похибка 0,4 % на 1°С. Недоліком оксидно-алюмінієвого перетворювача є відносно швидке зміщення його градуйованої кривої (характеристики), до 0,8 % в місяць, що потребує частої повторної повірки (через три місяці). Остання обставина створює утруднення у використанні цих перетворювачів для наземних установок тривалої дії. Проте застосування існуючих засобів повірки подібних перетворювачів дозволяє долати ці утруднення.

Контрольні запитання:

1. Які бувають види вологості ?
2. Метод є основним при вимірюванні вологості повітря ?
3. Який коефіцієнт називається психрометричним ?
4. Від чого залежить психрометричний коефіцієнт ?
5. Що являє собою станційний психрометр ?
6. Як вимірюється вологість повітря при низьких температурах ?
7. В чому полягає принцип дії аспіраційного психрометра ?
8. Як обчислюється вологість по аспіраційному психрометру ?
9. Як вимірюється вологість за допомогою волосяного гігрометра ?
10. Для чого призначений гігрограф ?
11. Як проводиться обробка стрічок ?
12. На чому оснований принцип дії гігрометра точки роси ?
13. На чому оснований принцип дії електролітичного гігрометра з підігрівом ?
14. В чому полягає суть амперметричного методу ?
15. Який принцип дії дифузійного амперметричного гігрометра ?
16. Що є первинним перетворювачем сорбційного електро-гігрометра або гігристора ?
17. На чому оснований принцип дії сорбційного оксидно-алюмінієвого гігрометра ?

5. ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІТРУ

5.1 Загальні відомості.

Вітром називають горизонтальне переміщення повітря відносно земної поверхні. ***Швидкістю вітру*** називають горизонтальну складову швидкості переміщення повітря відносно нерухомої точки земної поверхні. Швидкість вітру є вектором і характеризується числовим значенням (модулем) і напрямком. В метеорології, проте, швидкістю вітру прийнято називати числове значення швидкості. На метеорологічних станціях швидкість і напрямок вітру вимірюють окремо двома різними (незалежно діючими) приладами. Швидкість вітру вимірюється в метрах за секунду (м/с), іноді в кілометрах за годину (км/год).

Напрямком вітру прийнято вважати азимут точки, звідки дує вітер. Напрямок вітру вимірюють в кутових градусах або румбах горизонта.

Швидкість і напрямок вітру змінюються безперервно. Характер мінливості швидкості і напрямку вітру залежить від метеорологічних умов і характеру місцевості. Миттєві значення швидкості і напрямку є нестійкими характеристиками вітру. Вони безперервно коливаються біля середніх значень, стійких протягом досить великого відрізку часу.

Швидкість вітру прийнято осереднювати в десятихвилинному інтервалі часу (інколи в двохвилинному). Для напрямку вітру достатній інтервал осереднення, що дорівнює 2 хвилинам (1 – 3 хв). Крім цього, визначається мінливість швидкості і напрямку вітру в часі (поривчастість вітру). Поривчатість оцінюється якісно за ступенем мінливості миттєвих значень швидкості і напрямку вітру. ***Миттєвою швидкістю*** прийнято вважати швидкість, осереднену внаслідок інерційності вимірювального приладу за інтервал 2 – 5 сек.

Поривчастість вітру характеризується також максимальними значеннями миттєвої швидкості.

Швидкість і напрямок вітру на метеорологічних станціях вимірюють на висоті 10 – 12 м від поверхні землі. Напрямок вітру в градусах прийнято відраховувати починаючи з півночі за годинниковою стрілкою.

Напрямок вітру в румбах горизонта визначають по 16-ти румбовій системі. Для позначення румбів використовуються початкові літери назви сторін світу: північ (Пн), південь (Пд), схід (С) і захід (З). Іноді користуються латинськими літерами N, S, W, E . При позначенні проміжних румбів називають обидва румби, між якими знаходиться даний напрямок вітру, причому першим за порядком називають основний румб. Основних румбів два: північ (Пн) і південь (Пд). Таким чином, якщо напрямок вітру припадає між півднем і заходом, то він позначається ПдЗ і називається південно-західним. Якщо напрямок вітру

припадає посередині між ПдЗ і Пд, то його позначають ПдПдЗ, в першу чергу вказуючи основний румб Пд, а потім похідний – ПдЗ.

Прилади, які служать для вимірювання швидкості вітру, називаються ***анемометрами***.

Прилади, що вимірюють швидкість і напрямок вітру, називаються ***анеморумбометрами***, деякі з них - ***вітромірами***.

Прилади, що реєструють швидкість вітру, називають ***анемографами***, а прилади, що реєструють швидкість і напрямок – ***анеморумбографами*** або ***самописами вітру***.

5.2 Первинні перетворювачі напрямку вітру.

Флюгерка. Частіше за все для визначення напрямку вітру користуються флюгерками. Вони являють собою жорстку асиметричну (відносно вертикальної осі) систему з пластин і противаги, яка вільно обертається навколо вертикальної осі. Під впливом вітру флюгерка установлюється в площині вітру противагою назустріч вітру (вказуючи, звідки вітер дує). Форма флюгерок, які застосовуються дуже різноманітна (рис.5.1).

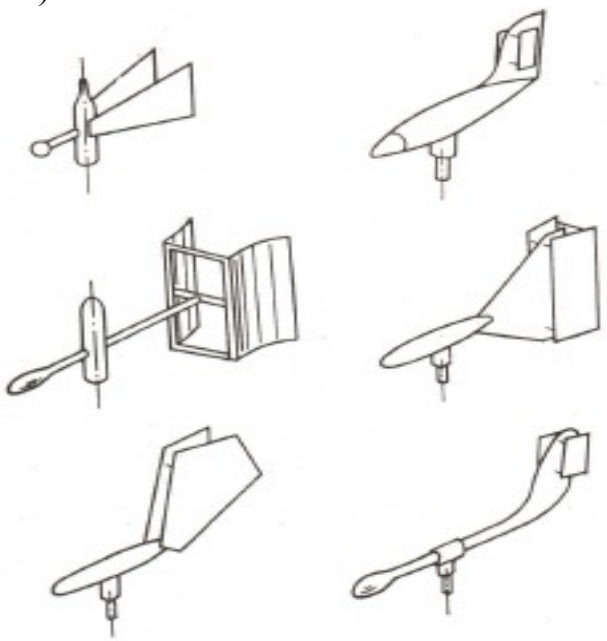
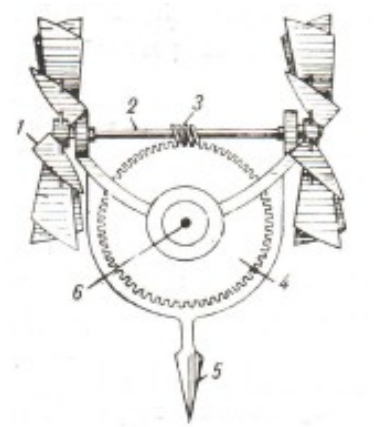


Рис.5.1 Флюгерки.

Більшість флюгерок має дві лопаті (пластини), розташовані під кутом одна до одної, що створює їм стійкість у повітряному потоці і підвищує їх чутливість. Остання обставина особливо важлива при невеликих швидкостях вітру.

Колесо Салейрона. В деяких випадках для визначення напрямку вітру застосовується колесо Салейрона. Його будова (схематично) наведена на рис.5.2. На кінцях загальної горизонтальної осі 2 жорстко закріплені два вітрових колеса 1, які під впливом вітру обертаються разом з віссю. На осі є черв'як 3, зчіпний з нерухомо закріпленим черв'ячним колесом 4.



Якщо площина обертання повітряних гвинтів не співпадає з напрямком вітру, тобто напрямок вітру не перпендикулярний осі 2, то повітряні гвинти починають обертатися і черв'як 3, зчіплюючись з нерухомим колесом 4, обкатується навколо нього, обертає вісь 2 і вузол з повітряними гвинтами навколо вертикальної осі 6 таким чином, що вони виходять з під впливу вітру, установлюючись в площині, яка співпадає з напрямком вітру.

Рис.5.2 Колесо Салейрона: 1 - вітрове колесо; 2 – горизонтальна вісь; 3 – черв'як; 4 - черв'ячне колесо; 5 – стрілка; 6 - вертикальна вісь.

При цьому стрілка 5, що зв'язана з віссю 2, вказує напрямок вітру, близький до напрямку вектора швидкості, тому що на колесо Салейрона впливає не тільки напрямок, але і швидкість вітру. Крім цього, положення колеса Салейрона при мінливому напрямку вітру залежить від тривалості впливу вектора швидкості. Внаслідок цього його показання мало змінюються при короткочасових змінах напрямку і відбивають напрямок, близький до середнього напрямку вектора швидкості вітру.

Вітровий конус. Для візуального визначення напрямку вітру в деяких випадках користуються так званим вітровим конусом (рис.5.3).

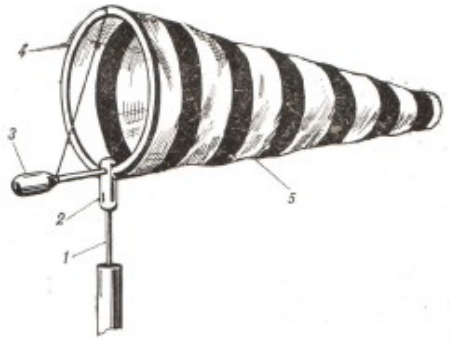


Рис.5.3 Вітровий конус: 1 – вертикальна вісь; 2 – опорна втулка; 3 - противага; 4 – металеве кільце; 5 - рукав.

Це матер'яний конічний рукав 5, своїм широким кінцем натягнутий на металеве кільце 4, яке

може вільно обертатися разом із зчепленою з ним втулкою навколо вертикальної осі 1. Рукав 5 збалансований противагою 3. Під впливом вітру, надуваючись вітром, конус розташовується так, що широка його частина завжди звернена назустріч вітру.

Такий конус досить великих розмірів (довжиною 1 – 1,5 м), пофарбований чорно-білими смугами, видний здалеку на будь-якому фоні і тому часто використовується на невеликих аеродромах, для того щоб пілоти самі при посадці могли визначити напрямок вітру біля поверхні ВПС.

5.3 Первинні перетворювачі швидкості вітру.

Принципи дії існуючих перетворювачів швидкості повітряного потоку досить різноманітні. Вони основані на залежностях від швидкості потоку механічних переміщень тіл різної форми, інтенсивності теплообміну тіл з повітрям, швидкості переносу заряджених частинок, характеру розповсюдження звукових хвиль та інших фізичних принципах.

Широко застосовані прилади для вимірювання швидкості вітру основані на принципі перетворення швидкості вітру на механічне переміщення чутливого елемента. Розповсюджені три види цих елементів: чашкові вертушки, вільно підвішена пластина і повітряний гвинт.

Чашкова вертушка (рис.5.4) складається з трьох або чотирьох чашок (порожніх на півсфер або напівеліпсоїдів обертання), прикріплених до центральної втулки за допомогою стрижків, які радіально розташовані в одній площині, що перпендикулярна до осі втулки.

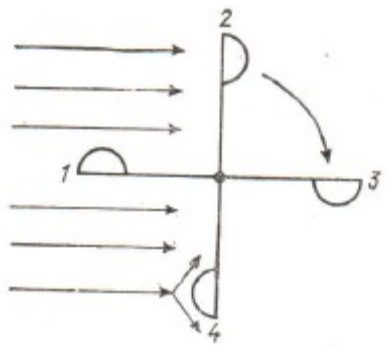


Рис.5.4 Чашкова вертушка в потоці

Чашки закріплені на однаковій відстані від центру таким чином, що при їх обертанні вони направлені опуклостями в одну сторону. Втулка

установлюється на вертикальну вісь, разом з якою вона може вільно обертатися.

На увігнуту поверхню вітер тисне сильніше, ніж на добре обтічну опуклу поверхню напівсферичних чашок. Сила тиску вітру на чашку 2 (напрямок вітру наведений стрілками) намагається повернути всю вертушку навколо осі за годинниковою стрілкою; вона більше сили тиску на опуклу поверхню чашки 4, яка намагається обернути вертушку проти годинникової стрілки. В результаті цього вертушка буде обертатися за годинниковою стрілкою.

На чашки 3 і 1 вітер діє однаково і не створює моменту для обертання вертушки. Але як тільки вся система обернеться на деякий кут за годинниковою стрілкою, чашка 1 виявиться розташованою до вітру увігнутою стороною, а чашка 3 - опуклою. Після цього тиск вітру на чашку 1 буде більшим, ніж на чашку 3, що створює обертальний момент. Спочатку чашкова вертушка рухається з прискоренням, але із збільшенням швидкості обертання чашок тиск вітру на опуклі сторони зростає, а на увігнуті – убуває.

При деякій швидкості обертання чашок настає рівновага і швидкість обертання стає постійною. Установлено, що при цій швидкості обертання лінійна швидкість руху центра чашок U приблизно в три рази менша швидкості вітру V, тобто $U = \frac{V}{3}$. Через те, що $U = 2\pi r n$, де r - радіус обертання центру чашки, n - кількість оборотів за секунду, то $n = \frac{V}{6\pi r}$. Таким чином, швидкість вітру перетворюється в частоту обертання або кутову швидкість вертушки $(\omega = 2\pi n)$. Чашкова вертушка, розташована в горизонтальній площині з вертикальною віссю обертання, не потребує орієнтації відносно напрямку вітру.

Як первинний перетворювач (чутливого елемента) в приладах для вимірювання швидкості вітру застосовуються також ***повітряні гвинти*** з трьома і більшою кількістю лопатей різної форми і розмірів - металеві збірні і литі пластмасові (рис.5.5). Повітряний гвинт потребує орієнтації за напрямком вітру, щоб вісь його обертання співпадала з напрямком вітру (площина обертання гвинта перпендикулярна до напрямку вітру). Тому гвинт застосовують в сполученні з флюгерком.

Під впливом повітряного потоку, який набігає на гвинт вздовж його осі з швидкістю V, гвинт починає обертатися і досягає при сталому режимі деякої кутової швидкості ω. Дія потоку на всі лопаті гвинта однакова.

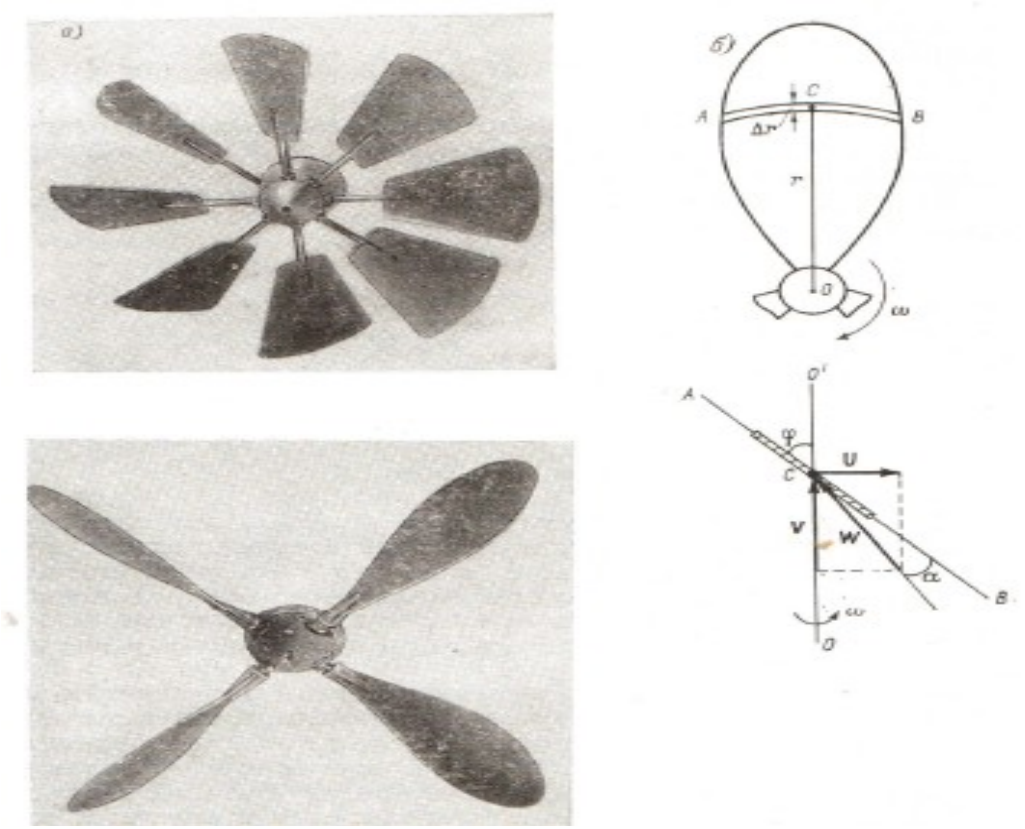


Рис.5.5 Повітряні гвинти (а) і вплив потоку повітря на лопать гвинта (б).

Розглянемо зв'язок швидкості потоку зі швидкістю однієї з його лопатей (рис.5.5, б).

Кожна елементарна ділянка лопаті шириною Δr, що знаходиться на відстані r від центру O гвинта, обертається з лінійною швидкістю V, а відносно повітряного потоку – зі швидкістю W, яка є сумою векторів V та U і направленою під кутом α.

З трикутника, утвореного векторами V, U і W, випливає, що

$$U = V\, tg\left(\varphi - \alpha\right),$$

де φ - кут розвороту ділянки лопаті на відстані r від центру; α - кут між площиною лопаті і W (кут атаки).

Для ненавантажених гвинтів (в анемометрах вони не навантажені) кут α не перевищує 4°. Тому статична характеристика залежності кутової швидкості обертання $\left(\omega = \frac{V}{r}\right)$ повітряного гвинта анемометра від швидкості вітру V наближено має вигляд

$$\omega = \frac{V}{r}\, tg\, \varphi \ .$$

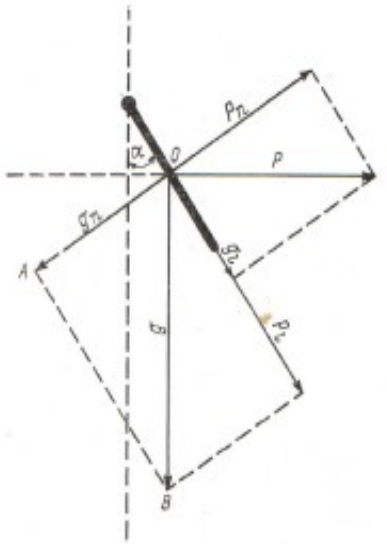
Для того, щоб всі ділянки лопаті використовувалися ефективно, умова, визначена цією рівністю, повинна виконуватися по всій довжині лопаті, тобто

$$tg\,\frac{\varphi}{r} = const \quad .$$

При цьому φ вздовж лопаті змінюється так, що крок лопаті залишається постійним. В окремих випадках застосовують багатолопаті гвинти з короткими лопатями, закріпленими на стержнях під постійним кутом φ.

Повітряні гвинти мають перевагу в порівнянні з чашковими вертушками при вимірюванні великих швидкостей вітру, особливо в районах з частими випадками утворення ожеледі. Вимірювання малих швидкостей вітру змінного напрямку краще проводити за допомогою приладів з чашковою вертушкою.

Як первинний перетворювач застосовується також ***вільно хитна пластина***, яка верхнім краєм прикріплена до горизонтальної осі, і спокійна своїми кінцями на опорах (підшипниках). При відсутності вітру така пластина під впливом сили тяжіння (маси пластини) займе строго вертикальне положення, а при наявності вітру від впливом двох сил: сили тяжіння g і сили тиску вітру P, відхиляється від вертикального положення на деякий кут α (рис.5.6).



Кут α визначається перпендикулярно діючими (відносно площини пластини) складовими цих сил g_n і P_n. Складові, діючі вздовж площини пластини, компенсуються реакцією осі, до якої пластина підвішена, і на її положення не впливають. При збільшенні α ефективно діюча площа пластини (її проекція на площину, перпендикулярну напрямку вітру), яка сприймає повітряний потік, зменшується, внаслідок чого зменшується сила P і її складова P_n.

Рис.5.6 Дія вітру на пластинку.

Сила ж g_n із збільшенням α росте. При зменшенні α зростає P_n, а g_n - убуває. Під впливом цих протилежно направлених сил пластина установлюється під кутом α, при якому

$$g_n = P_n . \qquad (5.1)$$

З експериментальної аеродинаміки відомо:

$$P_n = c\rho S V^2 \cos^2\alpha,$$

де c - коефіцієнт (для прямокутної пластини $c = 0{,}64$);

ρ - густина повітря;

S - площа пластини;

V - швидкість вітру;

α - кут між напрямком вітру і нормаллю до пластини (він дорівнює куту відхилення пластини від вертикального положення).

З трикутника ABO (рис.5.6) $g_n = g\sin\alpha$; підставляючи значення P_n і g_n в (5.1), отримаємо $g\sin\alpha = c\rho S V^2 \cos^2\alpha$, звідки

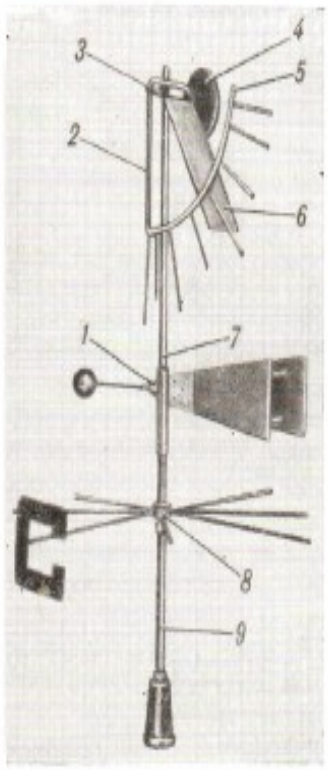
$$V = A\sqrt{\frac{tg\,\alpha}{\cos\alpha}}, \qquad (5.2)$$

де $A = \sqrt{\frac{g}{c\rho S}}$.

З виразу (5.5) видно, що швидкість вітру однозначно визначається кутом відхилення пластини (залежність кута від швидкості не лінійна). Пластина повинна установлюватися перпендикулярно напрямку вітру і тому у вимірювальних приладах застосовується в сполученні з флюгеркою.

5.4. Прилади місцевої дії для вимірювання параметрів вітру.

Флюгер станційний (флюгер Вільда). Прилад є простим за будовою і досить широко розповсюдженим приладом для вимірювання швидкості і напрямку вітру (рис.5.7). Він дозволяє також оцінювати ступінь поривчастості і максимальні значення швидкості вітру. Чутливим елементом напрямку вітру в цьому приладі є флюгерка, чутливим елементом швидкості – прямокутна, вертикально розташована пластинка, прикріплена верхнім кінцем до горизонтальної, вільно обертальної осі. Флюгер складається з двох вузлів. Один, що нерухомо закріплений на щоглі, зібраний на вертикальній осі 9. На нижньому кінці осі для кріплення її до щогли є фланець (або гвинт, патрубок і т.п.), трохи вище фланця закріплена муфта 8 з вісьма радіально розташованими (перпендикулярно до осі) штифтами, які вказують напрямок сторін світу.



На кінці одного з штифтів закріплена буква С (північ). Верхній кінець осі 9 загострений. Він служить опорою для другого вузла. Другий, рухливий вузол, що встановлюється за напрямком вітру, зібраний на трубці 7. Всередині трубки у верхньому закритому кінці є підп'ятник. Трубка вільно одягається на вісь 9, не торкаючись її поверхні, спирається тільки на її верхній загострений кінець. Таким чином, весь вузол, зібраний на трубці 7, якщо він добре збалансований, може вільно обертатися навколо вертикальної осі.

Рис.5.7 Станційний флюгер: 1 – флюгерка; 2 – рамка; 3 – горизонтальна вісь; 4 – противага; 5 – дуга з штифтами; 6 – дошка; 7 – трубка; 8 – муфта; 9 – вертикальна вісь.

На трубці закріплені флюгерка 1 з противагою і перпендикулярно їй несуча рамка 2. В опорах рамки установлена горизонтальна вісь 3, до якої прикріплена дошка (пластина) 6. Дошка може, обертатися разом з віссю, відхилятися від вертикального положення в сторону хвоста флюгерки (рух в зворотну сторону обмежено трубкою 7). На рамці 2 є дуга 5 з вісьма штифтами, які радіально направлені до осі 3, і противага 4, який балансує рухливий вузол. Дуга з штифтами, яким привласнені номери від 0 до 7, служить шкалою швидкості. Під впливом вітру флюгерка установлюється за напрямком вітру. При цьому увесь рухливий вузол обертається так, що дошка 6 виявляється перпендикулярною до напрямку вітру і відхиляється на той чи інший кут в залежності від швидкості вітру, установлюючись біля відповідного штифта. Напрямок вітру визначається по положенню противаги флюгерки 1 відносно горизонтальних штифтів (напрямок сторін світу).Швидкість вітру визначається по положенню дошки відносно штифтів дуги 5 (вказівників швидкості) і переводиться в метри за секунду за допомогою табл.5.1.

Таблиця 5.1 Градуйована таблиця флюгерів з легкою (Л) і важкою (В) дошкою

№ штифта	Швидкість, м/с		№ штифта	Швидкість, м/с		№ штифта	Швидкість, м/с	
	Л	Т		Л	Т		Л	Т
0	0	0	2 – 3	5	10	5	10	20
0 – 1	1	1	3	6	12	5 – 6	12	24
1	2	4	3 – 4	7	14	6	14	28
1 – 2	3	6	4	8	16	6 – 7	17	34
2	4	8	4 – 5	9	18	8	20	40

Примітка. 0 -1 - дошка коливається між штифтами 0 і 1; 1 – коливається біля штифта 1.

Флюгери випускаються з легкою (200 г) і важкою (800 г) дошкою. З табл.5.1 видно, що флюгер з легкою дошкою забезпечує вимірювання швидкості вітру до 20 м/с, а з важкою - до 40 м/с.

Установка флюгера на метеорологічній станції в значній мірі визначає якість отриманих з його допомогою даних. Це відноситься і до інших стаціонарних вимірювачів швидкості і напрямку вітру. Неправильна орієнтація приладу призводить до систематичної помилки у визначенні напрямку вітру, нахил приладу - до систематичних помилок з швидкості, які залежать від напрямку і т.д. Тому установка флюгера повинна проводитися строго за правилами незважаючи на те, що окремі з них здаються елементарними і не істотними. Викладені тут правила установки флюгера в основному застосовні і для датчиків станційних анеморумбометрів і анеморумбографів, і датчиків вітру наземних дистанційних і автоматичних станцій. Флюгер установлюють на такому рівні, щоб повітряний потік не екранувався навколишніми предметами і не викривлявся ними. На метеорологічній площадці його установлюють на щоглі в 10 – 12 м над поверхнею землі.

Шкалу напрямку вітру потрібно орієнтувати по сторонах світу. Для цього штифт з буквою С установлюють на астрономічну північ, яку знаходять по полуденній лінії або за допомогою магнітного компасу.

Полуденну лінію знаходять за тінню від осі флюгера в дійсний полудень і відмічають її декількома кілочками, установленими вздовж тіні, або шнуром, натягнутим на двох кілочках. Для визначення лінії меридіану за допомогою компаса потрібно знати кут магнітного нахилу δ в районі даної метеорологічної станції. Ставши з південної сторони флюгера в 18 – 20 м від нього і переміщуючись в ту чи іншу сторону по колу (приблизно), в центрі якого знаходиться щогла, визначають положення, при якому візирна лінія, що проходить через пристрій компаса, проходила б через щоглу, а магнітна стрілка вказувала б кут нахилу δ. Меридіанну лінію доцільно відмітити (таким же чином, як це вказувалося раніше).

Орієнтування шкали напрямків флюгера краще робити удвох. Один стає на меридіанні на відстані 18 – 25 м від щогли, другий піднімається на верх щогли до флюгера і, вигвинтивши на декілька оборотів штифт з буквою С (рис.5.7), так щоб муфту 8 можна було обертати на осі 9, за вказівкою спостерігача, який знаходиться внизу, обертати муфту так, щоб штифт з буквою С був направлений на північ (знаходячись в площині меридіану). В цьому положенні штифт з буквою С загвинчують, закріплюючи муфту 8. Орієнтування флюгера потрібно періодично перевіряти.

Вимірювання напрямку і швидкості вітру по флюгеру. При визначенні напрямку вітру по флюгеру спостерігач повинен стати біля стовпа під вказівником напрямку вітру і на протязі 2 хв спостерігати за положенням вказівника (противаги) флюгерки. Флюгерка звичайно здійснює деякі коливання. Спостерігачу потрібно в книжці відмітити середнє положення, яке займав вказівник за час спостережень.

Для визначення швидкості вітру спостерігач повинен відійти від стовпа флюгера і стати в напрямку, перпендикулярному положенню флюгерки, щоб краще відрахувати по штифтах положення дошки.

Враховуючи мінливість швидкості вітру (поривчастість вітру) при вимірюваннях, потрібно протягом 2 хв спостерігати за відхиленнями дошки і відмітити її середнє положення за цей проміжок часу.

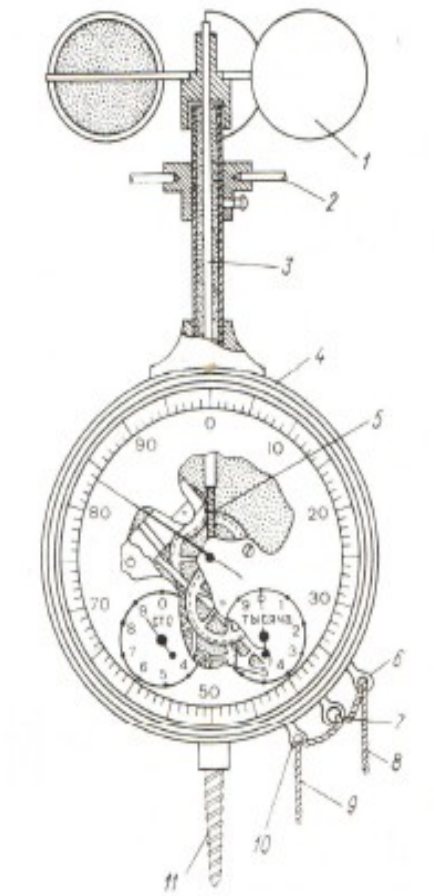
Крім вимірювання напрямку і швидкості вітру, по флюгеру можна визначити і характер вітру (наприклад, рівний вітер, поривчатий, змінює свій напрямок та ін.).

Незважаючи на простоту конструкції, флюгер потребує повсякденного нагляду і уходу, в протилежному випадку результати вимірювань стають сумнівними. Потрібно перевіряти орієнтування флюгера, справність роботи його флюгерки. При відхиленні осі флюгера від вертикального положення трубка зачіпає нижню частину осі, виникає додаткове тертя, і флюгерка невірно показує напрямок вітру (особливо при малих швидкостях вітру). Вісь дошки повинна обертатися без зайвого тертя.

Взимку флюгер необхідно очищати від льоду. В темну частину доби флюгер потрібно освітлювати. Його можна освітлювати трьома лампочками, установленими на верхній частині щогли на 60 – 70 см нижче муфти флюгера і на відстані 20 – 25 см від вертикальної осі флюгера під кутом 120°. Електричні патрони потрібно кріпити на кронштейнах.

Освітити флюгер можна також за допомогою автомобільної фари, встановленої поблизу на висоті 1 – 1,5 м.

Ручний чашковий анемометр з лічильним механізмом МС-13 (рис.5.8).



Застосовується для вимірювання середньої швидкості вітру в межах від 1 до 20 м/с (звичайно за 10 хв). Чутливим елементом цього приладу є невелика вертушка з чотирма напівсферичними чашками 1. Вона закріплена на осі 3, обидва кінці якої упираються в агатові підшипники. Верхній підшипник осі 3 знаходиться у гвинті, вгвинченому в гніздо зверху захисних дужок 2, нижній підшипник знаходиться всередині корпуса 4. На нижньому кінці осі є черв'як 5, який зв'язує вісь 3 з вхідним черв'ячним колесом механічного лічильника кількості обертів.

Рис.5.8 Ручний чашковий анемометр з лічильним механізмом: 1 – чашка; 2 - захисна дужка; 3 – вісь; 4 – корпус; 5 – черв'як; 6 і 10 - кільця; 7 – важіль з кільцем; 8 і 9 – шнури; 11 – гвинт.

Редуктор лічильника складається із зубчастих коліс і зв'язаний з трьома стрілками, які при обертанні вертушки переміщуються по трьом шкалам.

Центральна шкала має 100 поділок з ціною поділки три оберти. Один оберт центральної великої стрілки відповідає 300 обертам вертушки. Малі шкали мають по 10 поділок. Ціна поділок нанесена на шкалах: на лівій – 100 обертів вертушки, на правій – 1000 обертів. Збоку з корпусу 4 виступає важіль 7 аретира лічильника, обертом якого за годинниковою стрілкою лічильник вмикається, проти годинникової - вимикається. Переключення важелю 7, коли до нього безпосередньо не можна дістати рукою, здійснюють шнуром. Для цього на корпусі по обидва боки важелю є кільця 6 і 10, через які протягуються кінці шнура, прикріпленого до кільця важелю 7. Потягнувши шнур за кінець, протягнутий через кільце 10, вмикають лічильник, а потягнувши за кінець, протягнутий через кільце 6, вимикають його.

<u>Вимірювання швидкості вітру.</u> Анемометр з вимкненим лічильником установлюють на стовпі на потрібній висоті, вгвинчуючи

гвинт 11 у верхівку стовпа або дерев'яну пробку щогли (іноді вимірювання проводять, тримаючи прилад на витягнутій руці).

Анемометр потрібно установлювати вертикально, плоскою поверхнею корпусу паралельно напрямку вітру (в такому положенні анемометр проходить повірку), шкальною стороною до спостерігача. Записують показання всіх трьох стрілок. Через 20 – 30 с (обертання чашок без увімкнення лічильника) одночасно вмикають лічильник і секундомір, і через заданий час (звичайно 10 хв) вимикають і записують нові показання анемометра. Різницю показань лічильника ділять на кількість секунд, визначаючи середню кількість поділок за секунду. Середню швидкість в метрах за секунду знаходять по градуйованій кривій або таблиці, що є в повірочному свідоцтві даного анемометра.

При правильному поводженні з приладом і строгому виконанні методики вимірювань ручний анемометр забезпечує надійні результати вимірювань швидкості вітру. Похибка анемометру $(0{,}3 + 0{,}05\,V)$ м/с, де V - значення виміряній швидкості. Через кожні 100 год експлуатації анемометр підлягає повторній повірці.

Анемометр ручний індукційний АРІ (рис.5.9). Цей анемометр дозволяє вимірювати середню (за 3 – 6 с) швидкість вітру в межах від 2 до 30 м/с.

Первинним перетворювачем в цьому анемометрі служить трьох чашкова вертушка, що насаджена на загальну з магнітним тахометром вісь.

Анемометр зібраний в складовому корпусі, у верхній частині якого на підшипниках встановлена вісь 3. на верхньому кінці осі закріплена трьох чашкова вертушка 1, а на нижньому кінці - вторинний перетворювач, що являє собою магнітний тахометр. Він складається з постійного магніту 7, магнітопроводу 8 і термокомпенсатора 6. В нижній частині корпусу анемометра і на платі 9 зібрана друга частина магнітного тахометра. На осі 13 насаджені металевий стаканчик 11 (з немагнітного металу), спіральна момент на пружина 14, кінець якої закріплений, і стрілка 12. Кінець спіральної пружини закріплений в колодці. В нижній частині корпусу є скляне вікно, через яке видні шкала анемометру і кінець стрілки 12. На хвостовик 15 нагвинчена ручка 16, за яку тримають прилад під час вимірювань. Ручка 16 може бути замінена перехідною втулкою (що є в комплекті) для установки приладу на щоглі.

На боковій поверхні корпусу є два штиря, на які анемометр стійко спирається, коли його кладуть на площину, наприклад, стола, так щоб чашки не торкалися поверхні.

Для зберігання і переноски анемометра є спеціальний футляр.

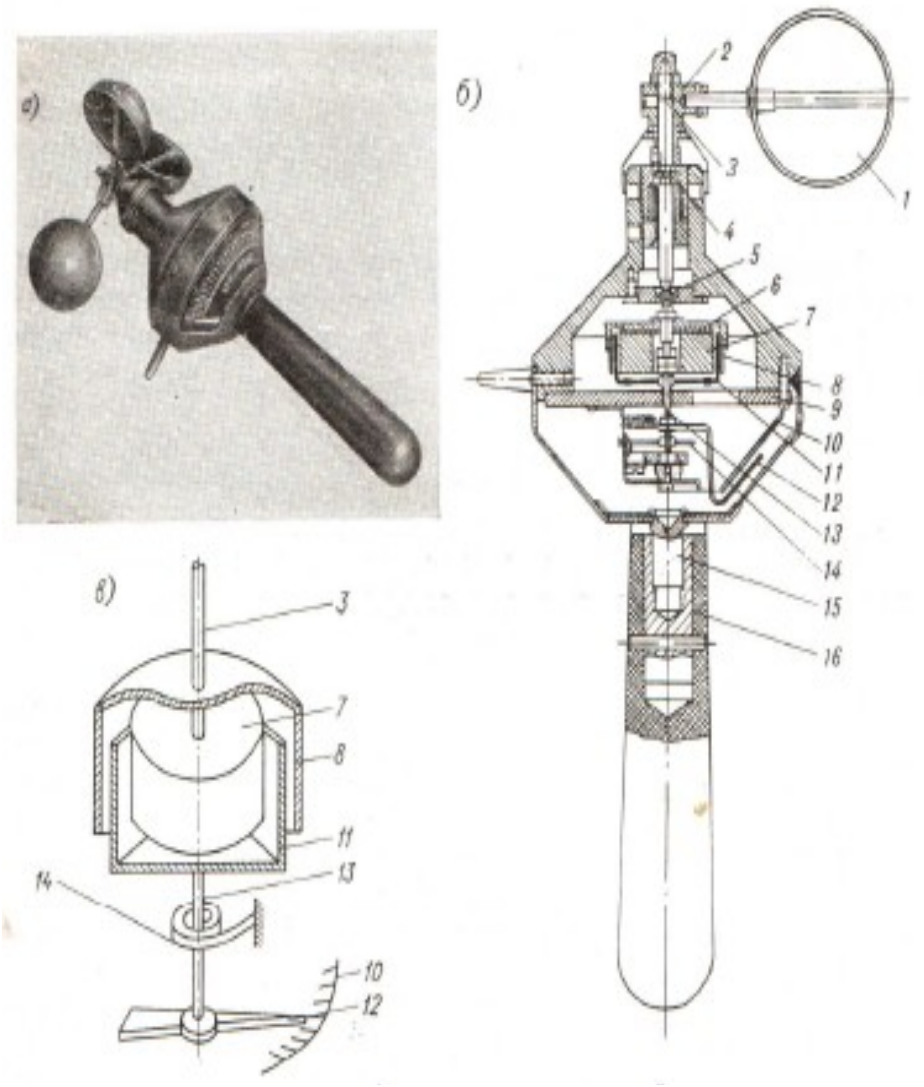


Рис.5.9 Анемометр ручний індукційний: а - зовнішній вигляд; б – загальний вигляд; в – вузол тахометра; 1 - три чашкова вертушка; 2 – втулка; 3 і 13 – осі; 4 і 5 – підшипники; 6 - термокомпенсатор; 7 – постійний магніт; 8 – магнітопровід; 9 – плата; 10 – шкала швидкості; 11 – стаканчик; 12 – стрілка; 14 - пружина; 15 – хвостовик; 16 – ручка.

При обертанні осі 3 разом з нею обертаються магніт 7 і магнітопровід 8. На стінках стаканчика 11, що знаходиться в зазорі між ними, індуктується струм.

Взаємодія електромагнітного поля (струму, який індукціює) і магнітного поля постійного магніту створює прикладений до стаканчика момент $M_1 = k_1 n$, де n - швидкість обертання магніту (об/с); k_1 - коефіцієнт пропорційності, що залежить від конструктивних особливостей тахометра (лінійних розмірів магніту, магнітопроводу, стаканчика,

зазору, форми, розмірів і кількості полюсів магніту, ступеня його намагніченості і т.д.). Для даного тахометра k_1 є постійною величиною.

Під впливом моменту M_1 стаканчик 11 почне обертатися разом з віссю 13, закручуючи пружину 14, при цьому пружина створює протидіючий закручуванню момент $M_2 = k_2\varphi$, де φ - кут оберту стаканчика 11 і його осі 13 (кут закручування пружини), визначається за положенням стрілки 12 відносно шкали 10; k_2 - коефіцієнт, що залежить від конструкції пружини (лінійних розмірів, кількості і діаметра витків) і матеріалу, з якого вона виготовлена. Стаканчик 11 обертається до положення, при якому установиться рівність моментів $M_1 = M_2$; підставляючи їх значення, отримаємо $n = \frac{k_2}{k_1}\varphi$.

Враховуючи, що в анеморумбометрів швидкість обертання осі (на яку насаджена вертушка) пропорційна швидкості вітру, тобто $V = cn$, де c - коефіцієнт пропорційності, швидкість вітру може бути виражена у вигляді $V = \frac{ck_2}{k_1}\varphi$.

Через те, що c, k_1 і k_2 - величини постійні для даного приладу, то шкала приладу рівномірна і може мати поділки в одиницях швидкості вітру (в м/с), тобто $V = A\varphi$.

Коефіцієнти k_1 і k_2 залежать від температури (із зростанням температури k_2 убуває, а k_1 - росте). Для виключення впливу температури на показання приладу в тахометрі є термокомпенсатор 6.

Вимірювання швидкості вітру. Анемометр установлюється на щоглі висотою приблизно 2 м. Його можна також тримати в руці, піднявши над головою так, щоб він вільно обдувався вітром. Анемометр повинен бути повернутий шкалою до спостерігача. Відлік потрібно робити не раніше ніж через 10 сек, коли швидкість вертушки установиться. Анемометр завдяки інерційності його рухливої системи трохи осереднює результати вимірювань (інтервал осереднення 5 – 6 с). При вимірюванні швидкості вітру малої поривчастості достатньо зробити 2 – 3 відліки з інтервалом 5 – 10 с, при поривчатому вітрі - 10 – 12 відліків. Швидкість обчислюється, як середнє з отриманих відліків.

Якщо в повірочному свідоцтві є поправки, їх вносять в показання анемометра. Похибка вимірювань складає $\pm(0{,}5 + 0{,}05\,V)$ м/с. Анемометр підлягає повірці не рідше одного разу на рік.

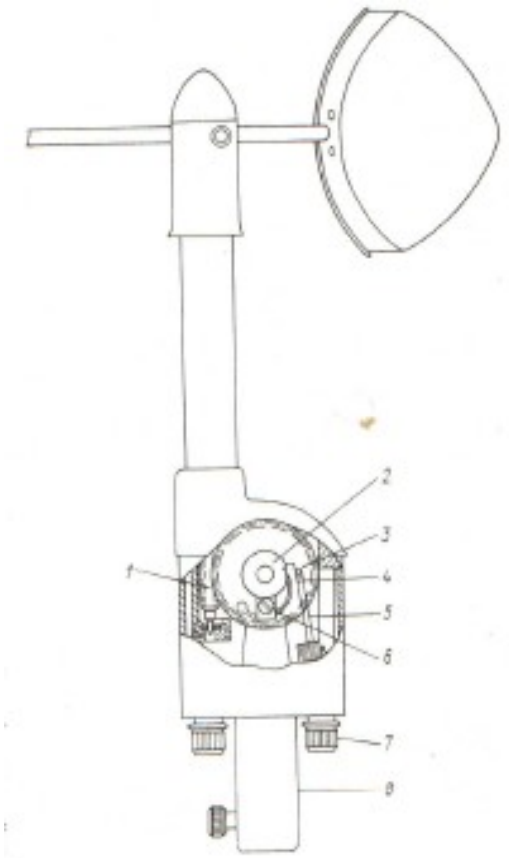
5.5 Анемометри контактні.

Різні конструкції датчиків цих анемометрів широко застосовуються для дистанційного вимірювання швидкості вітру. Відмітною особливістю цих анемометрів є вихідний перетворювач. Ним може бути контактний

пристрій, контактна група, що керується кулачком, або геркон, що керується постійним магнітом. Кулачок або магніт приводяться в рух чашковою вертушкою або повітряним гвинтом, з віссю яких вони зв'язані (безпосередньо або через редуктор).

Через певну кількість обертів вертушки (гвинта) відбувається спрацювання контактного пристрою анемометра, який замикає вимірювальний електричний ланцюг. За допомогою анемометра і підключеного до нього лічильника або реєстратора імпульсів можна визначити кількість замикань, які залежать від кількості обертів вертушки (гвинта), за деякий відрізок часу, а, отже, середню швидкість вітру в цьому інтервалі часу. Найбільш розповсюджені чашкові контактні анемометри.

Анемометр чашковий контактний М-25 (рис.5.10).



Призначений для експедиційних робіт. Його вертушка має три чашки. Вісь вертушки установлена в двох шарикових підшипниках. В нижній частині осі є черв'як 1, який зчіплюється з черв'ячним колесом 3. Співосно з черв'ячним колесом вільно насаджений на осі пластмасовий кулачок 2. Зчеплення кулачка 2 з колесом 3 здійснюється за допомогою храпового колеса (на рис.5.10 його не видно, він знаходиться за кулачком) і пружинної собачки 6.

Рис.5.10 Анемометр чашковий контактний М-25: 1 – черв'як; 2 – кулачок; 3 – черв'ячне колесо; 4 і 5 – контактні пластини; 6 - собачка; 7 – клема; 8 – муфта.

Профіль кулачка побудований за спіраллю Архімеда із зростанням радіусу приблизно на 2 мм на 360°, з уступом в місці переходу від максимального радіусу до мінімального. Уступ має зріз під кутом приблизно 80°. На поверхню кулачка

спираються щупи двох контактних пластин 4 і 5 нормально розімкнутої контактної групи, закріпленої на корпусі анемометру. Щупи пластин 4 і 5 зміщені відносно один одного на 2 – 3 мм вздовж поверхні кулачка, по якій вони ковзають при його обертанні. Тому при обертанні кулачка (проти годинникової стрілки) уступ підходить спочатку до щупу пластини 5 і в момент його зриву з щупа вона притискається своїм контактом до контакту пластини 4. Контакти залишаються замкнутими до тих пір, доки кулачок не повернеться настільки, щоб край його уступу пройде щуп пластини 4 і він зірветься з уступу. Пластини виявляться в початковому положенні відносно одна одної, при якому контактна група розімкнута. Це повторюється при кожному обертанні кулачка. Контактна група анемометра замикається і розмикається миттєво, перебування її в замкнутому стані тимчасове (відповідає часу чотирьох обертів вертушки). Обертання кулачка 2 може відбуватися тільки проти годинникової стрілки. Коли чашкова вертушка обертається під впливом вітру, черв'ячне колесо 3 обертається проти годинникової стрілки і пружинна собачка 6, зачепивши зуб храпового колеса, починає його (разом з кулачком) обертати (проти годинникової стрілки). Якщо чашки анемометра випадково повернути в напрямку, протилежному обертанню їх в повітряному потоці, колесо 3 почне обертатися за годинниковою стрілкою, пружина буде прослизати по зубцям храпового колеса і кулачок обертатися не буде. Таким чином запобігається можливість поломки приладу.

На корпусі анемометра є дві ізольовані від нього клеми 7, які з'єднуються з пластинами 4 і 5. До цих клем підключаються проводи, які з'єднують анемометр з лічильником або реєстратором і джерелом живлення. Анемометр може установлюватися на щоглах будь-якої висоти, де він закріплюється за допомогою муфти 8 з гвинтом.

Анемометр М-25 володіє високою начальною чутливістю – до 0,3 м/с. Прилад розрахований для вимірювання швидкостей до 15 м/с. Кожний анемометр повинен мати повірочний графік залежності кількості імпульсів, які вироблює анемометр за 10 хв (кількість замикань його контактної групи), від швидкості вітру. У тих випадках, коли необхідна висока точність вимірювань, рекомендується через кожні 10 – 15 днів роботи в експедиції проводити контрольні перевірки справності анемометру за допомогою контрольного анемометру. Для цього анемометри (разом з контрольним) установлюються на одній висоті на горизонтальній штанзі перпендикулярно напрямку вітру. Потім всі анемометри підключаються до реєстратора або до лічильника. Дані синхронних вимірювань анемометрів, зіставлені з даними контрольного анемометру і між собою, дозволяють судити про справність кожного

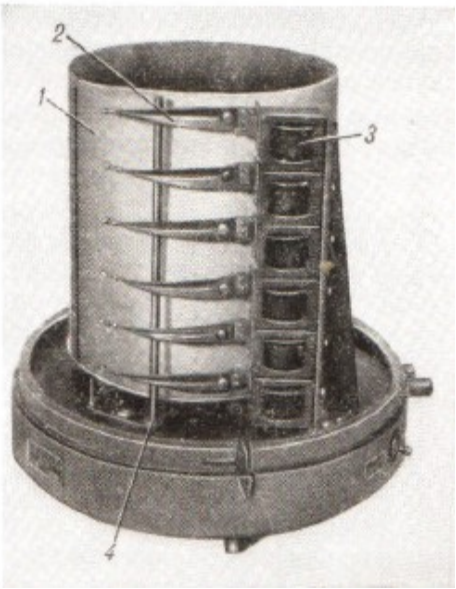
контрольованого анемометру. Повторні повірки анемометра потрібно робити перед кожною експедицією, але не рідше ніж через один рік.

Для реєстрації або лічення імпульсів, які надходять від анемометра, спільно з ним застосовуються реєстратори і лічильники.

Реєстратор М-97 (рис.5.11). До реєстратора можна підключити шість анемометрів. Він містить годинниковий механізм з барабаном 1 і шість електромагнітів 3, змонтованих на стойці, закріпленій на основі. До якорів електромагнітів прикріплені стрілки 2 з пір'ями. На основі є клеми для підключення ланцюгів анемометрів і живлення. Кожний з електромагнітів підключений до ланцюга живлення послідовно з анемометром. Прилад закривається кожухом. Реєстрація імпульсів здійснюється на паперовій стрічці, накладеній на барабан 1, що обертається годинниковим механізмом з швидкістю 1 об/год.

При роботі приладу всі пір'я стрілок торкаються стрічки, залишаючи запис у вигляді горизонтальних прямих ліній. При кожному замиканні контакту одного з анемометрів у відповідний електромагніт надходить струм і його якір (до якого прикріплена стрілка) притягується до полюсів.

Рис.5.11 Реєстратор М-97 до контактних анемометрів: 1 – барабан; 2 – стрілки з пір'ями; 3 – електромагніти; 4 – аретир.



При цьому перо переміщується на декілька міліметрів вниз, в результаті чого на стрічку наноситься короткий вертикальний штрих. При розмиканні контакту якір відпускається і повертається пружиною разом зі стрілкою в початкове положення. Таким чином, запис на стрічці для кожного анемометру виходить у вигляді прямої горизонтальної лінії з перпендикулярними до неї штрихами.

Стрічки повинні змінюватися кожну годину. При зміні стрічки пір'я відводяться за допомогою рукоятки аретира 4.

Обробка запису. Вся стрічка розбивається на однакові ділянки (по тривалості запису) по 10 хв кожний. На межах ділянок олівцем проводять вертикальні прямі лінії і записують під ними час, відповідний початку і кінцю кожної ділянки. Цей час для кожної ділянки визначається по відміченому на стрічці часу початку і кінця запису. На кожній горизонтальній лінії записують номер відповідного анемометра. Для кожної ділянки визначають і записують на стрічці кількість відрізків між штрихами з точністю до десятих часток. Десяті частки особливо важливо визначати при малих швидкостях вітру (до 2 м/с), коли інтервали між штрихами великі. При швидкостях вітру більше 5 м/с обробку можна робити по кількості штрихів. По кількості штрихів або по кількості проміжків між ними (при швидкостях до 5 м/с), користуючись повірочним графіком відповідного анемометру, визначають середню швидкість вітру за 10 хв.

Крім описаного реєстратора, є цифродрукуючі реєстратори різної конструкції. Вони містять лічильники, до кожного з яких підключають анемометр. Показання лічильників через задані проміжки часу в цифровому вигляді друкуються на стрічці. Обробка цих даних зводиться до обчислення різниці двох сусідніх показань лічильників, визначенню

по ним за допомогою повірочних графіків швидкостей вітру і запису отриманих результатів. У тих випадках, коли потрібні окремі вимірювання середньої швидкості вітру за великі проміжки часу, до анемометру підключають електромеханічний лічильник імпульсів. По зміні його показань за весь інтервал вимірювання визначають середнє значення кількості імпульсів за 10 хв і, користуючись повірочним графіком анемометра, визначають середню швидкість вітру.

Для підвищення надійності роботи контактних анемометрів (виключення підгоряння контактів) рекомендується підключати їх в ланцюг живлення лічильника або реєстратора не безпосередньо, а через транзистор. Приклад такої схеми підключення анемометра наведений на рис.5.12.

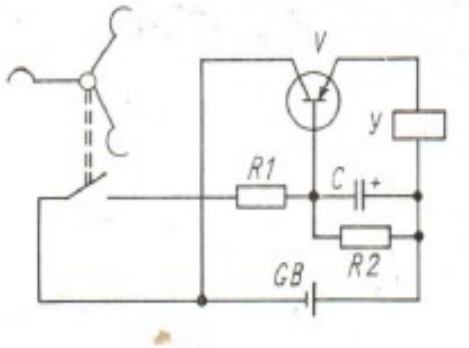


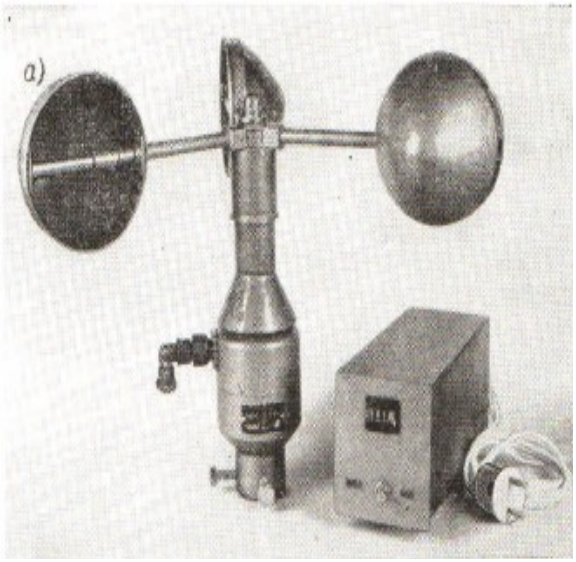
Рис.5.12 Схема підключення анемометра до реєстратора

Обмотка електромагніту *Ем* лічильника або реєстратора включається в ланцюг емітера транзистора. Контакти анемометра включені в ланцюг бази транзистора.

При замиканні контактів анемометра на базу транзистора надходить від'ємна напруга. При цьому внутрішній опір транзистора (емітер-колектор) різко зменшується і через обмотку електромагніту *Ем* пройде імпульс струму, необхідний для його спрацьовування.

При розмиканні контактів внутрішній опір транзистора різко збільшується, що приводить практично до розриву ланцюга живлення електромагніта. При такій схемі включення контакти анемометра розривають тільки ланцюг живлення бази транзистора (в якій струм малий), тому вони не підгоряють.

Анемометр М-92 (рис.5.13). Прилад призначений для вимірювання середньої швидкості вітру в межах від 0,6 до 40 м/с і придатний до тривалої експлуатації. Для вимірювання вітру на різній висоті установлюється на щоглах, телевізійних щоглах та інших спорудженнях.



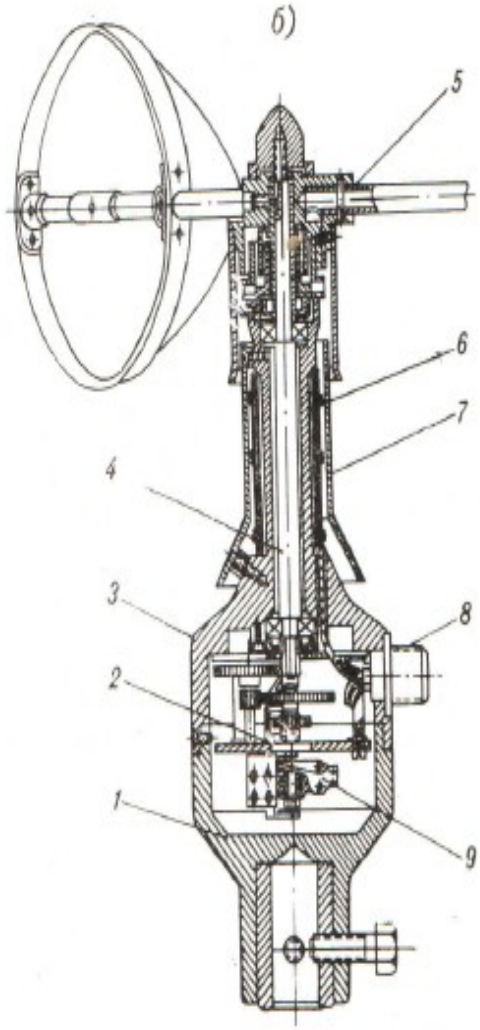


Рис.5.13 Анемометр контактний М-92 з лічильником (а) і загальний вигляд анемометра (б): 1 і 3 – корпус; 2 – редуктор; 4 – вісь; 5 - вертушка; 6 - обігрівач; 7 - кожух; 8 - вилка штепсельного роз'єму; 9 - контактна група.

Анемометр М-92, також як анемометр М-25, застосовується спільно з реєстраторами і лічильниками. Його три чашкова вертушка кріпиться на осі, установленій на двох шарикових підшипниках. На нижньому кінці осі 4 є трубка, що зчіплюється з шестірнею редуктора 2, закріпленого на платах. На платі закріплена контактна група 9, яка складається з двох пластин, що закінчуються щупами. На вихідній осі редуктора закріплені два кулачка, на які спирається щуп однієї з двох пластин контактної групи. Кулачки установлені так, що краї їхніх виступів зміщені відносно один одного на 3 мм, тому при обертанні кулачків замикання і розмикання контактної групи 9 відбувається так же, як і в анемометрі М-25. Нижня частина корпусу закінчується патрубком для кріплення анемометру на штирі щогли. Для підключення до датчика з'єднувального кабелю служить штепсельний роз'єм 8.

В конструкції анемометру передбачений пристрій, який запобігає поломці контактної групи 9, коли випадково (від руки) обертають чашки анемометру в напрямку, зворотному нормальному. Принцип пристрою такий же, як у анемометру М-25.

В анемометрі є обігрівальний пристрій, який в окремих випадках може запобігти осадженню на ньому паморозі і ожеледиці. Обігрівач 6 складається з ізоляційної втулки з дротовою спіраллю 6, яка одягнена на верхню частину корпусу 3 і захищеною кожухом 7.

В періоди, коли можливе обледеніння, пристрій для обігрівання вмикається в мережу (36 В; 50 Гц).

При обертанні вертушки повітря (нагріте обігрівальним елементом) піднімається вверх і центробіжною силою викидається через отвори в спицях в всередину чашок.

Реєстрація і вимірювання кількості імпульсів, які надходять від анемометра М-92, і обчислення швидкості вітру проводиться так же, як для анемометра М-25.

Випускається модифікація М-92 з герконом і магнітом. Похибка анемометра $(0{,}2 + 0{,}03\,V)$ м/с.

5.6 Анеморумбометри.

Анеморумбометр М-47 (5.14). Прилад дозволяє дистанційно вимірювати швидкість і напрямок вітру, а також одержувати уяву про поривчатість вітру. Як чутливий елемент датчика швидкості вітру використовується восьмилопатий повітряний гвинт, як перетворювач – тахогенератор змінного струму. Чутливим елементом датчика напрямку служить флюгерка, перетворювачем - безконтактний сельсин. Анеморумбометр складається з датчика і вимірювального пульту, які при установці з'єднуються шестижильним кабелем довжиною до 100 м.

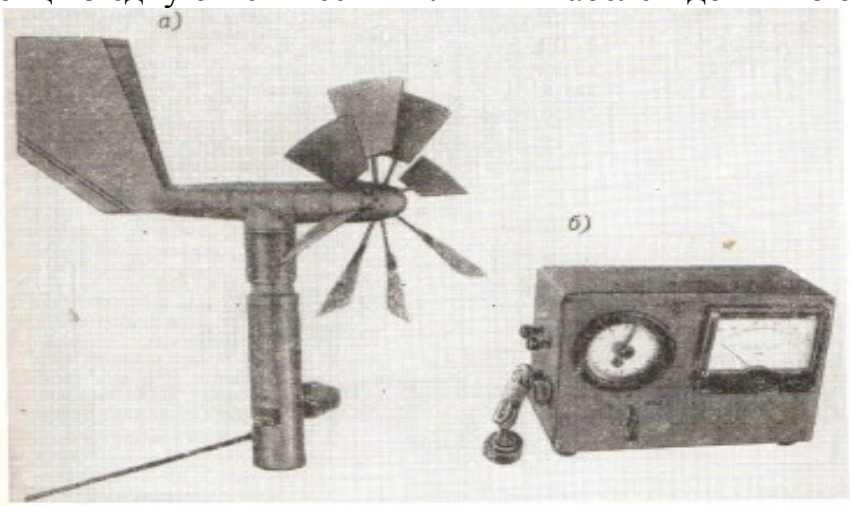


Рис.5.14 Анеморумбометр М-47: а – датчик; б – вимірювальний пульт.

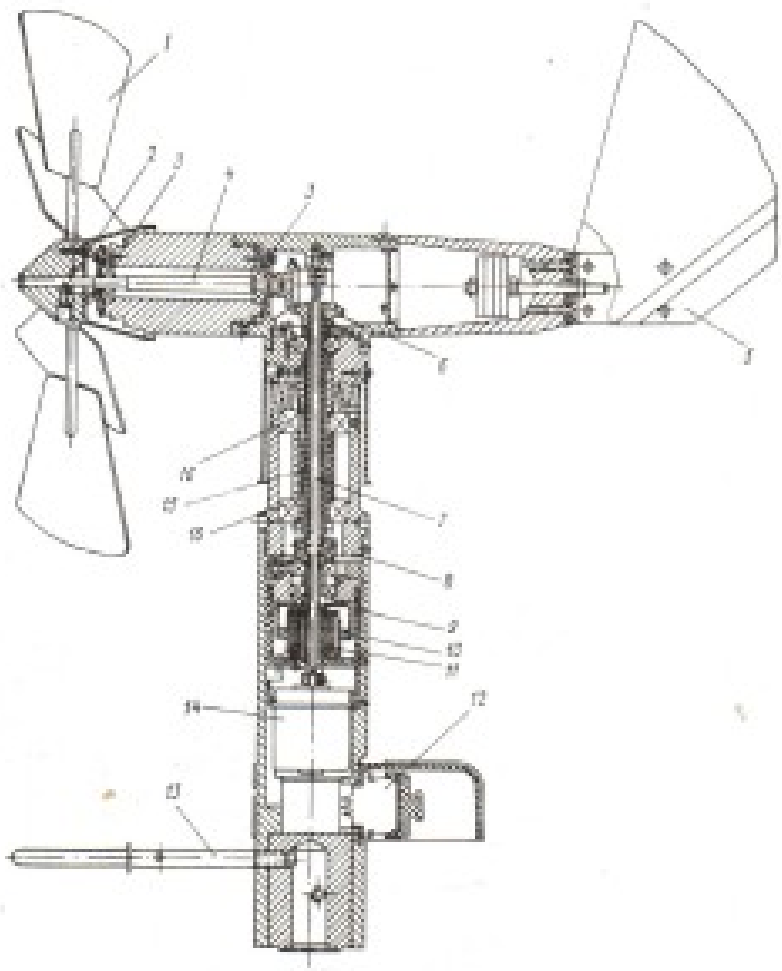


Рис.5.15 Схематичний розріз анеморумбометра М-47: 1 – повітряний гвинт; 2 - гвинт; 3 і 16 - підшипники; 4, 7 і 15 – осі; 5 - флюгерка; 6 - конічна пара; 8 – стойка; 9, 10 і 11 – корпус, ротор і статор тахогенератора; 12 – штепсельний роз'єм; 13 – штир; 14 – сельсин.

Датчик (рис.5.15) складається з вертикально розташованої стойки, яка при установці нерухомо закріплюється на штирі щогли, і горизонтально розташованої частини, на якій жорстко закріплена флюгерка 5 і установлений повітряний гвинт 1.

Верхня, горизонтально розташована частина датчика може вільно обертатися навколо стойки 8 на підшипниках 16. Тому, коли стойка нерухомо закріплюється на установці приладу на щоглі, верхня частина установлюється гвинтом назустріч потоку (площина обертання гвинта перпендикулярна до напрямку вітру). Рухлива частина віссю 7 зв'язана з ротором сельсину 14, статор якого нерухомо закріплений на стойці. Гвинт 1 через вісь 4, конічну пару 6 і трубчату вісь 15 зв'язаний з ротором 10 тахогенератора, статор 11 якого нерухомо закріплений в

стойці. Ротор тахогенератора виконаний у вигляді кільцевого магніту (з шістьма парами неявно виражених полюсів), а статор – у вигляді котушки з осердям і з полюсними наконечниками. Датчик з'єднується з вимірювальним пультом кабелем через штепсельний роз'єм 12.

Вимірювальний пульт зібраний в корпусі прямокутної форми (рис.5.14). На його передній панелі розташовані індикатори. Індикатор напрямку вітру має колову шкалу з поділками в градусах, стрілка його насаджена на осі сельсину-приймача і показує положення флюгерки (напрямку вітру). Вказівником швидкості є мікроамперметр. Під вказівником напрямку знаходиться ручка перемикача, яка може бути установлена в трьох положеннях.

На боковій стінці пульту розташовані штепсельний роз'єм для підключення кабелю, що йде від датчика, і шнур з вилкою для підключення до мережі змінного струму, і клеми для підключення живлення від батарей.

Живлення анеморумбометра необхідне тільки для вимірювання напрямку вітру (вимірювання швидкості вітру не потребує зовнішніх джерел живлення).

Коли під впливом вітру повітряний гвинт приводить до обертання ротор тахогенератора G, на його полюсах створюється ЕРС змінного знаку, пропорційна швидкості вітру.

При установці рукоятки перемикача на передній панелі вимірювального пульту в положення «Швидкість» пакетний перемикач 1 установлюється в положення 2 (рис.5.16), замикаючи вимірювальний ланцюг швидкості. При цьому під впливом ЕРС тахогенератора в цьому ланцюзі виникає струм, який по проводам надходить від датчика до вимірювального пульту на випрямляч $V3$ - $V6$ і після випрямлення через опір $R1$ у вимірювальний прилад P. Змінний опір $R1$ регулюється тільки при настроюванні і повірці приладу. При установленні рукоятки перемикача в будь-яке з двох положень вимірювальний ланцюг швидкості розривається, а вимірювальний прилад P закорочується.

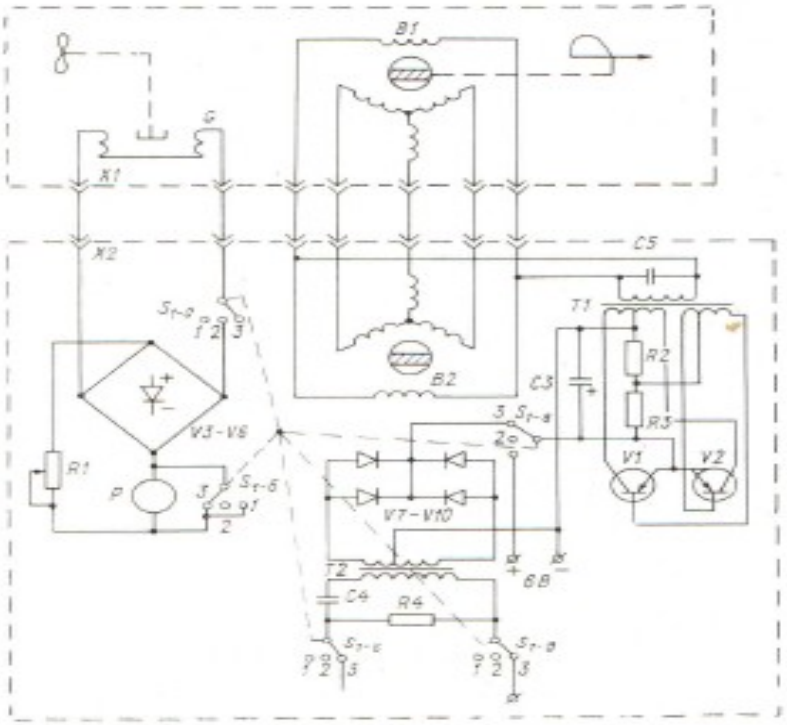


Рис.5.16 Електрична принципова схема анеморумбометра М-47

При установці рукоятки в положення 1 і 3 відбувається вимірювання напрямку вітру, причому в першому – з використанням живлення від джерела постійного струму, а в третьому – з використанням живлення мережі змінного струму. Джерела струму необхідні для живлення ланцюгів синхронного зв'язку сельсинів датчика $B1$ і приймача $B2$ змінними струмами з частотою 400 Гц. Для отримання такого роду струму в пульті є перетворювач постійного струму в змінний з частотою 400 Гц. Цей перетворювач зібраний за схемою блокінг-генератор на двох напівпровідникових тріодах $V1$ і $V2$. Живлення перетворювача може здійснюватися від випрямлювача $V7 - V10$ (на який напруга надходить від мережі через трансформатор $T2$) або від батареї. Змінна напруга (з частотою 400 Гц) надходить до ланцюгів живлення сельсинів від вторинної обмотки трансформатора $T1$ перетворювача струму.

В момент подачі живлення на сельсини сельсин-приймач $B2$ узгоджується з сельсином-датчиком $B1$, ротор якого жорстко зв'язаний з флюгеркою. Стрілка, що насаджена на вісь ротора сельсина $B2$, установлюється у відповідності з положенням флюгерки і вказує напрямок вітру за шкалою індикатора.

Анеморумбометр М-47 трохи згладжує пориви швидкості і напрямку вітру. Отримані згладжені значення швидкості і напрямку вітру все ж є «миттєвими» значеннями, що значно змінюються в часі. Тому

при зніманні показань М-47 потрібно керуватися правилами знімання показань флюгера. З його допомогою можна отримати також уяву і про поривчатість вітру.

Датчик установлюється на щоглі у відповідності з Настановою. Штир 13 повинен бути направлений на північ.

Анеморумбометр М-63М-1 (рис.5.17). Ця установка призначена для вимірювання середньої, миттєвої і максимальної швидкості, і осередненого напрямку вітру. Установка складається з датчика, вимірювального пульту і блоку живлення.

Датчик за аеродинамічним профілем уніфікований з іншими датчиками подібної форми. Він змонтований на вертикальній стойці (закріпленій на щоглі нерухомо) і в горизонтально розташованому сигароподібному корпусі з прикріпленим до нього патрубком (циліндром), разом з яким він може вільно повертатися (на шарикопідшипниках) навколо стойки.

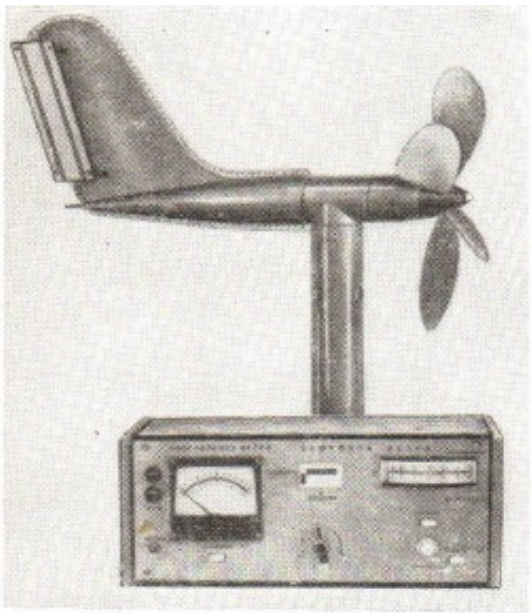


Рис.5.17 Анеморумбометр М-63М-1.

Сигароподібний корпус є флюгеркою датчика. В передній його частині на горизонтальній осі установлений чотирьохлопатий гвинт, а задня частина закінчується вертикально розташованими лопатами

флюгерки. Рухлива частина датчика установлюється назустріч потоку (площиною обертання гвинта перпендикулярно напрямку вітру).

Вимірювальний пульт змонтований в прямокутному корпусі. На його передній панелі розташовані три вказівника: напрямки середньої, миттєвої і максимальної швидкості вітру. Тут же розташовані рукоятки керування. На панелі є надписи, які вказують призначення приладів і рукояток. На боковій стінці пульту закріплені штепсельні роз'єми для підключення з'єднувальних кабелів датчика і блоку живлення.

Блок живлення містить акумуляторну батарею (12 В) і випрямляч, який забезпечує роботу анеморумбометра від мережі змінного струму (~ 220 В). Принцип дії анеморумбометра М-63М-1 оснований на залежності частоти (проходження) імпульсів, які вироблює датчик, від швидкості вітру і залежності зсуву фази між двома групами імпульсів, вироблених датчиком, від напрямку вітру.

Під впливом вітру генераторами датчика $G1$, $G2$, $G3$ (рис.5.18) вироблюються три групи імпульсів напруги однакової частоти, що залежить тільки від швидкості вітру.

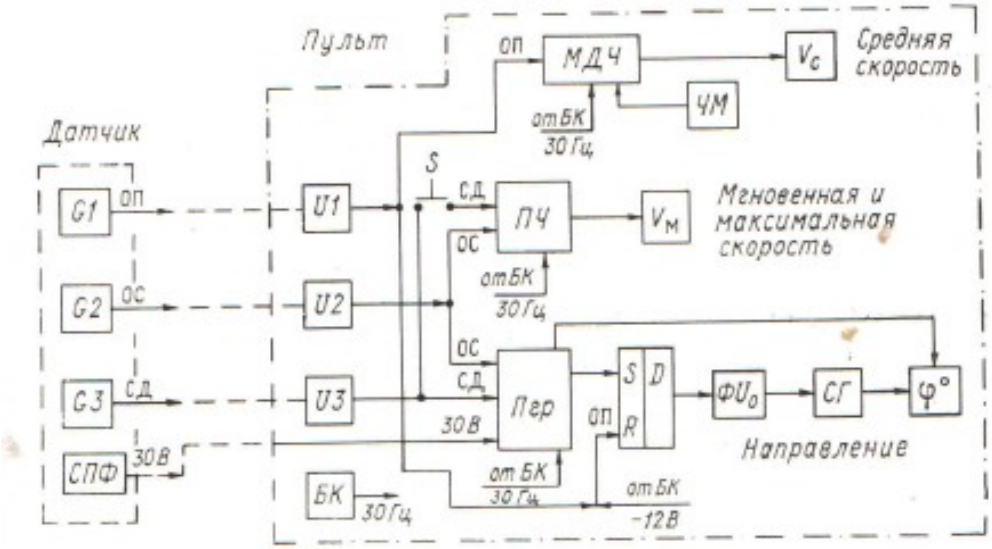


Рис.5.18 Функціональна схема анеморумбометра М-63М-1

Ці групи звані опорною *ОП*, основною *ОС* і зсувною *СД*. Частота всіх трьох груп прямо пропорційна швидкості вітру. Фазовий зсув між групами *ОС* і *ОП* дорівнює φ - куту відхилення флюгерки датчика від положення нуля (північ), тобто напрямку вітру, а фазовий зсув між *СД* і *СП* дорівнює $180+\varphi$ (рис.5.19).

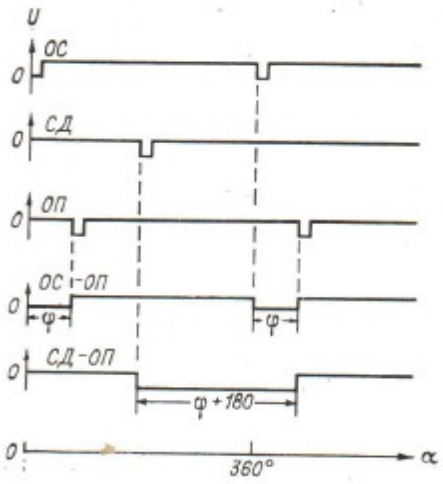


Рис.5.19 Зсув фаз між імпульсами трьох груп

Всі три групи імпульсів по лініям зв'язку надходять до входу пульта. Блоками пульта імпульси, що надходять, перетворюються у вихідні величини.

Формування вихідних величин відбувається по трьох каналах. Кожна група імпульсів надходить до свого формувача (*І1*, *І2*, *І3*), а потім на відповідні перетворювачі. Значення середньої швидкості виходить в результаті підрахування кількості імпульсів групи *ОП*, які надходять від датчика за інтервал осереднення швидкості (2 або 10 хв) через масштабний подільник частоти *МПЧ* на вхід електромеханічного лічильника імпульсів, який є вказівником середньої швидкості V_c . Масштабний подільник служить для узгодження коефіцієнта перетворення датчика (швидкості вітру в частоту імпульсів) з прийнятим масштабом вихідної величини (середньої швидкості вітру). Часовий інтервал підрахування імпульсів (осереднення швидкості) задається годинниковим механізмом *ГМ*.

Значення поточної (миттєвої) швидкості вироблюється шляхом перетворення імпульсів групи ОС або двох груп *ОС* і *СД*, які надходять до входу частотоміра *ПЧ*. Напруга на його виході, пропорційна частоті вхідних імпульсів, вимірюється двошкальним міліамперметром V_i (з межами 0 – 30 м/с і 0 – 60 м/с). При розімкнутій кнопці S на вхід *ПЧ* надходять імпульси тільки групи *ОС*, а коли вона замкнена – груп *ОС* і *СД*. В останньому випадку частота надходження імпульсів подвоюється (частота обох груп однакова, а їх імпульси зсунені відносно один одного на 180°), тому подвоюється вихідна напруга *ПЧ*, отже, в два рази збільшується масштаб вимірювання швидкості. Відповідно в першому випадку верхня межа шкали V_i 60 м/с, у другому – 30 м/с. Максимальне значення поточної швидкості запам'ятовується на V_i за допомогою пасивної стрілки, яка вільно насаджена на вісь співосно з вказівною стрілкою поточної швидкості V_i . Вказівна стрілка своїм упором може переміщувати пасивну тільки в сторону зростання швидкості. Пасивна стрілка залишається в положенні максимального відхилення, утримувана

тертям на своїй осі. Скидання пасивної стрілки до притиснення з упором вказівної робиться пружним важелем при натиску кнопки скидання.

Значення напрямку вітру виходить при використанні всіх трьох імпульсів таким чином. Імпульси групи *ОП* надходять до установочного входу R тригера D і перекидають його, а імпульси *ОС* (або *СД*) - вхід S і повертають його в початкове положення. В результаті цього тригер вироблює імпульси напруги тривалістю t_n, яка дорівнює часу між надходженням сигналів на входи R і S (тобто різниці фаз груп *ОС – ОП* або *СД – ОП*), і з частотою n, що дорівнює частоті імпульсів, які надходять від датчика (рис.5.19). Імпульси з входу тригера надходять до формувача $\hat{O}U_0$, де вони нормуються по амплітуді до деякого значення U_0, а потім надходять до блоку згладжування *СГ* (RC - фільтр), що перетворює імпульси, які надходять, в постійний струм I_φ (з малими пульсаціями). Сила струму на виході *СГ* $I_\varphi \sim U_0 t_n n$. Через те, що $t_n = \frac{\varphi}{360}\tau$, ($\tau = \frac{1}{n}$ - період коливання напруги), то $I_\varphi \sim U_0 \frac{\varphi}{360}$, і тому, що U_0 має постійне значення, то $I_\varphi = k_\varphi$ (k - постійна величина). Таким чином, I_φ залежить тільки від φ.

Необхідність наявності трьох груп імпульсів, використовуваних при вимірюванні напрямків (попарно *ОС – ОП* або *СД – ОП*), визначається стрибкоподібною зміною зсуву фази груп *ОС – ОП* при переході флюгерки через 0 (360°), а груп *СД – ОП* при переході через 180°. При коливанні флюгерки (напрямок вітру) біля 0° зсув фаз імпульсів груп *ОС* і *ОП* на вході S тригера може коливатися від 0 до 360°, відповідно в широких межах буде коливатися і тривалість імпульсів на виході D. В результаті похибка вимірювання напрямку може досягати 180°. Таке ж положення створюється при використанні для вимірювання напрямку різниці фаз груп *СД – ОП* і при переході флюгерки через 180° (Пд). Для виключення цих похибок канал вимірювання напрямку має дві вихідні шкали. Імпульси пари груп *ОС – ОП* використовуються для вимірювання напрямку за шкалою вказівника напрямку 0 - 360°, за винятком тих випадків, коли флюгерка переходить точку 0° (Пн). При такому переході сигналізатор положення флюгерки *СПФ* дає команду перемикачу груп *Пгр* пульту відімкнути групу *ОС* і увімкнути групу *СД* на вхід S тригера. Ця пара груп забезпечує вимірювання напрямку по другій шкалі 180 – 0 - 180° вказівника φ°. При переході флюгерки через 180° (Пд) *ВПФ* дає сигнал *Пгр* пульту про відімкнення *СД* і підключення *ОС* групи імпульсів. Одночасно *Пгр* перемикає лампочки, які сигналізують по якій шкалі вказівника потрібно робити відлік.

Вихідними перетворювачами швидкості і напрямку датчика є три блокінг-генератора $G1$ - $G3$ і вказівник положення флюгерки (ВПФ) (рис.5.20).

Первинна обмотка трансформатора блокінг-генератора, що складається з двох зустрічно увімкнених секцій $L1$ і $L2$, є колекторним навантаженням транзистора V, а вторинна обмотка $L3$, з якої знімається сигнал зворотного зв'язку, увімкнена в ланцюг її бази.

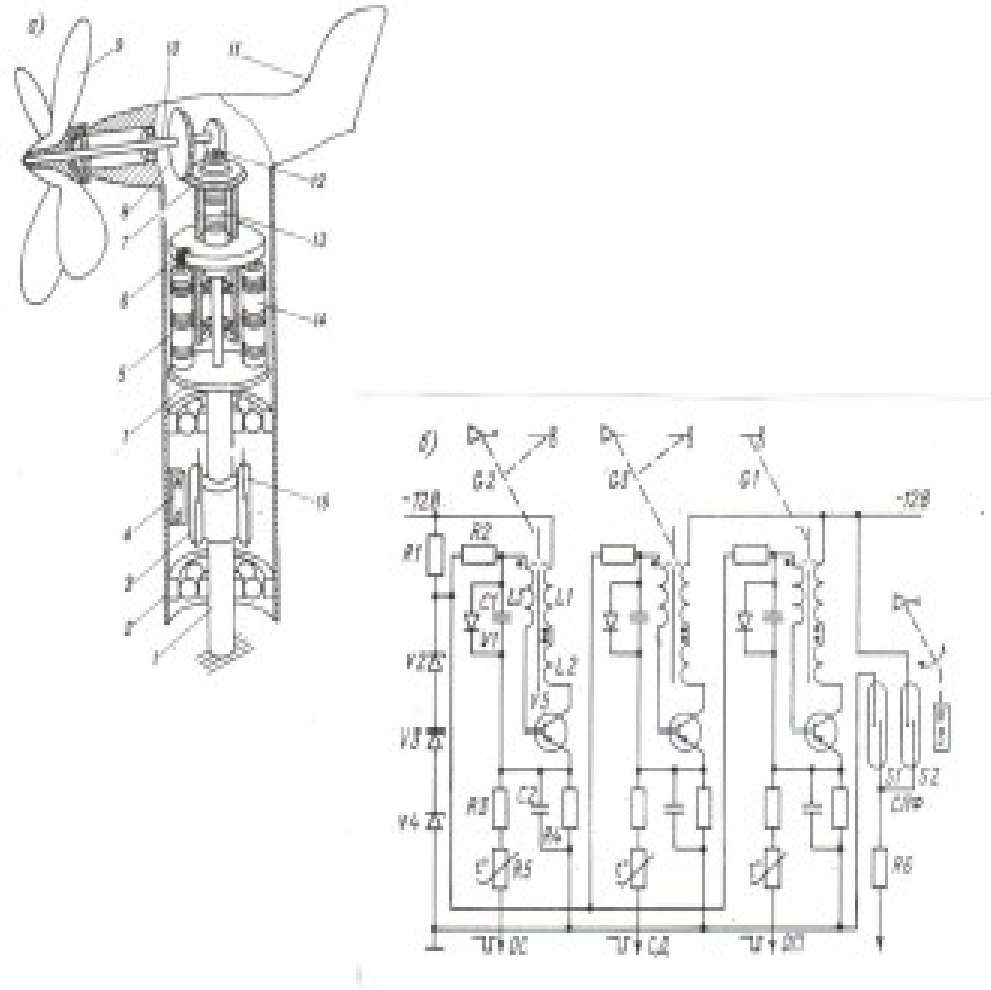


Рис.5.20 Схематичний розріз (а) і принципова електрична схема датчика М-63М-1 (б): 1 - нерухома частина корпусу датчика; 2 - рухлива частина; 3 і 15 - геркони; 4 – магніт; 5, 13 і 14 - трансформатори; 6 і 12 - ферити; 7 і 8 - конічна пара; 9 – гвинт; 10 – вісь; 11 – флюгерка.

Осердя трансформатора зв'язані з рухливими мідно-феритовими елементами, які змінюють індуктивний зв'язок обмоток. Коли біля осердя знаходиться ферит, індуктивність збільшується, сигнал, який знімається з вторинної обмотки $L3$, стає максимальним, зворотний зв'язок додатний – блокінг-генератор знаходиться в автоколивальному режимі. Якщо біля осердя знаходиться мідна частина рухливого елемента, індуктивність зменшується, сигнал, знятий з обмотки $L3$, зменшується по амплітуді і змінюється по фазі, зворотний зв'язок стає від'ємним, генерація блокінг-генератора зривається. Амплітуда

імпульсів напруги на виході генератора при генерації приблизно в 10 разів більша, ніж при зриванні генерації.

Трансформатори 5, 13 і 14 розташовані в нерухомій частині датчика. При обертанні гвинта 9 обертається насаджений на його осі мідний стаканчик з феритом 12, який закріплений в отворі стінки стаканчика. Цей стаканчик з феритом є рухливим елементом трансформатора 13 генератора групи імпульсів *ОП*. Гвинт 9 через конічну пару 7 і 8 обертає також диск, в якому закріплений ферит 6. Диск з феритом - рухливий елемент трансформатора 5 і 14 груп імпульсів *ОС* і *СД*.

Трансформатори 5, 13 і 14 розміщені таким чином, що осі їх осердя співпадають з колами обертання осей феритових стержнів. При кожному обертанні гвинта ферити проходять під осердями трансформаторів один раз. Момент співпадання осей осердя трансформатора 13 і фериту 12 відбувається завжди при одному і тому ж положенні гвинта. При початковому положенні флюгерки (С) співпадання осей фериту 6 і осердя трансформатора 5 відбувається одночасно з співпаданням осей фериту 12 і осердя 13, а з осердям 14 – тільки через півоберта гвинта. При роботі генераторів при цьому положенні будуть вироблюватися три групи імпульсів. У двох (*ОП* і *ОС*) фази співпадають, а у третьої (*СД*) - вона зсунена на 180°.

При повороті флюгерки на деякий кут φ від початкового положення (при нерухомому або обертаючому гвинті) разом з нею на такий же кут повернуться відносно нерухомо закріплених трансформаторів 5 і 14 шестерня 7 і диск з феритом 6. Момент співпадання фериту 12 з осердям трансформатора 13 зміститься відносно моменту співпадання фериту 6 з осердям 5 на час, необхідний для повороту фериту 6 на кут φ, а відносно моменту співпадання фериту 6 з осердям 14 на час повороту фериту 6 на кут $\varphi + 180^\circ$. В результаті цього вироблені датчиком групи імпульсів напруги *ОС* і *ОП* будуть відрізнятися по фазі на кут φ, а групи *СД* і *ОП* на $\varphi + 180^\circ$ (рис.5.19). Живлення генератора $G2$ подається постійно, тому що імпульси групи *ОС* використовуються для виробки значень миттєвої і максимальної швидкості, а живлення генераторів $G1$ і $G3$ мірою їх використання при вимірюваннях.

Сигналізатор положення флюгерки *СПФ* складається з двох геконів 3 і 15 ($S1$, $S2$), закріплених в нерухомій частині датчика 1 на лінії Пн–Пд, і постійного магніту 4, закріпленого на рухомій частині корпусу 2, який зв'язаний з флюгеркою 11. При проходженні магніту 4 біля того чи іншого геркону його контакти короткочасно замикаються і в перемикач груп *Пгр* пульта надходить відповідний сигнал. При коливанні флюгерки біля 0° (північний вітер) через замикаючий геркон $S2$ до *Пгр*

надходить від джерела живлення – 12 В, а при коливанні флюгерки біля 180° через замикаючий геркон $S1$ - 0 В (заземлення на корпус).

На рис.5.21 наведені принципові електричні схеми формувача $U1$ (на транзисторі $V1$), блоку контролю *БК* (мультивібратор на транзисторах $V2$ і $V3$) і каналу вимірювання середньої швидкості вітру, який складається з масштабного дільника (тригери $D1$ - $D6$), електромеханічного цифрового лічильника V_c, проміжних формувачів на транзисторах $V5$ і $V6$, і схеми скидання масштабного подільника на нуль (на транзисторі $V4$).

При вимірюванні середньої швидкості тумблером $S1$ подають живлення (-12 В) на $U1$, *БК* і генератор $G1$ (*ОП* імпульсів) датчика (рис.5.20), б). В результаті цього від $U1$ на схеми середньої швидкості починають надходити імпульси групи *ОП* (*БК* поки не генерує, тому що тумблер $S3$ «Контроль» знаходиться в положенні «Вимк.», при якому живлення на мультивібратор не надходить). Потім скидають показання V_c на нуль (натискаючи кнопку лічильника) і поворотом рукоятки (на пульті позначена середня швидкість) заводять пружину годинникового механізму *ГМ* до положення «10», і через 1-2 хв його кулачок на 10 хв замикає контакти мікроперемикача $S2$, в результаті чого подається живлення в канал середньої швидкості.

Через 10 хв кулачок *ГМ* відпускає кнопку мікроперемикача $S2$ і він розмикає ланцюг живлення середньої швидкості (через короткий час після цього годинниковий механізм зупиняється).

Середня швидкість визначається за показаннями V_c, одиниця низького розряду якого дорівнює 0,1 м/с. Це забезпечується установкою коефіцієнту перерахування на масштабному подільнику, при якому при середній швидкості повітряного потоку 60 м/с, що діє на повітряний гвинт датчика, середня частота надходження імпульсів на виході $D6$ дорівнювала б 0,1 Гц. Установка коефіцієнта перерахування на масштабному подільнику проводиться при повірці анеморумбометра (після його виготовлення і при повторній повірці).

На рис.5.22 наведені схеми формувачів $U2$ (на транзисторі $V1$) *ОС* групи імпульсів, $U3$ (на транзисторі $V2$) *СД* групи імпульсів і вимірювального каналу миттєвої і максимальної швидкості вітру, який складається з тригеру (на транзисторах $V3$, $V4$) і частотоміра (перетворювача частота-струм на транзисторі $V5$ з міліамперметром V_i).

Вимірювання миттєвої і максимальної швидкості проводиться після замикання контактів вимикача $S1$ (при подачі живлення 12 В).

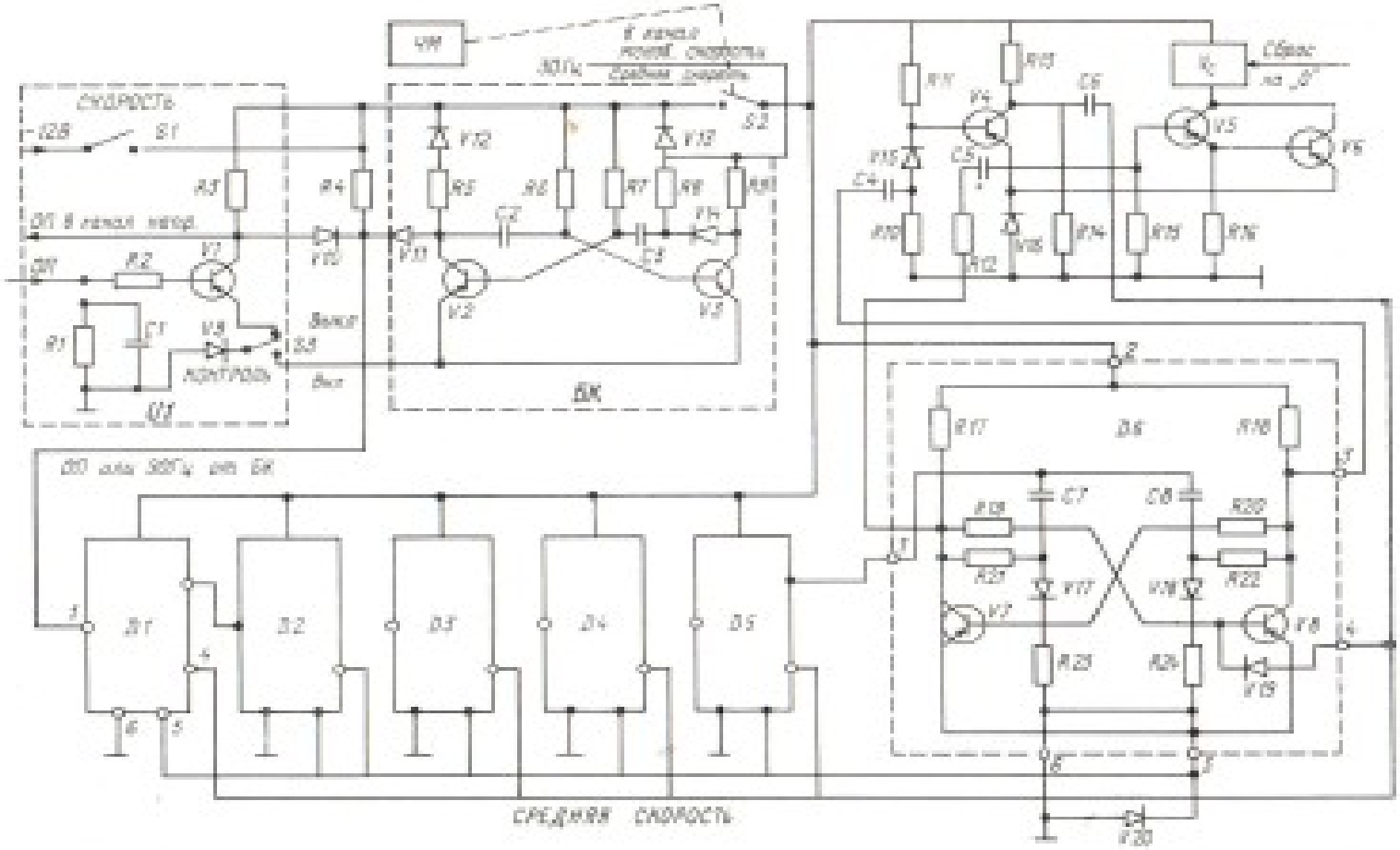


Рис.5.21 Електричні принципові схеми вимірювального каналу середньої швидкості, формувача і блоку контролю.

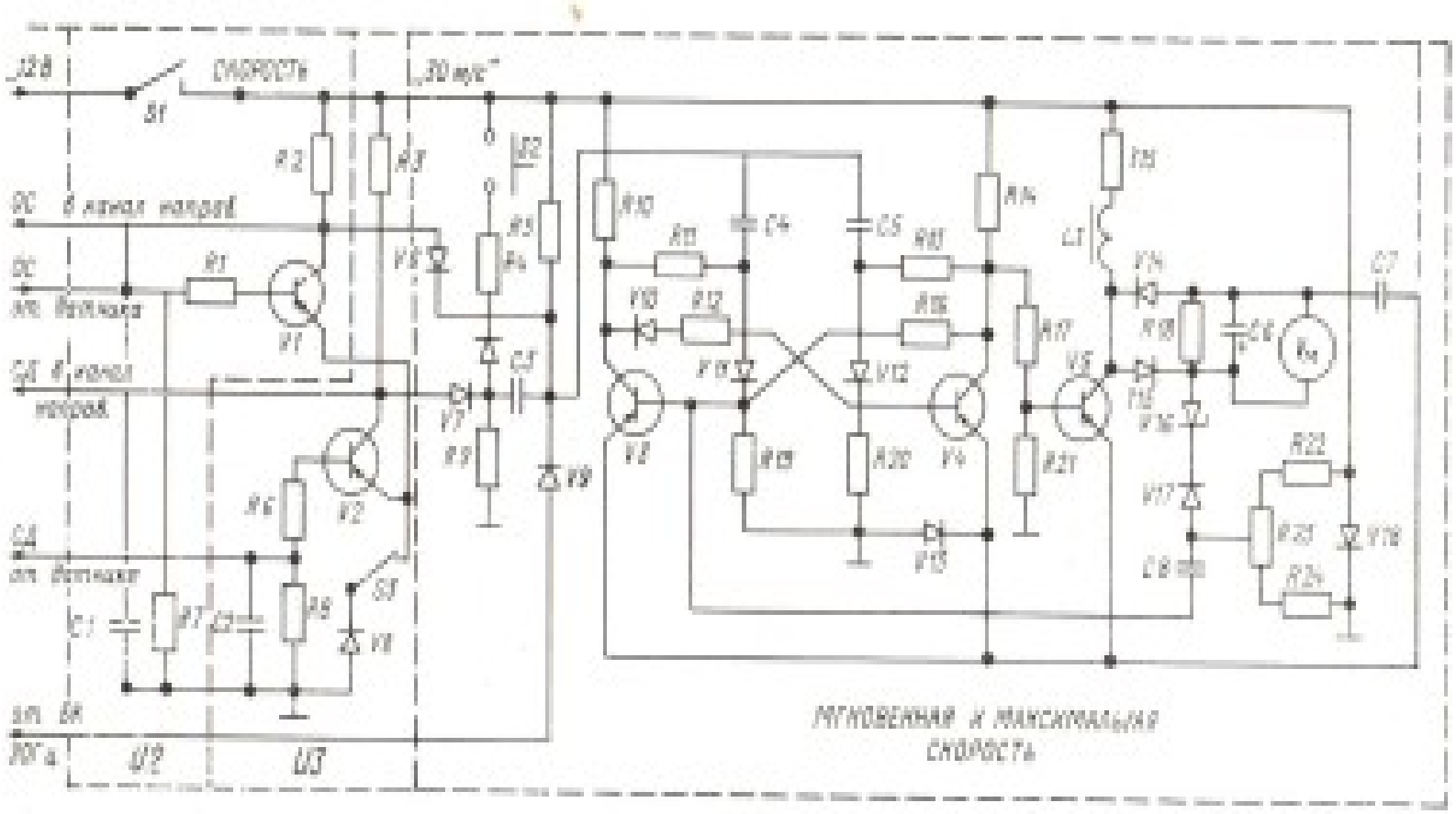


Рис.5.22 Електричні принципові схеми вимірювального каналу миттєвої і максимальної швидкості і двох формувачів

При цьому імпульси групи *ОС* від $V2$ (при розімкнутому мікроперемикачі $S2$ або одночасно імпульси груп *ОС* і *СД* від $V2$ і $V3$ (при замкнутому) надходять до входу тригера і потім на частотомір, який перетворює імпульси, що надходять, в електричний струм, по силі пропорційний частоті надходження імпульсів і вимірюваний міліамперметром.

При надходженні чергового імпульсу від тригера транзистор $V5$ закривається і при цьому відбувається зарядка дозуючого конденсатора $C7$ (через $V14$, $L1$, $R15$). В момент, коли напруга на $C5$ стає достатньою для пробою стабілізатора $V16$, відбувається перекидання тригера. При цьому відкривається транзистор $V5$ і дозуюча ємність $C7$ виявляється паралельно підключеною (через $V5$ і $V15$) до накопичувальної ємності $C6$, яка більше ніж двадцятикратно переважає по ємності $C7$. Тому при їх паралельному включенні майже весь заряд з $C7$ переходить на $C6$, а $C6$ порівняно повільно розріджується через міліамперметр V_i. При надходженні наступного імпульсу процес повторюється. Чим більша частота надходження імпульсів, тим швидша будуть надходити заряди з $C7$ на $C6$ (підвищуючи її напругу) і тим більше будуть показання V_i.

Контроль справності каналу миттєвої швидкості здійснюється при увімкненому каналі середньої швидкості за показниками лічильника V_c. Для цього замикають контакти тумблера $S1$, а тумблер $S3$ «Контроль» (його рукоятка знаходиться на задній стінці пульту) переводиться в положення «Вкл.». В результаті цього в канали середньої і миттєвої швидкості замість імпульсів від формувачів починають надходити імпульси від *БК* з частотою 30 Гц. Після цього скидають показання V_c на нуль і заводять годинниковий механізм середньої швидкості. Після виробки середньої швидкості показання V_i і V_c не повинні відрізнятися більше ніж на 1 м/с, а в противному випадку показання V_i коректують за допомогою потенціометра $R23$ (рис.5.22), доступ до движка якого є через отвір в кришці пульту.

На рис.5.23 наведена схема вимірювального каналу напрямку, який вмикається за допомогою тумблера $S1$, через контакти якого надходить також живлення на генератори імпульсів *ОП* і *СД* датчика. На вхід каналу напрямку починають надходити імпульси всіх трьох груп (*ОП*, *ОС* і *СД*). В залежності від команди, що надходить від СПФ датчика (0 або -12 В) на автоматичне реле (перемикач діапазонів на транзисторах $V4$ і $V5$ з виконавчим реле $K1$). В канал напрямку на вхід тригера (на транзистори $V1$, $V2$) через комутуючі контакти 3, 4, 5 реле $K1$ надходять імпульси групи *ОС* або *СД*, а імпульси групи *ОП* не комутуються і надходять на другий вхід тригера. При надходженні від ВПФ сигналу 0 В обмотка реле $K1$ знеструмлена і в цьому положенні

(наведеному на рис.5.23) замкнуті його контакти 3, 4 і 7, 6. Через контакти 3, 4 на вхід тригера надходять імпульси групи *ОС*, про що сигналізує лампочка $H1$ (живиться через контакти 7, 8), і показання φ° потрібно знімати за шкалою 0 - 360°. При надходженні сигналу від СПФ -12 В реле $K1$ спрацьовує, його нормально розімкнуті контакти 1, 2 замикаються і через них вмикається живлення блокування реле (від схеми $V4$ і $V5$), контакт 3 перемикається з контакту 4 на контакт 5, розриваючи ланцюг надходження імпульсів групи *ОС* на вхід тригера і замикаючи ланцюг надходження імпульсів групи *СД*.

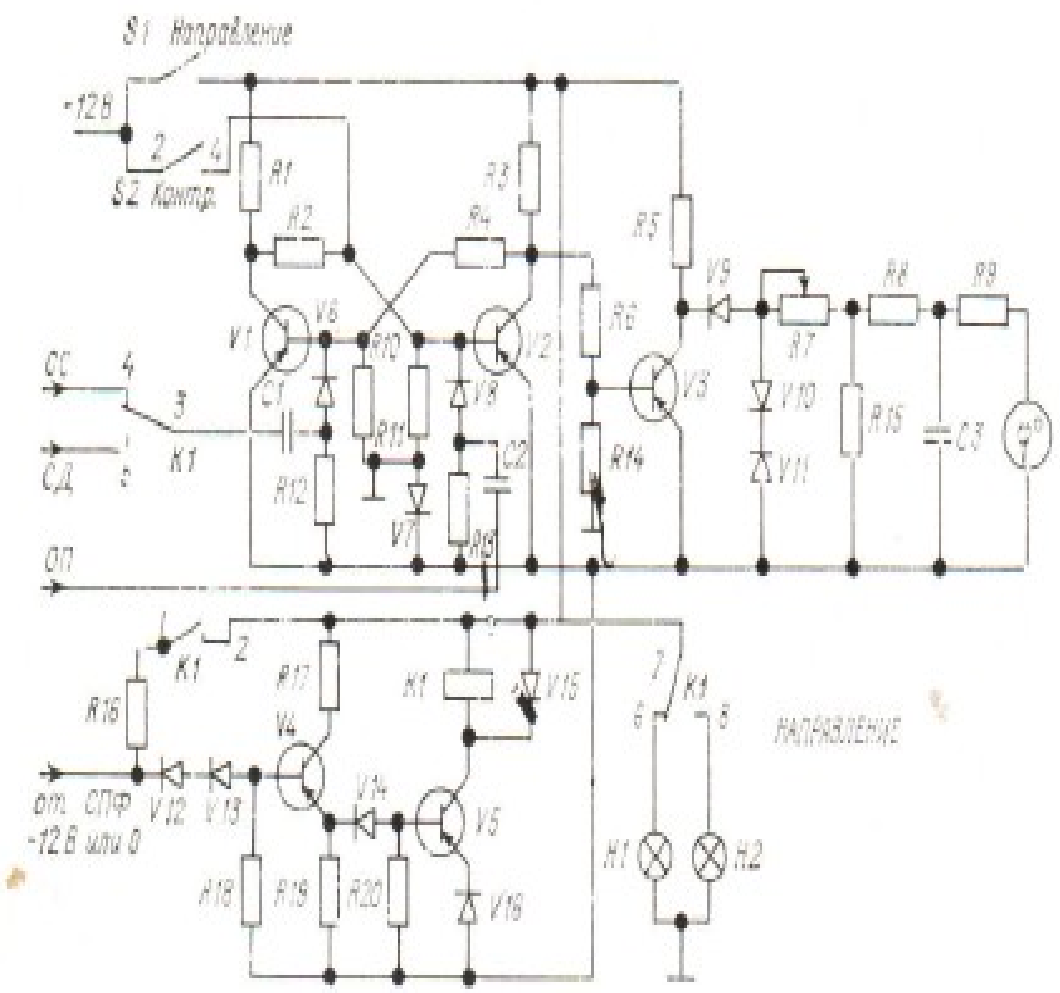


Рис.5.23 Електрична принципова схема каналу напрямку

Контакт 7 перекидається з контакту 6 на контакт 8, лампочка $H1$ гасне і засвічується лампочка $H2$, сигналізуючи, що показання приладу φ° потрібно знімати за шкалою 180 - 0 - 180°. При наступному надходженні від СПФ сигналу 0 живлення реле $K1$ припиняється (база $V4$ заземлюється), якір реле відпускається, контакти повертаються в

початкове положення, вказане на схемі, і у вимірювальний пристрій починають надходити імпульси групи *ОС*.

З виходу тригера сформовані імпульси надходять на вхід формувача (інвертор на транзисторі $V3$) і з його виходу подаються на подільник $R7$, $R8$, стабілізуються ($V10$, $V11$) по амплітуді і надходять до вказівника φ° з фільтром, який згладжує, ($R8$, $C3$, $R9$).

Монтаж схем, зображених на рис.5.21 – 5.23, здійснений на чотирьох платах пульту.

При вимірюванні напрямку щоб уникнути великих похибок потрібно уважно слідкувати за тим, за якою шкалою потрібно знімати показання φ°. Необхідно враховувати, що зразу після перемикання шкал можливі помилкові показання приладу, тому в тих випадках, коли показання φ° близькі до границь шкал, відлік потрібно проводити не раніше ніж через 2 хв після увімкнення вимірювальної схеми (тумблером $S1$ «Напрямок»), протягом яких не повинно бути перемикання шкал.

Контроль справності роботи каналу напрямку здійснюється при замкнутих контактах тумблера $S2$ «Контроль» (і замкнутому $S1$). Через контакти $S2$ на установочний вхід тригера (на $V2$ через опір $R2$) надходить постійна напруга, в результаті $V2$ весь час відкритий, а вихідний інвертор (транзистор $V3$) закритий, що відповідає 360°. Показання φ° не повинні відрізнятися від цього більше ніж на $\pm 2^\circ$, в противному випадку їх коректують за допомогою потенціометра $R7$, установка якого здійснюється через отвір в кришці пульту, помічений надписом «Напрям».

Контрольні запитання:

1. Що є первинними перетворювачами напрямку вітру ?
2. Що є первинними перетворювачами швидкості вітру ?
3. Як проводиться установка флюгеру на метеорологічній станції ?
4. Для чого призначений ручний чашковий анемометр з лічильним механізмом ?
5. Для чого призначений анеморумбометр М-63М-1 ?
6. Що можна виміряти за допомогою анеморумбометра М-47 ?
7. Якою чутливістю володіє анемометр М-25 ?
8. Як проводиться обробка стрічок реєстратора М-97 ?

6. ВИМІРЮВАННЯ ОПАДІВ ТА ВИПАРОВУВАННЯ

6.1 Загальні відомості.

Опадами називають воду, яка випадає в рідкому або твердому вигляді на поверхню земного шару і наземні предмети з хмар і з повітря

внаслідок конденсації водяної пари, що знаходиться в ній (останні – продукти конденсації – іноді називають гідрометеорами).

Опади в залежності від їх фазового стану розділяють на тверді, рідкі і змішані. До рідких відносять дощ, росу; до твердих – сніг, град, снігову крупу, ожеледицю, іній.

Опади, які випадають на земну поверхню, вимірюються кількісно товщиною шару води в міліметрах, який би утворився на горизонтальній поверхні від опадів, що випали, при відсутності просочення в землю, стікання та випаровування цих опадів. Кількість опадів звичайно визначають для певних проміжків часу і обчислюють з точністю до 0,1 мм.

Дані про кількість опадів, які випали за відносно великі проміжки часу, не завжди достовірні. Одна і та ж кількість опадів, які випали за різні проміжки часу, може дати цілковито різний ефект. Так, наприклад, 30 мм опадів, які рівномірно випали протягом доби, це дощ невеликої інтенсивності, а 30 мм опадів, які випали протягом 10 хв, це – зливовий дощ, який може викликати в деяких місцях небажані наслідки. Тому проводиться безперервна реєстрація опадів, які випали, за допомогою самописів. Отримані записи дають можливість визначити кількість опадів, їх розподіл в часі та інтенсивність випадання.

Вимірювання кількості опадів та інтенсивності рідких опадів ще не дають всіх необхідних даних для обліку водного балансу. Тому виникає необхідність в спостереженнях над сніговим покривом, головним чином, з метою визначення запасів води, які містяться в ньому. Всі необхідні для цього дані отримують під час періодично проведених снігозйомок.

Рідкі і тверді опади, які випадають на поверхню землі і різних споруджень внаслідок конденсації водяної пари повітря (роса, ожеледиця, іній та ін.), в багатьох випадках оцінюються тільки якісно шляхом візуальних спостережень. Проте ж опади, які можуть впливати (корисно або шкідливо) на будь-які галузі народного господарства, вивчаються детально. Так, наприклад, дані про утворення ожеледі на проводах отримують за допомогою установленого на станції ожеледного станка, визначаючи масу льоду на погонному метрі проводу, форму і структуру його утворення.

6.2 Вимірювання опадів за допомогою опадомірів і дощомірів.

Для вимірювання кількості випадаючих на горизонтальну поверхню рідких і твердих опадів найбільш широко застосовуються відносно прості установки – опадоміри і дощоміри.

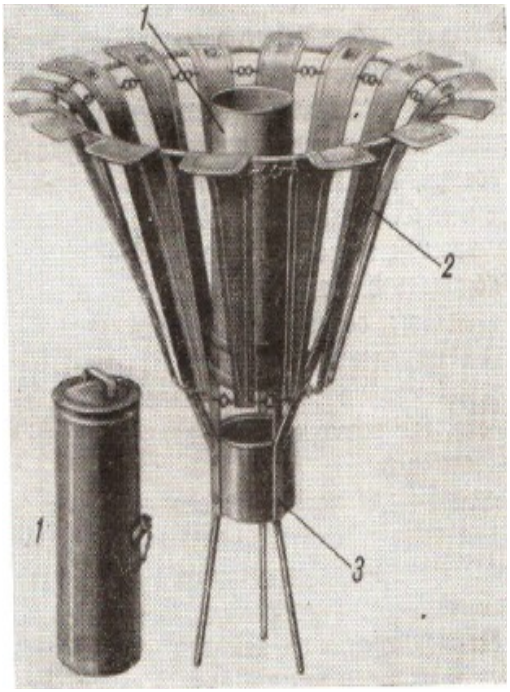
Основними частинами цих установок є посудина для збирання опадів, вітровий захист і мірний стакан. Вітровий захист призначений

для зменшення завихрень, які утворюються при вітрі навколо і всередині опадозбірної посудини. Завихрення заважають вільному попаданню опадів в посудину, що приводить до похибки вимірювань – звичайно до заниження рідких опадів і завищенню кількості твердих (через надув сніжинок в посудину при відсутності снігопаду з навколишніх предметів).

Приймальна поверхня опадоміра (отвори, через які опади попадають в опадозбірну посудину) повинна мати строго певну площу. Кількість опадів, які попали в посудину, вимірюють за допомогою спеціального мірного стакану і, віднісши до площі приймальної поверхні опадоміра, розраховують товщину шару води, який могли б утворити опади, що випали.

Застосовуються опадоміри, які дозволяють виміряти кількість опадів, що випали за короткий час (за добу) і, які випали за тривалий час (до року).

Опадомір (рис.6.1), що застосовується на гідрометеорологічній мережі для вимірювання рідких і твердих опадів, складається з двох змінних відер (опадозбірних посудин), однієї кришки до відра, тагана для установки відра, планочного захисту і вимірювального стакану.



Відро опадоміра металеве, висотою 40 см, с приймальним отвором 200 см^2. Верхній край відра зміцнений жорстким кільцем, що забезпечує збереження форми і площі приймального отвору відра.

Всередині відра упаяна діафрагма, що має форму усіченого конусу з отвором для стоку. Для зменшення випаровування опадів з відра в літні місяці в отвір діафрагми вставляється лійка з невеликим отвором.

Рис.6.1 Опадомір Третьякова: 1 – опадозбірні посудини; 2 – планковий захист; 3 - таган

До відра припаяний носик для зливу зібраних опадів і вимірювальний стакан. Носик закривається ковпачком, який прикріплений ланцюжком до відра. Відро ставиться на таган на виступи його ніжок. Таган кріпиться до стовпа або підставки. Вітровий захист складається з 16 трапецієподібних вигнутих за певним профілем планок, підвішених за вушки на металевому кільці, яке за допомогою чотирьох кронштейнів кріпиться разом з таганом.

Планки розташовані на однаковій відстані одна від одної і скріплені між собою зверху і знизу ланцюжками. Таке кріплення дозволяє планкам коливатися від поривів вітру, струшувати сніг, що попав при цьому на них. У зібраному опадомірі верхні краї планок повинні знаходитися в одній горизонтальній площині з верхнім краєм відра.

Вимірювальний стакан опадоміра служить для вимірювання опадів, які попали в відро опадоміра. Його шкала має 100 поділок. Ціна поділки 2 см ^{3}, що при площі приймального отвору 200 см ^{3} відповідає 0,1 мм опадів $\left(\frac{2\ cì^{\ 3}}{200\ ñì^{\ 3}} = 0{,}01\ ñì \right)$.

<u>Установка опадоміра</u>. Опадомір установлюється на метеорологічній площадці на дерев'яному стовпі або на спеціальній металевій підставці так, щоб висота приймальної частини опадоміра (верхній зріз відра) над поверхнею була 2 м.

В місцевостях, де висота снігового покриву буває вище 1 м, потрібно мати для установки опадоміра на зимовий період другий стовп на 1 м вище стовпа, який використовується в звичайних умовах. Опадомір потрібно переставляти на запасний стовп при висоті снігового покриву більше 60 см.

Необхідно слідкувати за тим, щоб сніг не затримувався на планках захисту опадоміра, що особливо часто трапляється при випаданні мокрого снігу.

Якщо опадомір установлюють поза метеорологічною площадкою, то місце його установки повинне бути віддалене від оточуючих будов, дерев та інших предметів на відстані не менше ніж їх трикратна висота. При меншому віддалені сніг, що здувається вітром з близько розташованих предметів, може попадати в опадомір. Ці предмети можуть заважати попаданню опадів в опадомір, особливо при косому (не вертикальному) їх випаданні.

Проте опадомір не треба установлювати в цілком відкритому місці, де можливе видування з нього вже зібраних твердих опадів.

Кращим місцем для установки опадоміра є достатньо відкрита галявина, оточена зі всіх сторін деревами, або площадка, оточена будівлями.

<u>Вимірювання кількості</u> зібраних опадоміром опадів на станціях (незалежно від того, помітив спостерігач чи нема їх випадання) проводяться чотири рази на добу і обчислюються для доби. В строк спостереження спостерігач приносить з приміщення станції пусте відро, закрите кришкою (щоб уникнути попадання в нього опадів), і замінює ним відро, яке стоїть на тагані опадоміра. Потім з установленого (пустого) відра знімають кришку і закривають нею зняте відро (з опадами) і уносять його в приміщення, де проводять вимірювання

кількості опадів. Для цього їх через носик відра зливають у вимірювальний стакан, установлений на горизонтальній поверхні, і по положенню рівня води відносно його шкали відраховують кількість поділок стакану з опадами, округлюючи до цілих поділок. Якщо кількість опадів менше однієї поділки стакану, то кількість опадів вважають рівним нулю, проте враховують, що опади в цей день були, але в малих кількостях. Якщо опадів виявиться більше 100 поділок стакану, вимірювання потрібно проводити частинами, кожний раз записуючи результат, а потім підсумовують (для контролю в скобках записують кількість вимірювань).

Якщо опади тверді або змішані, то вимірювання проводять тільки після того, як опади повністю розтануть. Не можна прискорювати танення надмірним нагріванням відра – це приводить до похибки через випаровування частини опадів.

Суму опадів за добу обчислюють як суму результатів вимірювань за чотири строки.

При вимірюванні кількості опадів за допомогою опадоміра виникає похибка за рахунок не врахування змочування відра рідкими опадами (або розтаненими твердими) і часткового випаровування опадів з відра. Тому до результатів вимірювань вводять поправки: для твердих опадів, які випали в кількості більше 0,5 мм, поправка + 0,1 мм; для рідких опадів до 0,5 мм - поправка + 0,1 мм і більше ніж 0,5 мм – поправка + 0,2 мм.

Дощомір ґрунтовий (рис.6.2). Вітровий захист повністю не запобігає утворенню завихрень біля приймального отвору опадоміра, отже, не виключають викликані ним похибки. Ґрунтовий дощомір установлюється в заглибленні в землі так, щоб його приймальний отвір знаходився на рівні землі, де швидкість вітру близька до нуля.

Отже, біля приймального отвору опадоміра завихрення мінімальні. В приймальний отвір дощоміра попаде опадів стільки ж, скільки їх випаде на будь-яку іншу рівну за площею ділянку горизонтальної поверхні, що знаходиться найближче. Досвід експлуатації дощоміра ще недостатній для оцінки всіх його якостей.

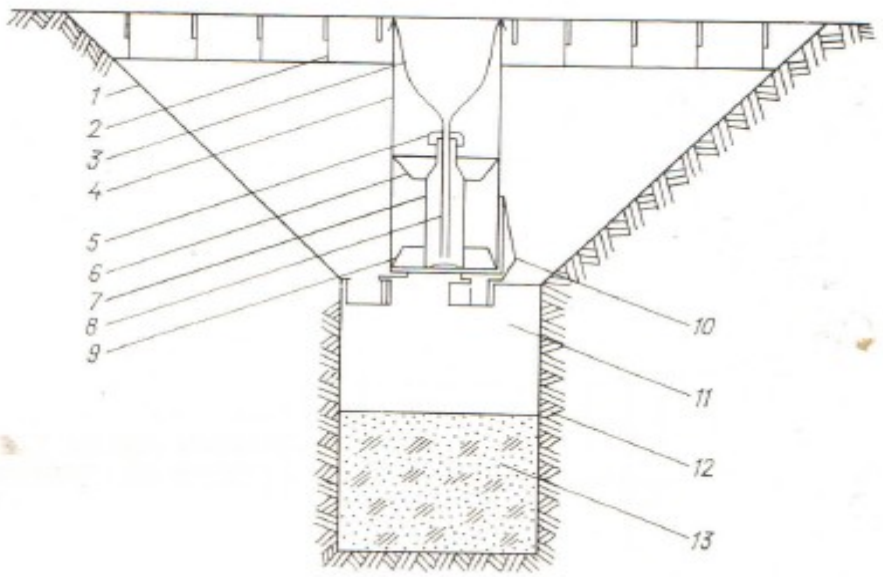


Рис.6.2 Схема ґрунтового дощоміру: 1 – заглиблення в ґрунті; 2 - захисні ґрати; 3, 8 – водозбірна лійка; 4 – відро; 5 – пробка; 6 і 9 - фіксатори; 7 – водозбірна посудина; 10 – таган; 11 - опорний циліндр; 12 – ґрунт; 13 - водопроникне засипання.

Опадомір сумарний. В деяких випадках необхідно вести облік кількості опадів, які випадають вдалині від метеорологічної станції в ненаселених пунктах і важкодоступних місцях. Тоді використовують сумарні опадоміри, які дають можливість вимірювати суму опадів, які випали зразу за великий строк – до 12 місяців. Такі опадоміри повинні задовольняти деякі вимоги. Вони повинні бути легкими, що забезпечити їх доставку для установки в малодоступні райони (наприклад, в гори), міцними і надійними. Це дозволить їм працювати значний час без догляду і без псування у випадках замерзання і танення опадів, які в них знаходяться. Злив опадів з дощоміра повинен бути зручним.

Є декілька видів сумарних опадомірів, які задовольняють вимогам в тій чи іншій мірі. На рис.6.3 наведений один з них, опадомір М-70. Він складається з приймальної частини (труби 2 з внутрішнім діаметром 252,2 мм) з приймальним отвором площею 500 см ^{2}, яка скріплена з посудиною для збирання опадів. Посудина складається з двох з'єднаних між собою частин: верхньої 4 знімної і нижньої 5 конусоподібної. Об'єм нижньої частини посудини розрахований на вміщення в розтаненому вигляді всіх опадів, які можуть випасти в місці установки опадоміра за весь строк між вимірюваннями.

Конічна форма нижньої частини 5 збірної посудини зменшує можливість його розривання при замерзанні і таненні опадів, які в ній

збереглися. Верхня частина посудини має вікно, яке щільно закривається засувом 3. Вікно служить для виїмки опадів при вимірюванні.

Зверху до приймальної частини за допомогою кронштейна прикріплений планковий вітровий захист 1.

Опадомір установлюється на підставці так, щоб верхній край приймальної частини опадоміра знаходився на висоті 2 м від поверхні ґрунту (снігу).

Для збереження зібраних опадів, коли вони знаходяться в рідкому стані, від випаровування в опадомір наливають деяку кількість мінерального масла, яке спливає на поверхню води.

Рис.6.3 Опадомір сумарний: 1 – вітровий захист; 2 – труба; 3 – вікно із засувом; 4 і 5 - верхня і нижня частини водозбірної посудини; 6 – підставка.

В установлені строки проводять вимірювання опадів. Для цього за допомогою паяльної лампи або багаття підігрівають нижню частину посудини, якщо в ній є тверді опади, то до повного їх танення. Потім відкривають засов вікна і за допомогою гумового шланга (сифону або гумової груші з довгим наконечником) переливають воду в запасну посудину, потім вимірюють за допомогою вимірювального стакану. При вимірюванні потрібно виключити масло, яке попало у вимірювальний стакан разом з опадами.

Після вимірювань опадомір підготовлюють для збирання опадів до наступного вимірювання. В опадозбірну посудину наливають масло (замість злитого з опадами) і закривають засов вікна.

6.3 Снігомірні спостереження.

Ці спостереження включають до себе вимірювання висоти і густини снігового покрову, визначення запасів води, які в ньому містяться, наявність і товщина льодяної кірки, шару води на ґрунті, стан поверхні ґрунту (поталий чи мерзлий), визначення ступеня покриття ґрунту снігом і характер залягання снігового покрову.

Висоту снігового покрову вимірюють за допомогою снігомірних рейок, густину снігового покрову – за допомогою снігоміра, запас води в снігу обчислюють за густиною і висотою снігового покрову або вимірюють за допомогою спеціальних радіоактивних установок, товщину льодяної кірки – за допомогою лінійки. Інші спостереження над сніговим покровом проводять візуально.

Розрізняють такі основні види спостережень за сніговим покровом: 1) щоденні; 2) ландшафтно-марштрутні снігомірні зйомки; 3) спеціальні снігомірні зйомки.

Строки проведення цих спостережень та їх об'єм визначені Настановою.

Спостереження ступеня покриття поверхні ґрунту, характеру залягання і висоти снігового покрову на станції починають з моменту утворення до моменту повного зникнення снігового покрову.

Снігомірні зйомки в полі проводять тоді, коли снігом покрито не менше ½ видимої околиці, а на лісових ділянках – не менше половини площі ділянки снігозйомки. В балках і ярах снігозйомки припиняються з початком весняного сніготанення. Ступінь покриття визначається щоденно і оцінюється за 10-ти бальною системою (0,1 площі видимої околиці відповідає одному балу). Щоденно оцінюють також характер залягання: рівномірний (без заметів), з невеликими заметами, без оголень, з таловинами, лежить місцями.

Висота покрову вимірюється щоденно за трьома постійними снігомірними рейками, які установлені в середині площадки у вершинах трикутника (близького до рівностороннього) з сторонами приблизно 10 м. Одна з рейок установлюється біля ґрунтових глибинних термометрів (на постах поблизу опадоміра). Висота снігового покрову обчислюється як середнє арифметичне з відліків за трьома рейками.

Постійні снігомірні рейки установлюються восени до утворення снігового покрову.

Вибравши місце, вбивають в землю дерев'яний загострений брусок довжиною 40 – 60 см, на якому є запиляна сходинка. До бруска пригвинчують снігомірну рейку так, щоб вона стояла вертикально. Рейка – дерев'яний брусок довжиною приблизно 2 м, перерізом 6×2,5 см зі шкалою з ціною поділки 1 см і оцифруванням через 10 см. При установці нульова поділка рейки повинна поєднуватися з поверхнею ґрунту. Відліки по рейці роблять, знаходячись від неї на відстані 5 – 6 кроків, не порушуючи стану снігового покрову біля рейки. Відліки проводять завжди з однієї і тієї ж точки.

При вимірюванні потрібно враховувати, що під впливом вітру, біля самої рейки часто утворюється заглиблення в снігу, тому при відліку

потрібно нахилитися можливо ближче до поверхні снігового покрову. Відлік роблять з точністю до сантиметра.

Переносна снігомірна рейка служить для вимірювання висоти снігового покрову при маршрутних зйомках. Вона являє собою прямокутний дерев'яний брусок довжиною 180 см, перерізом 4×2 см. На одній стороні рейки нанесена шкала з ціною поділки 1 см. На її нижньому кінці є залізний наконечник, нижній загострений край якого співпадає з нулем шкали. Переносні рейки виготовляють також з дюралюмінієвих трубок.

Для визначення висоти снігового покрову переносну рейку заглиблюють загостреним кінцем вертикально в сніг, при цьому вона повинна дійти до поверхні ґрунту, але не заглиблюватися в ньому.

Якщо при вимірюваннях виявляється, що під шаром снігу поверхня ґрунту покрита льодом, то потрібно, вимірявши товщину снігу, розгребти його і виміряти лінійкою товщину льоду.

Вимірювання густини снігу. Густину снігу обчислюють з точністю до 0,001 г/см ^{3} з подальшим округленням до 0,01 г/см ^{3} (вона чисельно дорівнює відношенню маси води (г), що знаходиться в снігу, до об'єму снігу (см ^{3})). Для вимірювання густини служать снігоміри.

Похідний ваговий снігомір (рис.6.4). Він складається з снігового забірника, вагів і лопатки.

Висота циліндра 60 см, площа його внутрішнього поперечного перерізу 50 см ^{2}. На циліндрі знаходиться вільно пересувне кільце 9 з дужкою 7, за яку забірник підвішується до вагів.

Ваги складаються з рейки коромисла 1 зі шкалою з ціною поділки 5 г (5 г снігу при перерізі забірника 50 см ^{2} відповідає шару води товщиною в 1 мм). Кожна десята відмітка оцифрована. До рейки прикріплені дві призми. Одна призма ребром спирається на підвіс 5, що має кільце 4, за який утримують ваги під час зважування. Друга призма (на рис. не видна) служить опорою для гака 6, до якого підвішується сніговий забірник. Для

Сніговий забірник складається з металевого циліндру 10, який з одного кінця може закриватися кришкою 11, а з іншого закінчуватися кільцевим стовщенням 8 з пилкоподібною ріжучою кромкою. Вздовж утворюючої циліндра нанесена шкала з поділками від нуля, співпадаючого з ріжучою кромкою кільця 8, до 50 см.

Рис.6.4 Снігомір ваговий: 1 – рейка коромисла; 2 - пересувний вантаж; 3 – стрілка; 4 – кільце; 5 - підвіс; 6 – ґак; 7 – дужка; 8 – стовщення з ріжучою кромкою; 9 – пересувне кільце; 10 – циліндр; 11 – кришка; 12 – лопаточка.

урівноваження вагів служить вільно пересувний по рейці пересувний вантаж 2, через круглий отвір якого видна шкала. На нижній скошеній кромці отвору є риска, що служить вказівником для відліку за шкалою вагів при їх урівноваженні. Рівновага вагів визначається по співпаданню стрілки 3, закріпленій на рейці 1, з рискою під прямокутним вікном підвісу 5.

Контроль нуля вагів здійснюють при урівноваженні їх снігозабірником з пустим циліндром. При цьому вказівник (риска) на вантажі повинна співпадати з нулем шкали, в противному випадку в показання вагів вводять поправку на зміщення нуля.

Вимірювання за допомогою снігоміра проводять в такому порядку. Перевіряють показання вагів при зважуванні пустого снігозабірника (ці показання із зворотнім знаком приймають за поправку при подальшому зважуванні). Знімають снігозабірник і, відкривши кришку, прямовисно заглиблюють його ріжучою кромкою в сніг.

Якщо сніговий покрив менше 60 см, то, заглибивши циліндр в сніг до притиснення його нижнього краю з поверхнею ґрунту, відраховують висоту снігового покрову за шкалою циліндра (для контролю перед узяттям проби товщину снігового покрову визначають також за допомогою переносної рейки). Потім закривають кришку і лопаткою, що входить до комплекту снігоміру, зчищають сніг з однієї сторони забірника, акуратно підсовують її під його ріжучий край так, щоб весь сніг, що міститься в циліндрі, там і залишився. Не віднімаючи лопатки, виймають забірник з снігу і перевертають його кришкою до низу.

Очищають забірник від снігу, який пристав зовні, підвішують його за дужку до гачка вагів (ставши спиною до вітру) і, тримаючи в руці ваги за кільце, зважують забірник зі снігом. Потім результат записують (кількість поділок шкали вагів).

Розрахунок густини снігу визначається за масою і об'ємом його проби. Маса взятої проби дорівнює $5n$, де n - кількість поділок, відрахованих по шкалі вагів, а об'єм складає $50h$ см ^{3}, де h - відлік за шкалою забірника глибини його заглиблення при взятті проби. Звідси густина снігу d дорівнює

$$d = \frac{5n}{50h} = \frac{n}{10h}.$$

В тих випадках, коли сніговий покров більше 60 см, весь стовп снігу вирізують послідовно в декілька прийомів. Для визначення густини в цьому випадку: h дорівнює сумі всіх відліків висот при взятті проб; n - сума всіх відліків по вагах. При снігомірних зйомках густину снігу вимірюють один раз в кожній точці. Густина снігу вимірюється тільки при висоті снігового покрову не менше 5 см.

На основі даних про густину снігу і висоту його шару можна визначити запас води в сніговому покрові, тобто висоту шару води, який утвориться при таненні всього снігового покрову. Об'єм води взятої проби дорівнює $5n$. Цьому ж чисельно дорівнює і її маса. Розділивши цей об'єм на площу перерізу снігоміра і помноживши на 10, отримаємо висоту шару води в міліметрах.

Визначення висоти і густини снігового покрову проводиться на спеціально вибраних площадках і по маршрутам. Характер площадок маршрутів, а також строки проведення вимірювань визначаються Настановою. Запис вимірювань висоти і густини снігового покрову і в всі необхідні при цьому обчислення проводяться в спеціальній книжці.

Вимірювання запасів води в сніговому покрові за допомогою радіоактивних ізотопів. Цей метод оснований на принципі вимірювання ослаблення сніговим покровом потоку гама-променів від джерела, розташованого під сніговим покровом.

Як джерело береться яка-небудь радіоактивна речовина з великим на півперіодом розпаду (не менше декількох років), звичайно Co^{60}, так, що інтенсивність його випромінення протягом декількох зимових місяців можна вважати постійним. Вимірювання інтенсивності випромінення проводиться за допомогою спеціальних лічильників і перелічильних пристроїв, які керують електромеханічними лічильниками.

Перелічувальний пристрій застосовується для того, щоб електромеханічний лічильник відмічав не кожну частинку, що проходить через γ- лічильник, а деяку певну кількість їх.

Таким чином, для отримання дійної кількості частинок, які попали до лічильника за деякий проміжок часу, потрібно показання електромеханічного лічильника помножити на перелічувальне число (кількість спрацювання γ- лічильника, викликає одне спрацювання електромеханічного лічильника).

Крім пере лічильних пристроїв, застосовуються й деякі інші, що дають безпосередньо показання пропорційні інтенсивності γ-випромінення. Чим інтенсивніше радіоактивне джерело, тим більше частинок пройде через лічильник, що знаходиться на деякій фіксованій відстані від нього. Якщо між радіоактивним джерелом і лічильником знаходиться шар води, інтенсивність потоку, що попадає на лічильник, слабшає в залежності від товщини шару води. Ця залежність виражається рівнянням

$$I = I_0 e^{-l\mu},$$

де I_0 - інтенсивність потоку при відсутності шару води;

I - інтенсивність потоку за наявності шару води;

e - основа натуральних логарифмів;

μ - лінійний коефіцієнт ослаблення випромінення;

l - товщина шару води або запас води в снігу, виражений в сантиметрах.

Обчислення запасу води в снігу роблять за формулою

$$l = \frac{1}{0{,}4343\,\mu} \lg \frac{I_0}{I},$$

яка отримана з попереднього рівняння.

Значення I_0 і I можуть бути замінені числами N_0 і N, які відповідають кількості частинок (γ-квантів), що пройшли через γ-лічильник за деякий інтервал часу (наприклад, за 1 хв) при відсутності води і за наявності шару води товщиною l.

В цьому випадку остання формула набуває вигляду

$$l = \frac{1}{0{,}4343\,\mu} \lg \frac{N_0}{N}.$$

Коефіцієнт μ визначають, вимірявши за t хв N_0, а потім N при відомому шарі води l. Якщо μ визначають при снігу, необхідно провести контрольне визначення запасу води в снігу, наприклад, ваговим снігоміром, для деяких випадків з різними запасами води в сніговому покрові. В кожному окремому випадку доцільно провести 2 – 3 визначення μ, взявши середнє арифметичне з отриманих результатів.

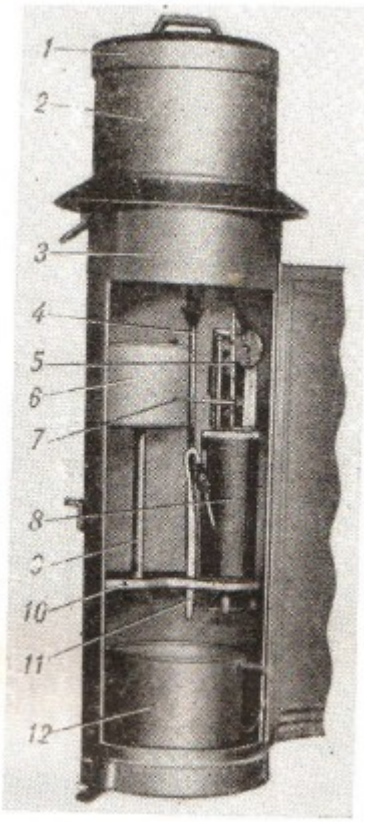
Вимірювання запасів води в снігу таким способом можуть бути проведені як за допомогою станційних установок, де радіоактивний випромінювач закріплюється заздалегідь восени і не знімається протягом всієї зими, так і за допомогою похідної установки.

Цей же метод застосовується для визначення вологовмісту ґрунту на різних глибинах за допомогою спеціальних так званих радіоактивних снігомірів.

6.4 Реєстрація кількості та інтенсивності опадів.

Безперервна реєстрація опадів дозволяє визначити їхню кількість, інтенсивність і час випадання. Самопис-плювіограф, що застосовується в мережі, може реєструвати тільки рідкі опади.

Плювіограф **П-2** (рис.6.5). за допомогою цього приладу може бути виміряна загальна кількість опадів, які випали за певний проміжок часу, та їх інтенсивність.



Інтенсивність опадів прийнято обчислювати в мм/хв з точністю ± 0,1 мм, що потребує реєстрації кількості випадаючих опадів в достатньо великому масштабі. Це забезпечується спеціальним пристроєм плювіографа, який дозволяє в потрібному масштабі на одній стрічці безперервно реєструвати опади, що випали протягом доби, послідовно по частинам (по порціях) в 10 мм.

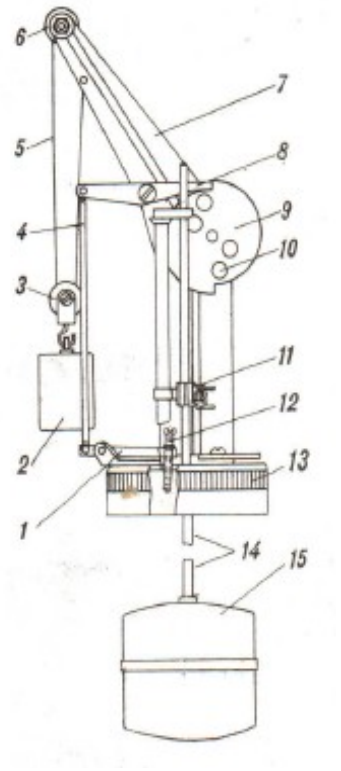
Рис.6.5 Плювіограф П-2: 1 – кришка; 2 - приймальна посудина; 3 – кожух; 4 - трубка з лійкою; 5 - механізм примусового зливу; 6 - барабан годинникового механізму; 7 – перо; 8 - поплавкова камера; 9 - стойка; 10 – плата; 11 – сифон; 12 - водозбірна посудина.

Плювіограф змонтований в металевому кожусі 3 циліндричної форми з дверцятами, які відчиняються. Приймачем опадів служить циліндрична посудина 2 з приймальною площею 500 см ^{2} (при зберіганні і транспортуванні закривається кришкою 1). Посудина 2 має конусоподібне дно, яке повернуте вниз вершиною, частина посудини переходить в конус с декількома отворами для стоку води. До дна посудини припаяна зливна трубка, яка вставлена у лійку трубки 4, що йде від поплавкової камери 8, яка за допомогою гвинта закріплена на платі 10. Всередині камери 8 знаходиться порожній металевий кронштейн зі стрілкою, яка закінчується пером 7. Поперечний переріз камери 8 в 9,7 рази менше перерізу приймальної циліндричної посудини 2. Збоку камери 8 є трубка, в яку за допомогою мідної гільзи вставляється скляний сифон 11.

На кришці поплавкової камери 8 змонтований механізм примусового зливу 5 опадів з поплавкової камери 8 через сифон 11. Він забезпечує початок зливу строго при певному рівні заповнення камери (певній кількості опадів в камері) незалежно від інтенсивності випадання опадів.

На платі 10 закріплена стойка 9 з віссю для годинникового механізму з барабаном 6 для стрічки. На дні кожуха стоїть водозбірна посудина 12, куди через сифон зливаються опади з камери 8.

Опади, які попали до посудини 2, стікають по зливній трубці циліндричної посудини і попадають в камеру 8. Поплавок, що знаходиться в камері 8, піднімається. Перо, підняте поплавком, креслить на стрічці криву, кут нахилу якої тим більше, чим інтенсивніші опади. Коли вода в поплавковій камері досягає рівня, на якому знаходиться коліно (вигин) сифону, повинен початися її злив з камери. Коли в камері 500 см ^{3} води, автоматично починає діяти механізм примусового зливу, ударом занурюючи поплавок, різко цим підвищуючи рівень води в камері, забезпечуючи надійне заповнення сифону і швидкий злив води з камери.



Механізм примусового зливу детально наведений на рис.6.6. Храпове колесо 9 з барабаном (на рис. не видно) можуть обертатися навколо осі, прикріпленої до кронштейну 7 (кронштейн установлений на кришці 13 поплавкової камери). Нитка 5, яка перекинута через ролик 6 і блок 3, одним кінцем прикріплена до барабану, а іншим – до кронштейна 7. До блока 3 підвішений вантаж 2.

Рис.6.6 Механізм примусового зливу: 1 - важіль; 2 – вантаж; 3 – блок; 4 – тяга; 5 – нитка; 6 – ролик; 7 – кронштейн; 8 - собачка; 9 – храпове колесо; 10 – палець; 11 – упор; 12 – гвинт; 13 - кришка поплавкової камери; 14 – ток; 15 – поплавок.

Якщо обертати храпове колесо 9 за годинниковою стрілкою, намотуючи тим самим нитку на барабан, то блок 3 з вантажем 2 піднімається вверх. Після цього вантаж 2, натягуючи нитку, прагне повернути храпове колесо 9 за годинниковою стрілкою. Цьому обертанню заважає собачка 8, вісь якої також прикріплена до кронштейна 7. Собачка з’єднана за допомогою жорсткої тяги 4 з важелем 1, на другому кінці якого є упорний гвинт 12. Кінець гвинта 12 знаходиться в поплавковій камері, куди він вільно проходить через отвір в кришці камери 13. При заповненні камери до заданого рівня поплавок 15 спливає наверх і виштовхує гвинт 12, який перемістившись вверх, через важіль 1 і тягу 4 вивільнить храпове колесо 9 від собачки 8. Під впливом вантажу 2 храпове колесо 9 почне обертатися проти годинникової стрілки і, натиснувши пальцем 10 на упор 11 штоку 14,

штовхне поплавок 15 вниз, частково заглибивши його в воду. При заглибленні поплавка у воду рівень води в камері різко підніметься; вода, попадаючи в сифон 11 (рис.6.5), заповнює її і починає виливатися з камери (до повного зливу). При зливі води поплавок опуститься і вивільнить гвинт 12, в результаті чого вивільниться собачка 8, яка повернеться в початкове положення, зупинить за другий зуб колесо 9 (воно встигає повернутися тільки на 180°). Опускання поплавка потягне за собою опускання пера вздовж утворюючої барабану.

Якщо випадково при першому заглибленні поплавка зливу води не відбудеться, то поплавок знову спливе, натисне на упорний гвинт 12 і операція примусового зливу повториться.

Регулювання початкового моменту зливу в залежності від рівня води в поплавковій камері проводиться гвинтом 12 і сифоном 11 (рис.6.5), переміщенням його в муфті.

При зливі опадів з поплавкової камери перо повинне опуститися до нульової поділки на стрічці. До моменту початку зливу перо повинне перейти за 50-у поділку на стрічці (відповідне 10 мм опадів). Опади, які зливаються з поплавкової камери через сифону трубку, попадають до водозбірної посудини 12 (рис.6.5). Кількість їх, виміряна мірним стаканом, служить для контролю суми опадів, зареєстрованих плювіографом.

Плювіограф установлюється на метеорологічній площадці на дерев'яному стовпі і закріплюється за допомогою тросових відтяжок. Кріплення повинно бути надійним, щоб виключити вібрацію реєструю чого механізму плювіографа при сильних вітрах і при відчиненні дверей кожуха під час зміни стрічки і т.д.

Верхній край плювіографа повинен знаходитися на висоті 2 м від поверхні землі і бути в строго горизонтальному положенні (перевіряється рівнем).

На період з температурою повітря нижче 0º плювіограф знімається, підлягає консервації і зберігається в приміщенні станції.

Догляд за годинниковим механізмом плювіографа, установка і зміна стрічок на барабані годинникового механізму проводяться таким же чином, як і у інших самописів (наприклад, термографа).

Реєстрація кількості випадаючих опадів проводиться на спеціальних діаграмних стрічках (рис.6.7). На цих стрічках нанесені горизонтальні лінії, які утворюють шкалу кількості опадів від 0 до 10 мм і ціною поділки 0,2 мм, вертикальні лінії, які утворюють шкалу часу в межах доби з ціною поділки 10 хв, і похилі під кутом 45°, що служать для оцінки інтенсивності випадання опадів. Кут нахилу 45° відповідає інтенсивності 0,04 мм/хв.

Дані про кількість та інтенсивність опадів можуть бути отримані тільки після обробки запису на стрічці.

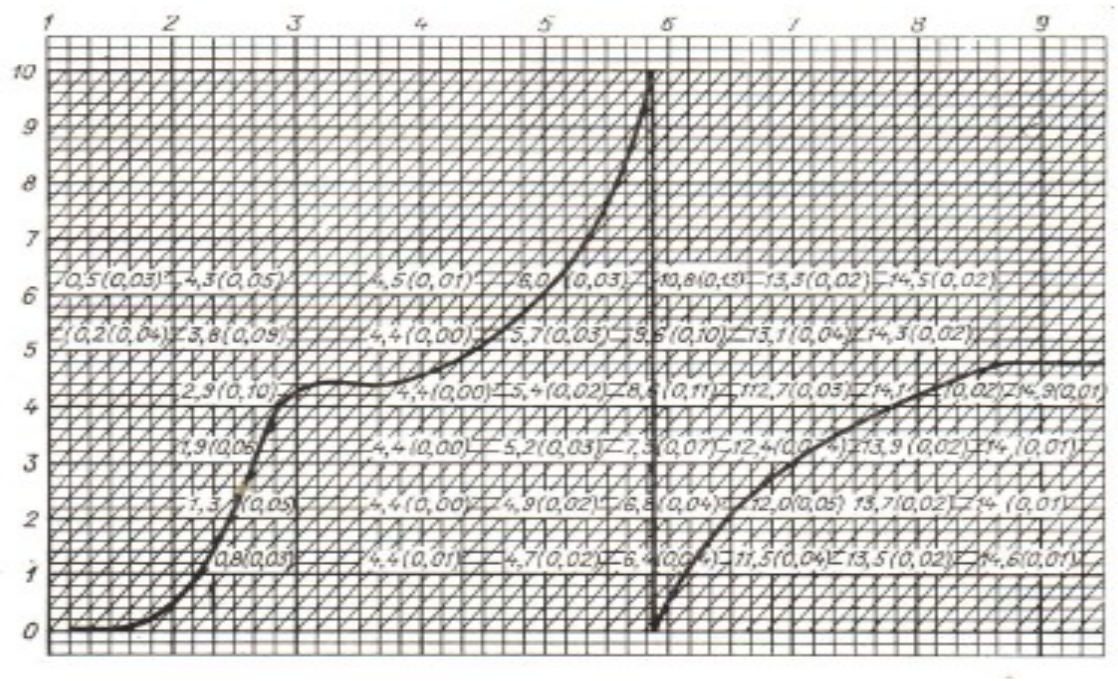


Рис.6.7 Зразок запису плювіографа

Обробка проводиться за записом кожного окремого дощу (окремий дощ – триваючий з перервами не більше 1 год) по 10-хвилинним інтервалам. Результати обробки записуються на стрічці у вигляді стовпчиків з 6 строк. Стовпчики розташовуються у відповідних годинних ділянках стрічки, а строки – на лініях стрічки, цифрованих 1, 2, …, 6 (по осі ординат у відповідності з порядковим номером 10-хвилинного інтервалу в кожній годині. Для кожного 10-хвилинного інтервалу записують кількість опадів, які випали від початку дощу до кінця даного 10-хвилинного інтервалу. При визначенні кількості опадів вносять «поправку на злив», тобто на похибку в запису, який виходить при зливі через недосконалість механізму зливу).

Вона визначається як частка від ділення різниці виміряної кількості опадів, що злилися за добу в контрольну посудину (включаючи штучно злиті опади, які залишилися в поплавковій камері після останнього зливу), і кількості опадів, визначеній за записом на стрічці, на кількість зливів. Поправку вводять, якщо вона більше ± 0,1 мм, починаючи з запису після першого зливу. На наведеному прикладі вона дорівнює 0,3 мм. Після кожного зливу до кількості опадів за записом додають 10 мм (відповідних одному зливу). Якщо злив відбувається всередині 10-хвилинного інтервалу, то кількість опадів за цей інтервал дорівнює сумі зареєстрованих до і після зливу. Середня інтенсивність

випадання опадів визначається для кожного 10-хвилинного інтервалу і визначається як частка від ділення кількості опадів, що випали за інтервал, на 10. Інтенсивність виражається в мм/хв і записується скобках рядом з кількістю опадів.

На станціях при обробці стрічок плювіографа і обчисленні інтенсивності випадання опадів користуються спеціальними таблицями.

6.5 Вимірювання інтенсивності випадання і осадження ожеледиці, паморозі і роси.

Ожеледь, паморозь, роса та іній, які осаджуються на поверхні землі, споруд та інших предметів, є продуктами конденсації водяної пари, що міститься в повітрі. Їх іноді об'єднують загальною назвою – гідрометеори. Деякі з них являють собою практичний інтерес і тому вимірюються.

Вимірювання відкладів ожеледиці, паморозі і мокрого снігу на дротах, високовольтних лініях та лініях зв'язку. Ці осадження, які часто супроводжуються сильними вітрами, можуть привести до обриву дротів, поломки опор та інших споруд. Тому вивчення характеру можливих відкладів на дротах в різних районах країни є важливим для народного господарства заходом.

На метеорологічних станціях проводяться спостереження над ожеледицею, паморозззю і відкладами мокрого снігу. Ці спостереження включають маси і розміри відкладів, а також оцінку їх характеру і структури. Для спостереження над відкладами на метеорологічній площадці (в північній її частині) установлюється ожеледовий станок. Структура відкладів визначається за атласом обледеніння дротів, розробленим В.Є.Бучинським.

Ожеледовий станок (рис.6.8) складається з трьох стовпів 3 (або труб) зі скобами 2, на які вільно навішуються загнутими кінцями чотири дроти 1 (довжиною 104 см і діаметром 5 мм). Стовпи повинні забезпечити можливість підвіски верхніх дротів на рівні 225 см над поверхнею землі. Нижні два дроти при зважуванні ожеледиці знімаються і замінюються запасними.

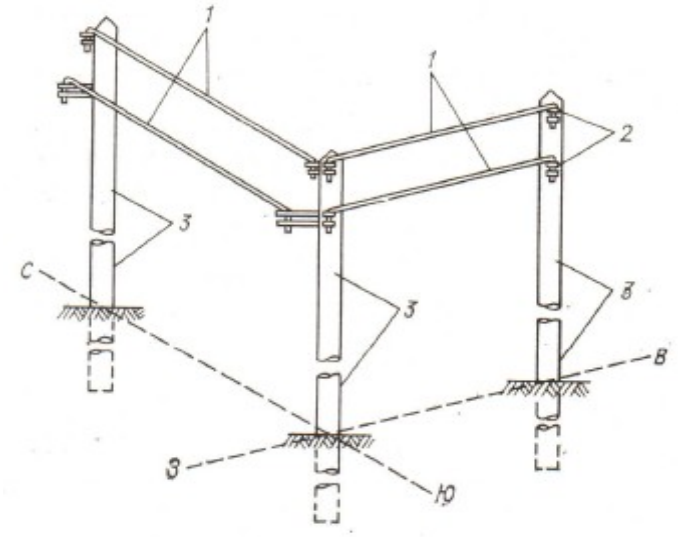


Рис.6.6 Ожеледовий станок: 1 – дроти; 2 – скоби; 3 – стовпи.

Стовпи вкопуються у вершинах прямокутного трикутника, орієнтованого катетами з півночі на південь і з сходу на захід. До станка приставлена драбинка і до одного з стовпів прикріплена снігомірна рейка (її нульову поділку поєднують з поверхнею землі). В момент утворення ожеледиці, паморозі і осідання мокрого снігу до моменту припинення нарощення їх на дротах спостереження по станку проводяться в строки спостережень, які прийняті на станції, але не рідше ніж через 2 год.

Зростання утворень ожеледиці і паморозі, і осідання снігу між двома сусідніми строками визначається на ділянці нижнього дроту довжиною 20 см, який очищують кожний раз після спостережень. Товщина відкладень вимірюється після припинення зростання по двох перерізах – найбільшому і перпендикулярному до нього. Відклади ожеледиці і скловидного снігу перерізом від 10 см, не скловидного снігу і зернистої паморозі від 15 мм і кристалічної пухнастої паморозі від 20 мм визначаються кількісно. Кількість відкладів визначається за масою на ділянці довжиною 25 см одного з нижніх дротів, на якому відкладення виявилося більшим.

Масу відкладу визначають також після припинення нарощування відкладень. Для цієї мети на верхній дріт (з великим відкладенням) одягають спеціальну ванну, закривають її разом з дротом і переносять у приміщення. Замість знятого дроту установлюють запасний.

Масу відкладення на ділянці дроту довжиною 25 см, яка виявилася у ванні, визначають після його танення непрямо, за допомогою вимірювального стакану, в кубічних сантиметрах (об’єм чисельно

дорівнює масі відкладу в грамах). Отриману масу множать на 4, обчислюючи тим самим масу відкладення, яка приходиться на 1 м дроту.

Спостереження за росою. У багатьох районах роса є важливим джерелом зволоження ґрунту.

На метеорологічних станціях проводяться спостереження за росою. При цьому визначають час появи роси, кількість роси, що випала, в міліметрах шару води, моменти досягнення максимального значення і зникнення.

Ці характеристик отримують за допомогою самописа роси - росографа М-35 (рис.6.9 і 6.10).

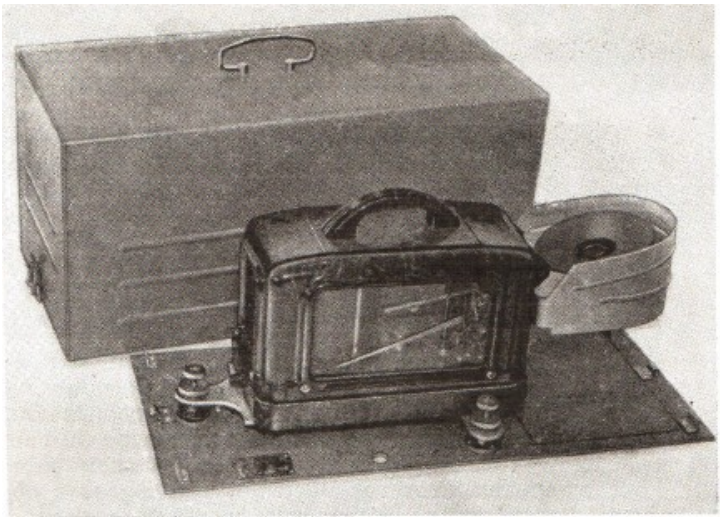


Рис.6.9 Росограф.

Росограф оснований на принципі зважування роси, що випала на приймальну поверхню. Вимірювальним перетворювачем приладу є квадратні ваги. Механізм росографа зібраний на платі і розміщений в пластмасовому корпусі.

Чутливим елементом росографа є два конусоподібних пластмасових збірника роси. Основний верхній збірник 8 служить для збирання роси, яка випала на його верхню поверхню. Нижній збірник 9 служить для збирання роси, що стікає зі збірника 8.

Збірники роси закріплені на зовнішньому (виходить через щілину корпусу) кінці коромисла вагів 10. На другому кінці коромисла, яке знаходиться всередині корпусу, закріплюється урівноважений вантаж 3. Коромисло 10 за допомогою втулки одягнуте на вісь 6. На цій же осі кріпиться стрілка 2 з пером і два стержні 11 з урівноваженим вантажем (квадрантом).

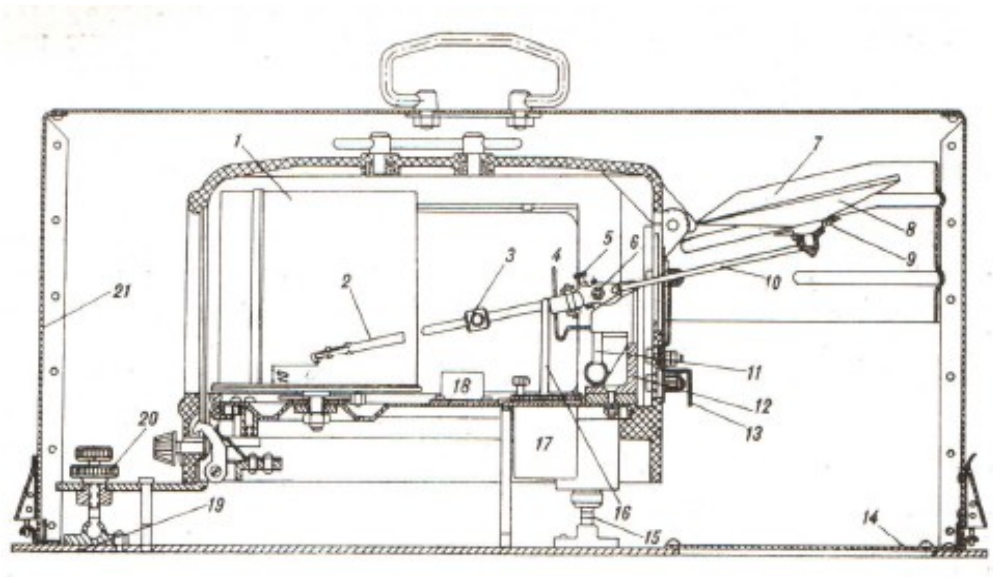


Рис.6.10 Механізм росографа без кожуха: 1 – барабан; 2 – стрілка з пером; 3 – вантаж; 4 – аретир; 5 – гвинт; 6 – вісь; 7 – вітровий захист; 8 і 9 - збірники роси; 10 – коромисло; 11 – стрижні; 12 – кронштейн; 13 – аретир важеля; 14 – пластина зйомна; 15 – гвинти; 16 – шток демпфера; 17 – резервуар демпфера; 18 – рівень; 19 - плата; 20 – гайки; 21 – кришка.

Вісь 4 може хитатися на своїх цапфах в гніздах кронштейна 12. При відсутності роси збірники урівноважуються вантажем 3 і перо стрілки 2 знаходиться на нульовій поділці стрічки, яка надіта на барабан годинникового механізму 1. При випаданні роси вся рухлива система вагів почне повертатися разом з віссю 6 за годинниковою стрілкою. При цьому повертаються стержні 11 з квадрантом, урівноважуючи масу роси, що випала, і перо установлюється на відповідній поділці стрічки. При випаровуванні роси переміщення відбуваються в зворотному напрямку. Звичайно випадання роси відбувається при затишші, але через те, що навіть слабкі пориви вітру можуть впливати на показання росографа (запис виявився б розмазаним), то для виключення цього навколо росоприймача установлений вітровий захист 7, а вимірювально-реєструюча система в росографі має демпфер. Шток демпфера 16 шарнірно з’єднаний з коромислом вагів, а його резервуар 17, в якому знаходиться поршень, заповнюється маслом. Корпус росографа установлений на платі 19, до якої кріпиться захисний кожух. При підготовці приладу до експлуатації з нього знімають кожух і відкривають кришку приладу 21. Демпфер заповнюється маслом. За допомогою регульованих гвинтів 15 росограф установлюється горизонтально за рівнем 18. Перо за допомогою гвинта 5 установлюють на

нульовій поділці стрічки, одягненій на барабан. Потім за допомогою контрольного вантажу, який міститься в центрі росоприймача (входить до комплекту), перевіряється справність приладу.

Для реєстрації роси росограф установлюють на метеорологічній площадці поблизу ґрунтових термометрів безпосередньо на поверхні землі на ділянці, покритій травою, так щоб росоприймач був направлений на південь. Росограф закріплюється за допомогою кілочків або штирів, які вбиваються в землю. Кожух знімається. За допомогою регульованих гвинтів 15 корпус росографа установлюється за рівнем 18 і за допомогою гайок 20 це положення фіксується. Пластина 14 вивільнюється від утримуючих її гвинтів і знімається.

Росограф вмикається на реєстрацію за 1,5 – 2 год до заходу сонця (коли звичайно починається випадання роси) і вимикається через 1,5 – 3 год після сходу сонця (після випаровування роси). Якщо в цей час починається випадання опадів або виникає вітер зі швидкістю більше 3 м/с, то росограф вимикають і заривають кожухом. В денний час і тоді, коли не передбачається випадання роси, прилад повинен бути накритий кожухом і вимкнений (перо за допомогою аретира 4 відводиться від барабану). Реєстрація кількості роси проводиться на спеціальній діаграмній стрічці, розділеній горизонтальними лініями з ціною поділки 0,01 мм і вертикально розташованими дугами, відстань між якими відповідає 15 хв. Обробка запису полягає у визначенні моменту початку випадання роси, моменту випаровування роси, тривалості наявності роси, максимуму і моменту його появи, а також кількості роси, що є в кінці кожної години. Запис даних проводиться на стрічці (рис.6.11).

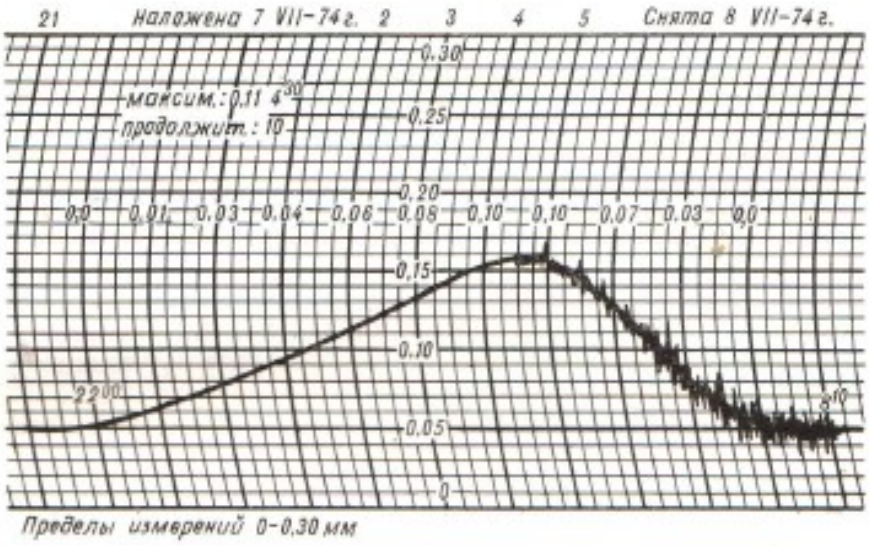


Рис.6.11 Зразок запису на стрічці росографа

Правила обслуговування самописа (одягання стрічки, заправка чорнилами, заведення годинникового механізму барабану, відведення пера від барабану та ін.) такі ж, як і для термографа.

За записами росограф, видимо, не можна відновити точну картину випадання роси на природних поверхнях. Проте росограф дозволяє з достатньою для практики точністю проводити об'єктивні кількісні вимірювання роси.

6.6 Вимірювання випаровування.

Визначення кількості води, що випаровується з ґрунту і з поверхні водойм, необхідне для вирішення багатьох наукових і практичних задач: розрахунків норм зрошення, регулювання стоку водойм, створення великих водоймищ та ін.

Випаровування (пароутворення) виражають в міліметрах товщини шару води, що випарувалася, і визначають з точністю до 0,1 мм. Випаровування обчислюють тільки в теплий час року. Установки для вимірювання випаровування називають випарниками або випаромірами.

Існує декілька видів випарників, основаних на різних принципах дії: на принципі визначення маси води, що випарилася, з впливу тепла пароутворення та ін. Широко застосовані випарні установки основані на визначенні випаровування за рівнянням водного балансу деякого об'єму води або ґрунту, для яких прихід визначається тільки рідкими опадами X, а витрата – випаровуванням Y (інші компоненти виключені). Ці установки складаються з випарників, спеціальних дощомірів і допоміжних пристроїв.

Випарники забезпечують можливість вимірювання алгебраїчної суми випаровування і опадів $Y + X$ (вони мають різний знак) за певний проміжок часу. Опадоміри дозволяють вимірювати кількість опадів X, які випали за цей же час. Таким чином, випарні установки дозволяють визначити випаровування Y шляхом обчислення різниці результатів вимірювань, отриманих за допомогою випарника і дощоміра.

Випаромір **ГГІ-3000**. Випаромір розрахований на установку в ґрунті на водовипаровувальних площадках і на спеціальних плотах у водоймах. Він складається з випарника, дощоміра (ГГІ-3000), бюретки і вимірювальної трубки (рис.6.12).

Випарник являє собою циліндричний металевий бак 1 з конусоподібним дном. Площа його випарної поверхні складає 3000 см ^{3}.

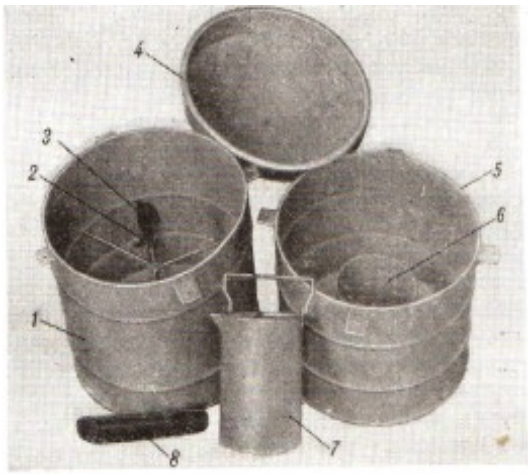


Рис.6.12 Випаромір ГГІ-3000: 1 – блок випаровувача; 2 – кронштейн з голкою; 3 - об'ємна бюретка; 4 – лійка дощоміра; 5 - бак дощоміра; 6 – гніздо відра; 7 – водозбірне відро; 8 – футляр з мірною колбою.

Верхній край баку має козирок шириною 20 мм. В центрі дна випарника вертикально встановлена металева труба, в середній частині прикріплена до стінок бака трьома розпірками. Трубка служить для установки при проведенні вимірювань об'ємної бюретки 3. До трубки прикріплений кронштейн з вертикальною голкою 2, що служить репером рівня води, який повинен підтримуватися в випарнику. Гострі голки знаходяться на 48 мм нижче площини, що проходить через верхній край випарника. Для кріплення випарника при його установці на плоту є чотири вушки. Випарник заповнюється водою з водойми, в якому визначається випаровування. Наповнення проводять до співпадання рівня води у випарнику з вістрям голки 2.

Об'ємна бюретка (рис.6.13) служить для визначення зміни рівня води у випарнику.

Внутрішній діаметр бюретки 50 мм, площа поперечного перерізу 20 см ^{2}, висота 60 мм. Дно бюретки має в центрі установочний стрижень 5, який при вимірюванні випаровування вставляється в центральну трубку випарника. Збоку бюретки, біля самого дна, є невеликий отвір, через який вода з випарника попадає в бюретку. За допомогою вигнутого важеля 3 і гвинта 2, який упирається в кришку бюретки, отвір може щільно закриватися клапаном 4. У верхній частині бюретка має носик 1 для зливу води.

Рис.6.13 Бюретка: 1 – носик; 2 – гвинт; 3 – важіль; 4 – клапан; 5 – стрижень.

Спеціальна вимірювальна скляна колба об'ємом 30 см ^{3}, що закінчується градуйованою циліндричною трубкою з ціною поділки шкали 0,1 мм шару води у випарнику, служить для вимірювання води, захопленої бюреткою (рис.6.12).

Дощомір ГГІ-3000 являє собою циліндричний бак 5 з конусоподібним дном. В бак дощоміра вставляється лійка 4 для прийому опадів, яка має, як і випарник, приймальну площу 3000 см ^{2}. До

верхнього краю лійки припаяний козирок. Опади, які попадають у лійку, через трубку збираються у відрі, що установлене всередині циліндричного гнізда 6, прикріпленого до дна баку 5. Відро розраховане на приймання 15 л опадів, тобто шару опадів 50 мм. Для виймання відра з баку дощоміра служить відкидна ручка. Простір між стінками бака і кожухом для відра служить баластною камерою, в яку закладають камені, куски заліза і т.п., зменшуючи тим самим зайву плавучість дощоміра. Для кріплення дощоміра на плоту він, також як і випаровувач має чотири вушка.

Випарник і дощомір монтуються на спеціальному плоту, так щоб вони були заглиблені в воду до співпадання рівнів води у випарнику та водоймі.

Вимірювання випаровування по випарнику ГГІ. За допомогою об'ємної бюретки та вимірювальної трубки визначають в установлені строки рівень води у випарнику. З цією метою об'ємна бюретка стрижнем 5 (рис.6.13) вставляється до упора в трубку 7 випарника і при відкритому клапані 4 залишається в такому ж положенні одну-дві хвилини, для того щоб рівень води у випарнику і в бюретці вирівнявся. Після цього поворотом гвинта 2 закривають клапан бюретки, знімають бюретку і зливають з неї воду у вимірювальну трубку. Відлік за шкалою вимірювальної трубки проводять з точністю до однієї поділки (результат записують). Після вимірювання воду з трубки виливають назад у випаровувач. Вимірювання кожен раз повторюють тричі. Результат розраховують як середнє арифметичне трьох вимірювань. Якщо рівень води у випарнику понизився більше ніж на 5 мм або підвищився більше ніж на 10 мм відносно вістря голки, то доливають або відливають воду з випарника, обов'язково враховуючи при цьому кількість долитої або відлитої води за допомогою вимірювального стакану дощоміра. При роботі на солонуватій водоймі у випарник при сильному випаровуванні доливають дистильовану воду, а при рясних опадах - воду з водойми для збереження у випарнику води такої ж концентрації, як і у водоймі.

Вимірювання по дощоміру. Опади, зібрані дощоміром ГГІ, вимірюються одночасно з вимірюваннями випаровування по випарнику. Для цього знімають лійку 4, виймають за ручку водозбірне відро 7 і зібрані в ньому опади вимірюють за допомогою мірного стакану.

Кількість опадів визначається за формулою

$$X = kn,$$

де X - кількість опадів, мм;

n - кількість поділок мірного стакана;

k - коефіцієнт, який залежить від співвідношення ціни поділки шкали стакана V_1 см^3 і приймальної площі опадоміра 3000 см^3

$$X = \frac{nV_1 \cdot 10}{3000} = kn.$$

Після вимірювань і запису результатів воду з дощомірного стакана виливають у водойму, водозбірне відро ставлять в гніздо і зверху дощоміра вставляють лійку.

Випаровування між строками обчислюється за формулою

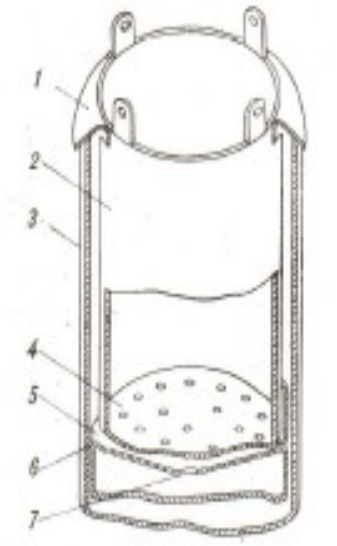
$$Y = k(n_1 - n_2) + X,$$

де Y - кількість води, що випарилася, мм;

n_1 і n_2 - середні значення з трьох відліків по вимірювальній трубці випарника відповідно в попередній і в даний строк;

$k(n_1 - n_2) = Y - X$.

Ґрунтовий випарник ГР-25 (рис.6.14). Цей випарник спільно з ґрунтовим дощоміром застосовують для вимірювання випаровування з ґрунту спеціальних площадок і сільськогосподарських полів. Звичайно використовують одночасно не менше двох випарників.



Випарник складається з внутрішнього циліндра 2 зі знімним дном, зовнішнього циліндра (гнізда) 3, водозбірної посудини 5 для уловлювання води, яка просочилася через моноліт ґрунту.

Циліндр 2 служить для розміщення в ньому ґрунтового моноліту (площа поверхні, що випаровує 500 см ^{2}).

Рис.6.14 Випарник ґрунтовий: 1 – козирок; 2 - внутрішній циліндр (для ґрунтового моноліту); 3 - зовнішній циліндр (гніздо); 4 - знімальне дно; 5 – водозбірна посудина; 6 і 7 – отвори.

Знімальне дно 4 внутрішнього циліндра 2 має отвори для пропускання води, яка просочується крізь моноліт ґрунту. До верхнього краю циліндра 2 приварені чотири вушка з отворами для піднімання випарника за допомогою спеціальних гачків. Циліндр 2 має козирок 1,

який закриває зазор між ним і циліндром 3. Маса внутрішнього циліндра з монолітом ґрунту складає приблизно 40 кг.

Водозбірна посудина 5 являє собою циліндр висотою 30 мм з лійкоподібною кришкою, яка має отвір 7 в центрі для стоку води, що просочилася крізь дно 4 випарника, і отвір 6 для зливу води в дощомірний стакан.

Водозбірна посудина 5 ставиться на дно зовнішнього циліндру 3. Внутрішній циліндр 2 опускається до водозбірної посудини 5 і спирається своїм козирком 1 на верхній край зовнішнього циліндра 3. Рядом з випарником повинен бути встановлений опадомір, бажано з приймальною поверхнею 500 см ^{2}, що дорівнює випарувальній поверхні випарника.

Дощомір до ґрунтового випарника ГР-25 (рис.6.15). Дощомір складається з дощомірного відра 1 і гнізда 2 для його установки.

Дощомірне відро 1 має приймальний отвір 500 см ^{2} і висоту 400 мм. Його пристрій такий же, як у відра опадоміра Третьякова.

В дні гнізда 2 є отвори, через які стікає вода, що надійшла до гнізда. До дна приварені три кронштейна для установки на них дощомірного відра.

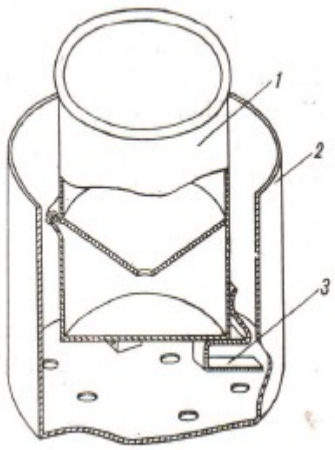


Рис.6.15 Дощомір до ґрунтового випарника: 1 - дощомірне відро; 2 – гніздо; 3 – кронштейн.

Для важення випарника з ґрунтовим монолітом застосовуються ваги, які забезпечують достатньо точне важення маси в 50 кг.

<u>Установка випарника і дощоміра.</u> Для гнізда випарника і гнізда дощоміра викопують круглі ями діаметром 30 – 40 см і глибиною 52 см. Рослинний покров навколо ям необхідно зберегти в природному вигляді. Гніздо випарника вставляють в яму так, щоб його верхній край піднімався над поверхнею на 1,5 см, а гніздо дощоміра – на 5 см. Щілини навколо гнізд засипають ґрунтом і утрамбовують (земля, що залишилася, з площадки прибирається).

Зарядка випарника ґрунтовим монолітом проводиться з спеціально вибраної для цього ділянки таким чином. Внутрішній циліндр випарника (без дна) ставиться на ґрунт, і натиском зверху вдавлюється в нього на 3 – 5 см, потім обкопується навколо, знову вдавлюється і обкопується, і так до тих пір, доки циліндр не заглибиться настільки, що його верхній край

буде на 1 – 1,5 см вище поверхні моноліту. Осаджувати циліндр можна тільки натиском зверху: осадка ударами приводить до деформації моноліту. Потім під випарник підводиться дно. Якщо ґрунт пухкий, дно підсовується на 3 – 5 см під випарник, потім останній обертальним рухом насовується на дно. При щільному ґрунті моноліт потрібно підрізати знизу лопатою, нахилити випарник (не більше ніж на 45°), порівняти нижню поверхню моноліту на рівні з краями циліндру і закріпити дно. Потім щілини між монолітом і стінкою циліндра, якщо вони утворилися, засипають землею, проштовхуючи її за допомогою ножа або стальної лінійки. Зовнішні стінки циліндра і дно очищують від землі, що пристала до них.

Зміна монолітів проводиться один – три рази в місяць в залежності від типу випарувальної площадки.

Випарники зважуються вранці до 9 год, але при росі – після її випаровування. При дощі важення випарників переноситься на інші години поточного дня, після припинення дощу, або на вранішні години наступного дня.

Вимірювання опадів в дощомірі і води, що просочилася крізь моноліт, проводиться безпосередньо перед важенням випарника з монолітом. При тривалих дощах і після сильних злив вимірювання води, що просочилася, необхідно проводити щоденно, не зважуючи випарник, а тільки виймаючи його з гнізда. Щоденні вимірювання закінчуються після того, як надходження води у водозбірну посудину припинилося. Такий порядок дозволяє уникнути переповнення водозбірних посудин випарників.

Вимірювання опадів, зібраних дощоміром і , що просочилися крізь моноліт у водозбірну посудину, проводиться за допомогою дощомірного стакану.

Випаровування обчислюється за формулою

$$E = 0{,}02\left(P_1 - P_2\right) + X + V,$$

де P_1 і P_2 - маса випарника відповідно в попередній і поточний строки, г;

X - кількість опадів, виміряних за допомогою дощоміра;

V - опади, які просочилися у водозбірну посудину.

На деяких станціях застосовуються так звані гідравлічні випарники, розроблені під керівництвом В.А. Уриваєва. За їх допомогою вимірюється випаровування з великих монолітів, важення яких проводиться за допомогою гідравлічних вагів, що складають одне ціле з випарниками. Ці випарники містять пристрій для безперервної реєстрації випаровування з високою точністю.

Контрольні запитання:

1. Що називається опадами ?
2. Яким приладом можна виміряти кількість опадів ?
3. З яких основних частин складається опадомір ?
4. Як проводиться установка опадоміра на метеорологічній станції ?
5. Як вимірюється кількість опадів ?
6. Що являє собою сумарний опадомір і де він використовується ?
7. Як проводять снігомірні спостереження ?
8. Як вимірюється густина снігу ?
9. Як можна визначити запас води в сніговому покриві ?
10. На чому оснований метод вимірювання запасів води в сніговому покриві за допомогою радіоактивних ізотопів ?
11. Яким приладом можна виміряти не тільки кількість опадів, але й їхню інтенсивність ?
12. Як працює механізм примусового зливу ?
13. Де і як установлюється плювіограф ?
14. Як проводиться обробка діаграмних стрічок ?
15. Що являє собою ожеледовий станок ?
16. Яким приладом вимірюється роса ?
17. Що являє собою випаромір ?
18. Для чого потрібна об'ємна бюретка ?
19. Як вимірюється випаровування по випарнику ГГІ ?
20. Коли і як проводяться вимірювання випаровування ?

7. ВИМІРЮВАННЯ ВИСОТИ НИЖНЬОЇ МЕЖІ ХМАР

7.1 Загальні відомості.

Характеристика хмарності потрібна синоптикам для отримання даних про поточну погоду, для прогностичних цілей, а також для

оперативних цілей при обслуговуванні авіації. На станціях у відповідності з Настановою визначаються кількість, форма і висота (нижньої межі) хмар. Кількість хмар визначається візуально за ступенем закритості небосхилу в балах (від 0 до 10). Форма хмар також визначається візуально у відповідності з Атласом хмар. Висота хмар досвідченими спостерігачами може визначатися візуально, проте цей спосіб є ненадійним. Тому на станціях висоту хмар визначають за допомогою куле-пілотів і дальномірів різної конструкції.

У тих випадках, коли виникає необхідність в безперервному оновлені інформації про висоту хмар в будь-який час доби за будь-яких погодних умов, як це має місце на АМСГ при низькій хмарності, застосовуються достатньо складні оптико-електронні дальноміри різноманітного принципу дії і конструкції. За методом вимірювання висоти ці установки можна розділити на дві групи – на світлолокаційні і тріангуляційні.

7.2 Метод куле-пілотів.

Нижня межа хмар може бути визначена як в світлий, так і в темний час доби за допомогою куле-пілотів, які випускаються у вільний політ. Куле-пілот являє собою невелику гумову кулю, наповнену воднем. У вільному польоті куле-пілот переноситься вітром в горизонтальному напрямку і одночасно під впливом вільної піднімальної сили переміщується вверх. Вільна піднімальна сила дорівнює різниці ваги оболонки кулі з воднем і ваги витиснутого ним повітря.

Швидкість піднімання кулі W залежить від вільної піднімальної сили A і розмірів кулі і може бути визначена за формулою

$$W = k\pi \frac{\sqrt{A}}{C},$$

де k - коефіцієнт, що залежить від значення A;

C - довжина окружності кола.

На станціях A визначають, урівноважуючи наповнену кулю вагами, а C визначають за допомогою мірної стрічки. Потім по спеціальних таблицях за значеннями A і C знаходять W в метрах за хвилину.

Спостерігаючи в теодоліт або в бінокль за куле-пілотом, що випущений у вільний політ, визначають за допомогою секундоміра час після випуску, за який куля ввійде в хмари (почне туманитися). Висоту H нижньої межі хмар визначають за формулою

$$H = W\tau, \qquad (7.1)$$

де H - висота нижньої межі хмар, м;

W - вертикальна швидкість куле-пілота, м/хв;

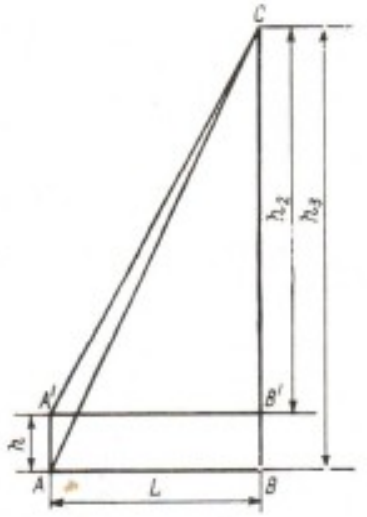
τ - час, хв.

При визначенні висоти нижньої межі хмар в темний час доби, коли куля не видна, до неї прикріплюють (за допомогою шнура) легке джерело світла (спеціальний ліхтарик зі свічкою або малопотужну лампочку накалювання з батарейкою). Маса джерела світла враховується при визначенні підйомної сили і, крім того, табличне значення вертикальної швидкості зменшують на 6 % (зменшення через опір ліхтарика). Цей метод визначення висоти нижньої межі хмар досить простий і доступний. Його недоліками є значна похибка, тривала і трудомістка підготовка до вимірювань, обмеженість застосування при хмарах менше 5 балів і напрямках вітру, при яких куля уноситься від хмар (до просвіту). На станціях сполучають застосування цього методу з вимірюваннями за допомогою прожекторної установки.

7.3 Тріангуляційний метод.

Прожекторна установка **ПИ-45-1.** Прожекторна установка дозволяє визначати висоту хмар тільки в темну частину доби. Вимірювання з її допомогою основане на тріангуляційному методі вимірювання відстаней (в даному випадку висоти). З цією метою промінь прожектора, установленого в точці B (рис.7.1), направляють строго вертикально вверх, а за допомогою теодоліта, установленого в точці A на відстані L від точки B, визначають вертикальний кут, під яким видно світлову пляму (точка C) на хмарі від променю прожектора. Відстань L звичайно приблизно 500 м. Прожектор і теодоліт можуть знаходитися на різній висоті (на височині, на даху будівлі, вишці і т.д.), тобто не в точках A і B, а відповідно в точках A і B' або A' і B. З прямокутних трикутників ABC, $A'BC$ і $AB'C$ відповідно отримуємо

$$H = L\,tg\alpha\ ; \qquad H = L\,tg\alpha' + h; \qquad H = L\,tg\alpha\,. \qquad (7.2)$$



Таким чином, потрібно враховувати тільки висоту місця установки теодоліта над поверхнею землі (через яку змінюється значення кута α). Висота місця установки прожектора не впливає на результат вимірювання.

Рис.7.1 Визначення висоти хмар тріангуляційним методом.

ПИ-45-1 складається з прожектора і кутомірного пристрою (рис.7.2). Всередині кожуха прожектора змонтоване дзеркало, в фокусі якого знаходиться електролампа накалювання. Кожух прожектора зверху закритий захисним склом. Прожектор закріплений на тумбі, яка установлюється на жорсткому фундаменті за рівнем, що знаходиться всередині кожуха. Це забезпечує строго вертикальний промінь прожектора. Всередині тумби, в люку, вмонтовані клемна панель для приєднання дротів живлення лампи накалювання і лінії дистанційного увімкнення її, понижувальний трансформатор і реле. Люк тумби закривається кришкою. В неробочому стані (протягом тривалого часу) прожектор також закривається кришкою. Увімкнення прожектора робиться дистанційно з місця установки кутомірного пристрою.

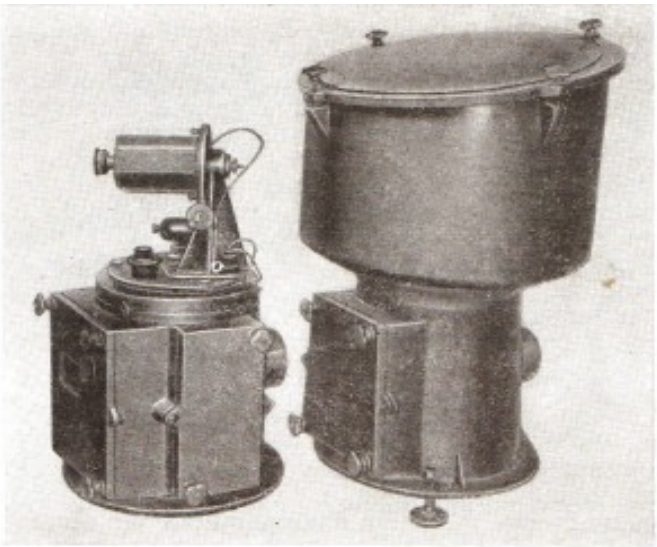


Рис.7.2 Установка прожекторна для визначення висоти нижньої межі хмар.

Кутомірний пристрій також змонтований на тумбі, яка установлюється на фундаменті по рівню. Вертикальний кут α, під яким спостерігач бачить світлову пляму від променю прожектора на нижній кромці хмари, визначається за допомогою зорової труби, зв'язаної з лімбом, шкала якого розділена на кутові градуси. При установці візирного пристрою зорова труба закріплюється так, щоб в площині її вертикальних переміщень знаходилась вісь променю прожектора.

При вимірюванні зорова труба візується на центр світлової плями на хмарі і робиться відлік по шкалі лімба біля нерухомого індексу. По значенню α і відомій відстані L за формулою (7.2) або по спеціально складеній таблиці визначають H. Рекомендована відстань $L = 500$ м. Відносна похибка вимірювання висоти нижньої межі хмар за допомогою ПИ-45-1 складає приблизно 10 %.

Всередині тумби (в люці) кутомірного пристрою змонтована клемна панель для підключення лінії дистанційного увімкнення прожектора і вимикач. Люк закривається кришкою. Живлення ПИ-45-1 може здійснюватися від мережі змінного струму 220 В або акумулятора напругою 24 В.

Розроблені також автоматичні діючі установки, основані на тріангуляційному методі вимірювання висоти. Вони дозволяють отримувати дані про висоту хмар в будь-який час доби. Прожектор цих установок, який називають датчиком світлових імпульсів, оснащений імпульсною лампою, завдяки чому створювана ним на хмарі світлова пляма може бути виявлена і в світлий час доби. Кутомірний пристрій, який називають приймачем світлових імпульсів, містить фотоелектрону схему, що вироблює електричний сигнал при візуванні його на світлову пляму (на хмарі). Такі установки містять реєстратор і вказівники висоти хмар, а також блок керування, який забезпечує автоматичне керування дією всієї установки. Звичайно положення датчика фіксоване, а візирний пристрій приймача рухливий, як це в установці ПИ-45-1, але зустрічаються конструкції, в яких фіксоване положення приймача, а датчик змінює вертикальний кут посилки променю світла. Кут напрямку візирного пристрою приймача безперервно змінюється від 0 до 90º і в зворотному напрямку (в деяких установках коливання візирного пристрою незначні і відбуваються біля світлової плями). В момент попадання світлової плями в поле зору візирного пристрою (в центрі якого знаходиться фотоелемент або фотомножник) фотоелектронний блок приймача видає кут виявлення плями на хмарі. Вихідний перетворювач приймача перетворює кут на висоту (у відповідності з формулою (7.2)), яка видається на реєстратор та індикатори. Випуск установки цього типу (РНМХ М-105) реєстратора нижньої межі хмар обмежений.

7.4 Світлолокаційний метод.

В світлолокаційних установках висота нижньої межі хмар визначається за часом τ, за який світло проходить шлях від точки вимірювання до хмари і назад. Через те, що швидкість світла відома ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с), то, вимірявши τ, можна визначити H за формулою

$$H = \frac{c\tau}{2}. \qquad (7.3)$$

Установки цього типу не потребують вимірювальної бази, тому що посилка світлового імпульсу і прийом його після відбиття від хмари проводяться в одній точці (пункті). Вимірювання за допомогою таких установок можуть проводитися будь-який час доби. Враховуючи велику швидкість світла, пристрої таких установок повинні забезпечити τ з високою точністю (до 10^{-7} сек). При такій точності вимірювання висоти низької хмарності можливе з 30 м. Світлолокаційні установки дозволяють отримувати висоту нижньої межі хмар безпосередньо в метрах.

Вимірювач висоти нижньої межі хмар **ВВХ-1М** складається з датчика і приймача світлових імпульсів (рис.7.3), пульту керування з індикаторно-вимірювальним пристроєм (рис.7.4) і комплекту з'єднувальних кабелів.

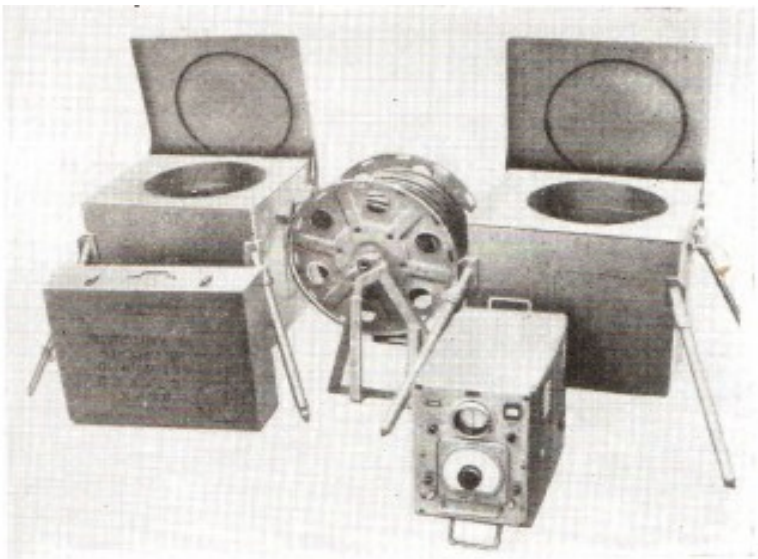


Рис.7.3 Датчик і приймач світлових імпульсів ВВХ-1М.

Датчик і приймач імпульсів установлюються в місці вимірювань, а пульт керування - в приміщенні, віддаленому від них не більше ніж на 150 м. ВВХ-1М звичайно комплектується приставкою ДВ-1М (рис.7.5),

яка покращує його експлуатаційно-технічні характеристики, зокрема, збільшує дистанційність вимірювання до 10 км.

ВВХ-1М забезпечує можливість вимірювання висоти нижньої межі хмар в межах від 30 до 1000 м в будь-який час доби, при будь-якій температурі атмосферного повітря, проте при туманах нижче 30 м і опадах результати вимірювань недостовірні.

При роботі ВВХ-1М датчик за допомогою імпульсної лампи, яка поміщена у фокусі увігнутого дзеркала, посилає вверх імпульси світла. Після відбивання від хмари ці імпульси світла попадають до приймача на увігнуте дзеркало, у фокусі якого розташований катод фотомножника. Оптичні системи передавача (дзеркало і лампа) і приймача (дзеркало і фотомножник) змонтовані на карданних підвісах, які забезпечують при установці їх самоюстировку таким чином, що оптичні осі їх установлюють строго вертикально.

Датчик і приймач імпульсів змонтовані в прямокутних (кубічних) корпусах з круглим скляним вікном з кришками, які керуються електродвигунами. Корпуса датчиків установлюються на опорних ніжках. Завдяки карданним підвісам (оптичних схем) датчик і приймач не потребують точної установки по рівню.

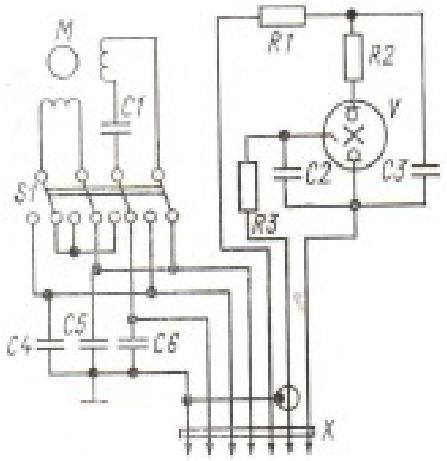
Рис.7.4 Пульт керування з індикаторним пристроєм ВВХ-1М.

В пульті керування зосереджені органи керування датчиком і приймачем імпульсів, вимірювальна схема і блок живлення.

Пульт керування зібраний в корпусі прямокутної форми. На передній його панелі знаходяться екран електронно-променевої трубки, контрольний вимірювальний прилад (з перемикачем) для вимірювання напруги живлення і частоти повторення імпульсів, виведені рукоятки керування і розміщені сигнальні лампочки увімкнення живлення і положення (зачинено або відчинено) кришок датчика і приймача імпульсів.

В пульт керування у відмітчик надходять імпульси напруги від датчика в моменти посилки світлових імпульсів, які випромінюються протягом 5-10 сек з частотою 20 Гц, і від приймача в моменти надходження до нього світлових імпульсів, відбитих від хмари. На екрані електронно-променевої трубки ці імпульси напруги відображаються в моменти їх надходження від датчика у вигляді точки (від якої йде пряма горизонтальна лінія – лінія розгортки часу, що запускається при надходженні імпульсу від датчика) і від приймача у вигляді зображення розгорнутого в часі імпульсу. Відстань між зображеннями точки і переднього фронту імпульса пропорційна часу проходження світла від місця установки датчика до хмари і від хмари до

приймача, отже, пропорційна висоті нижньої межі хмар. Пристрій, за допомогою якого проводиться вимірювання цієї відстані на екрані, забезпечує отримання висоти хмар в метрах.



Як джерело світлових імпульсів передавача імпульсів використана імпульсна лампа V (строботрон типу ІСШ-100-3) (рис.7.5), що знаходиться у фокусі дзеркала.

Рис.7.5 Електрична принципова схема датчика імпульсів ВВХ-1М

Випромінення світлового імпульсу відбувається при розрядці основного розряду через лампу конденсатора $C3$, зарядженого до напруги 4,2-4,4 кВ через кабель від вузла живлення, який знаходиться в пульті керування. Конденсатор піджигу $C2$ заряджається майже за лінійним законом до 1,2-1,5 кВ від вузла живлення через кабель. Імпульсна напруга в ланцюзі основного розряду знімається з мінусової шини і по коаксіальному кабелю подається до відмітчика для запуску розгортки.

Опори $R1$ і $R3$ заважають проникненню у відмітчик перешкод, які виникають при розряді конденсаторів $C2$ і $C3$. Мотор M служить для відімкнення і замкнення кришки. При досягненні нею крайніх положень (відчинена, зачинена) перемикач $S1$ розриває ланцюг живлення мотору і підключає його до ланцюга, по якому буде подане живлення для його зворотного обертання. Конденсатори $C4$, $C5$ і $C6$ зменшують перешкоди, які виникають в ланцюзі живлення мотору.

Відбиті від хмар світлові імпульси попадають на фотомножник B приймача імпульсів (рис.7.6), на опорі навантаження $R3$ якого виділяються імпульси напруги. Останні подаються на двокаскадний підсилювач з високочастотною корекцією, який зібраний на лампах $V1$ і $V2$ (6Ж1П). На виході підсилювача є катодний повторювач на лампі $V3$. З його катодного опору $R17$ імпульси подаються в пульт керування. Схема живлення мотору, що керує кришкою приймача, аналогічна схемі, яка застосовується в передавачі.

Основні вузли пульта: підсилювач, схема АРП (автоматичний регулятор підсилення), генератор чекаючої розгортки та імпульсів, що

підсвічують, генератор каліброваних міток, електронно-променева трубка, блок живлення і органи керування.

Підсилювач сигналів, які надходять від катодного повторювача приймача, зібраний на лампах $V6$ (6Ж1П) і $V7$ (6П1П) за схемою з високочастотною корекцією. По коаксіальному кабелю сигнал від приймача імпульсів надходить на сітку лампи $V6$ і з аноду $V7$ через перемикач $S4$ - на відхиляючі пластини електронно-променевої трубки $V5$, а через опір $R52$ - на схему АРП.

Сигнали, які мають рівень, менший, ніж сигнали, що підлягають регулюванню за допомогою АРП, не пропускаються діодом $V14$, а сигнали, які пройшли через цей діод, подовжуються конденсатором $C37$, попадають на підсилювач АРП, ліва половина лампи $V8$ (6Р1П), і детектуються амплітудним детектором, зібраним на правій половині $V8$. Напруга АРП по кабелю подається до приймача на сітку першої лампи фотопідсилювача $V1$ (рис.7.6).

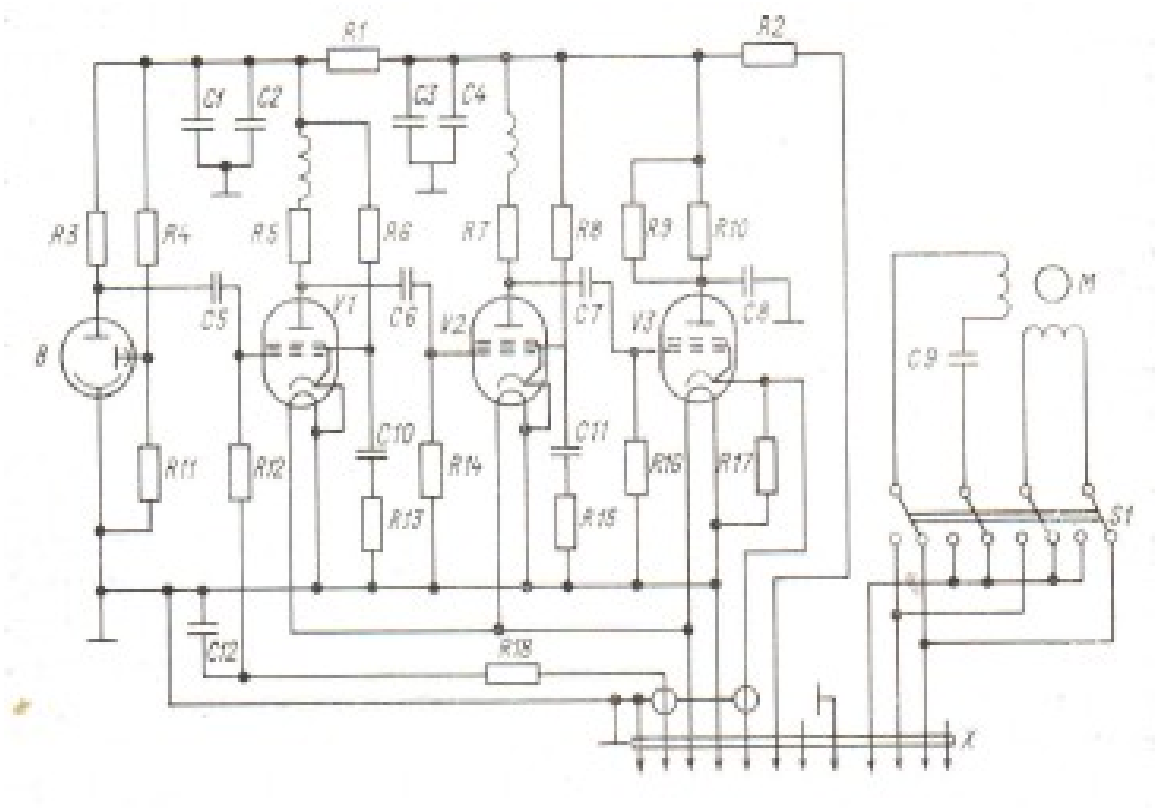


Рис.7.6 Електрична принципова схема приймача імпульсів ВВХ-1М.

Передбачене і ручне регулювання підсилення (положення перемикача $S6$ «РРП»), перехід на яку здійснюється за допомогою потенціометра $R6$.

Генератор чекаючої розгортки складається з мультивібратора на лампі $V1$ (6Н1П) і розрядної лампи $V2$ (6Ж1П). Сигнал запуску подається до пульта (відмітчика) по кабелю, до якого підключені опори $R60$ і $R41$ ($R60$ дорівнює хвильовому опору кабелю). З опору $R41$, що є регулятором рівня синхронізації, імпульс надходить до $V10$, який пропускає тільки його додатну частину. Цей сигнал запускає мультивібратор, на опорі анодного навантаження ($R20$) якого виділяється імпульс, що використовується для відмикання променя електронно-променевої трубки на час прямого ходу розгортки. Від'ємний імпульс, який знімається з опору $R18$, запирає розрядну лампу $V2$, і починається зарядження конденсатора $C8$ через опори $R25$ і $R36$.

Напруга на конденсаторі $C8$ використовується як напруга розгортки. Завдяки нелінійності струму заряда $C8$ (експонента) забезпечується приблизно однакова відносна точність відліку по всьому діапазону вимірювань. Потенціометром $R36$ регулюється стала часу ланцюга заряду (тривалість розгортки).

Генератор каліброваних міток складається з ударно-збудженого контура синусоїдальних коливань частотою 1,5 МГц на лампі $V3$ (6Н1П) і підсилювача-обмежувача на лампі $V4$ (6Ж1П).

Від'ємний імпульс, що знімається з лівого анода $V1$, замикає ліву половину $V3$, в анодному ланцюзі якого увімкнений коливальний контур $L2$, $C12$ і $C13$. Цей же контур є резонансним контуром генератора з індуктивним зв'язком на правій половині $V3$. Коли ліва половина $V3$ відчинена, вона шунтує контур і коливання в генераторі не виникають, коли ж вона замикається, то виникають коливання. Елементи схеми підібрані таким чином, що стала амплітуда цих коливань дорівнює початковій амплітуді ударно-збуджених коливань.

Ці коливання через перехідну ємність $C14$ попадають на вхід лампи $V4$. За рахунок сіткового струму відбувається відсічення анодного струму (відсікаються нижні піки синусоїди), і імпульси, які виділилися на опорі $R31$, через перемикач $S4$ подаються на відхиляючі пластини електронно-променевої трубки.

Для роботи електронно-променевої трубки $V5$ (типу 8ЛО39) необхідна напруга на катоді -2 кВ, на другому аноді – 0, на третьому аноді приблизно +2 кВ. Яскравість зображення на трубці регулюється потенціометром $R15$, фокусування – потенціометром $R38$. Необхідні напруги знімаються з подільника $R4$, $R5$, $R15$, $R37$, $R38$, $R39$, $R44$, увімкненого між 0 і -2 кВ. На модуляторний електрод за час робочого ходу розгортки подається додатний імпульс, що «підсвічує», і відчиняє електронний промінь.

Відхильна напруга подається на одну з пластин трубки $V5$, на другу пластину напруга подається з потенціометра $R13$. За допомогою $R13$ зображення імпульсу напруги, отримане в результаті приходу до приймача відбитого від хмари імпульсу світла, може бути встановлене в центрі екрану трубки $V5$ (для цього напруга, яка знімається з потенціометра $R13$, повинна дорівнювати напрузі на конденсаторі $C8$). Таким чином, сигнал можна спостерігати завжди при нульовому відхиленні електронного променю.

Вісь потенціометра $R13$ зв'язана з вказівником шкали висот, проградуйованій в метрах. За допомогою потенціометрів $R40$ і $R59$ можна регулювати межі напруги, яка знімається з $R13$. Потенціометр $R13$ і вихідний каскад генератора чекаючої розгортки живляться від одного джерела напруги, тому нестабільність джерел живлення практично не відображається на точності вимірювань.

Живлення пульту здійснюється від мережі (220 В, 50 Гц) через блок живлення (БЖ), який містить трансформатори і випрямлячі. З БЖ подаються напруги 6,3 і +250 В для розжарюваних і анодних ланцюгів ламп, +2 кВ і -2 кВ для ланцюгів живлення трубки $V5$, а також висока напруга в ланцюзі живлення основного розряду і підпалювання імпульсної лампи датчика імпульсів. Остання до надходження до імпульсної лампи за допомогою діодів $V12$ і $V13$, і конденсаторів $C67$ і $C39$ випрямлюється і подвоюється, а потім подається до ланцюга підпалювання. З конденсатору $C39$ через дросель $L1$ і випрямляч $V11$ надходить до ланцюга основного розряду імпульсної лампи датчика імпульсів. Регулюючи потенціометрами $R1$ і $R2$ напругу ланцюга підпалення лампи, можна змінювати частоту її спалахів. Блок живлення видає також напругу ~ 220 В у ланцюгу керування кришками датчика і приймача імпульсів.

Керування здійснюється перемикачем $S3$. При відкритих кришках лампочка $H13$ світиться.

Керування приладами ВВХ-1М при змінах здійснюється за допомогою перемикачів і потенціометрів, рукоятки яких розташовані на передній панелі пульту. Тумблером $S2$ вмикають живлення від мережі. Кришки датчика і приймача імпульсів керуються перемикачем. Потенціометром $R15$ регулюють яскравість світіння трубки, а $R6$ - підсилення сигналів. Механічно зв'язані між собою і з движком-вказівником шкали вимірювальний потенціометр $R13$ і самовертальний перемикач $S1$ (вмикає імпульсну лампу) керуються однією рукояткою, при натисканні якої вона входить в зачеплення з віссю движка $R13$, а перемикач $S1$ приводиться в положення, при якому його контакти замикають ланцюги живлення імпульсної лампи і реле $K1$. Контакти $K1$ вмикають лампочки $H9$ - $H12$, які освітлюють шкалу пульта, і

перемикають вимірювальний прилад з ланцюга контролю напруги живлення в ланцюг контролю частоти спалахів імпульсної лампи. Шкала висот пульта має ціну поділки 20 м і цифрована через 100 м.

Для періодичної перевірки і підстройки апаратури призначаються тумблер $S4$, який підключає сигнальні пластини трубки до підсилювача або генератора калібрування, потенціометри регулювання масштабу розгортки $R36$, $R59$ і $R40$, потенціометри регулювання фокусування $R38$ і рівня синхронізації $R41$, потенціометри $R1$ - $R2$, які регулюють частоту повторення імпульсів. (Рукоятки для регулювання розташовані на боковій стінці пульта).

Передавач і приймач установлюються на метеорологічній площадці, а на аеродромах – біля злітно-посадочної смуги біля найближчого, а іноді й у дальнього приводу. Розташовуються вони таким чином, щоб їх кришки відкривалися назустріч одна одній (відкриті кришки захищають приймач від попадання імпульсів світла безпосередньо від передавача), з'єднуються кабелями з пультом і мережею змінного струму. Пульт установлюється в приміщенні на відстані не більше 100 м. Звичайно до пульта підключають приставку ДВ-1М.

Приставка ДВ-1М (рис.7.7) складається з вимірювального блоку, дистанційного пульту керування (ДПК), калібратора, коректора і стабілізатора напруги.

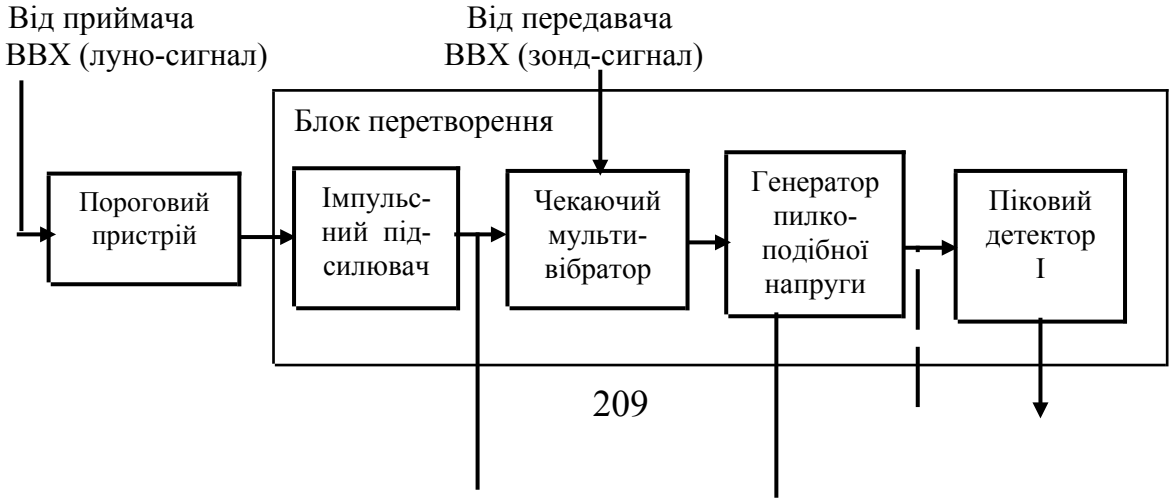
Калібратор дозволяє перевірити збереження градуйованої характеристики вихідної напруги приставки в польових умовах (незалежно від наявності хмарності).

Рис.7.7 Приставка ДВ-1М: 1 - вимірювальний блок; 2 - дистанційний пульт керування; 3 – стабілізатор; 4 – калібратор; 5 - коректор.

ДПК може установлюватися у приміщенні, віддаленому до 10 км від пульта. Це дає можливість використовувати установку як автономний дистанційний, частково автоматизований вимірювач висоти хмар. У тих випадках, коли дистанційність приблизно 100 м задовольняє умовам вимірювань, ДПК установлюють у приміщенні разом з пультом ВВХ. Так роблять і тоді, коли установка ВВХ застосовується як датчик автоматичної станції, при цьому ДПК використовують також для перевірки установки в цілому (по співпаданню показань вимірювального приладу ДПК з відліками, які знімаються за шкалою висот пульту керування ВВХ).

При дистанційних вимірюваннях оператор керує ВВХ за допомогою кнопок, розташованих на передній панелі ДПК, а автоматично отримані результати вимірювань зчитує по стрілковому вказівнику.

Вимірювальний блок (рис.7.8) може бути розділений на п’ять функціональних блоків: граничний пристрій, блок перетворення, блок логічної обробки, релейний блок і блок живлення.



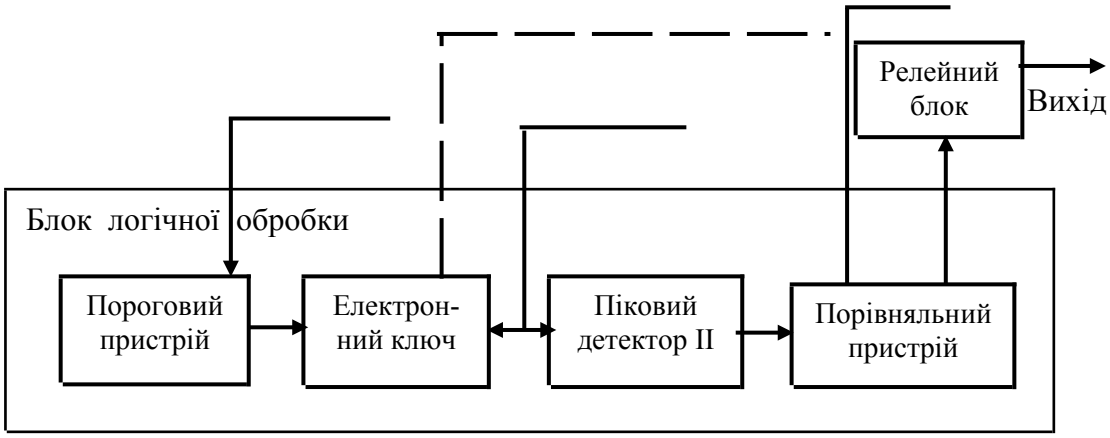


Рис.7.8 Блок-схема вимірювального блоку ДВ-1М.

Граничний пристрій (ГП) служить для виділення імпульсу луно-сигналу з перешкод і часової фіксації положення середини його переднього фронту, по якому проводять вимірювання висоти.

Блок перетворення призначений для перетворення часового інтервалу між імпульсами передавача і приймача (пропорційного висоті хмар) в напругу постійного струму для передачі по провідному каналу зв'язку результатів вимірювання на великі відстані.

Блок логічної обробки призначений для виявлення грубих похибок вимірювань на вимірювальному виході блоку перетворень і накладенні заборони на їх видачу.

Блок містить граничний пристрій, електронний ключ, піковий детектор *II* і порівняльний пристрій. Електронний ключ керується сигналами з виходу виявлювача через підсилювач і підключається між генератором пилоподібної напруги (ГПН) і піковим детектором *I*. Піковий детектор *II* підключається до виходу ГПН безпосередньо. Обидва пікових детектори підключаються до порівняльного пристрою і виконавчого реле, яке вимикає вимірювальний вихід блоку перетворень у випадку, якщо в процесі вимірювання на пікових детекторах неоднакова напруга.

Релейний блок призначений для дистанційного керування світлолокатором ВВХ, а також для передачі команд блока логічної обробки. Релейний блок містить реле $K1$ - $K8$, $K10$, які дублюють роботу органів керування апаратури ВВХ, і реле часу (на транзисторі $V9$), яке автоматично вимикає імпульсне джерело світла приблизно через 10 секунд після початку вимірювання, якщо не надійшло команди заборони від блоку логічної обробки. Сигнал заборони надходить не пізніше ніж через 4-5 секунд після початку вимірювання.

Блок живлення приставки виконаний за схемою електронного стабілізатора напруги. Він забезпечує стабілізацію напруги анодного живлення на двох лампах $V7$ і $V8$. Стабілізована напруга може регулюватися за допомогою опору $R59$.

Дистанційний пульт керування (ДПК). На верхній панелі ДПК (рис.7.7) розміщені вимірювальний прилад, тумблер $S1$ (рис.7.9) для увімкнення живлення, запобіжник, сигнальна лампочка, кнопки для подачі команд по лінії зв'язку у вимірювальний блок приставки.

На панелі ДПК є надписи з вказівкою про послідовність виконання операцій при вимірюванні. На передній стінці ДПК закріплені дві клеми для підключення лінії зв'язку з приставкою (інші клеми не задіяні) і шнур для підключення до мережі змінного струму (~ 220 В).

На рис.7.9 наведена принципова електрична схема ДПК. При увімкненні тумблера $S3$ подається ~ 220 В на первинну обмотку трансформатора T (при цьому повинна спалахувати сигнальна лампочка H). Напруга +70 В з вторинних обмоток трансформатора після випрямлення подається на контакт 3 кнопки $S2$ (відносно середньої точки) і -70 В на контакт 2 кнопки $S3$.

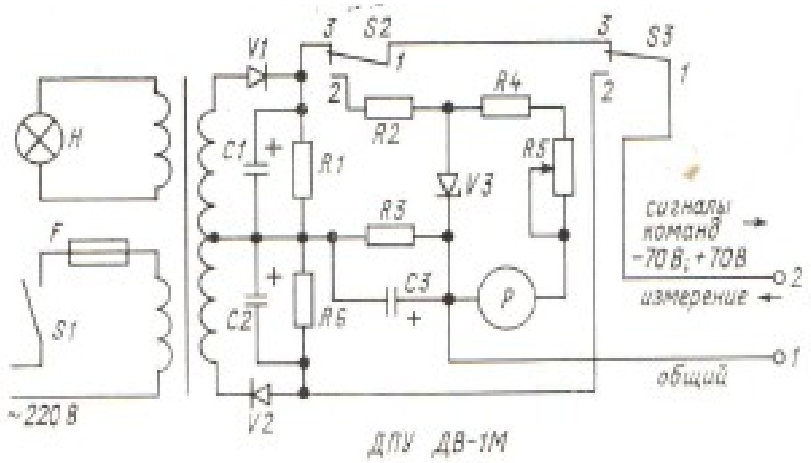


Рис.7.9 Електрична принципова схема ДПК ДВ-1М.

При нормальному положенні кнопок $S2$ і $S3$ (контакти 1-3 замкнуті) в лінію зв'язку подається напруга +70 В, яка надходить до діода $V32$ і реле $K4$ приставки. Цим починається запуск установки. Для контролю відчинення кришок датчика і приймача імпульсів ВВХ-1М короткочасно натискають кнопку $S3$ (замикаючи контакти 1,2), вмикаючи в лінію вимірювальний прилад, і за його показаннями визначають, чи відчинилися обидві кришки. Через 2-3 хв проводять вимірювання, для чого натискають і утримують кнопку $S2$, і короткочасно натискають кнопку $S3$, тим самим з лінії зв'язку

знімається додатна напруга +70 В і посилається імпульс від'ємної напруги -70 В (сигнал увімкнення вимірювального ланцюга). В результаті через 5 секунд на шкалі вимірювального приладу з'явиться значення виміряної висоти. Після зняття відліку кнопку $S2$ відпускають.

Вимірювання можна зразу ж повторити в тій же послідовності (натискаючи і утримуючи кнопку $S2$ і короткочасно натискаючи кнопку $S3$).

Для вимкнення ВВХ-1М за допомогою тумблера S вимикають живлення ДПК (сигнальна лампочка тухне). Через 20-25 секунд почнуть закриватися кришки датчика і приймача імпульсів. Контроль виконання цієї команди здійснюють при натиснутій кнопці $S3$ за показаннями вимірювального приладу (стрілка поблизу 9 - кришки почали закриватися, поблизу 20 - одна закрилася, поблизу 40 - закрилися обидві.

Коректор (рис.7.7) служить для автоматичного регулювання підсилення імпульсів відбитих сигналів в схемі пульту ВВХ. За допомогою вилки з'єднувача X (рис.7.10) коректор вставляється в розетку $X5$ пульту ВВХ-1М (або ДВ-1М).

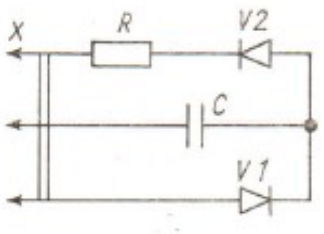


Рис.7.10 Принципова електрична схема коректора.

Калібратор служить для перевірки градуювання приставки і ДПК. Він має лінію затримки, яка складається з ряду послідовно з'єднаних ланок (рис.7.11).

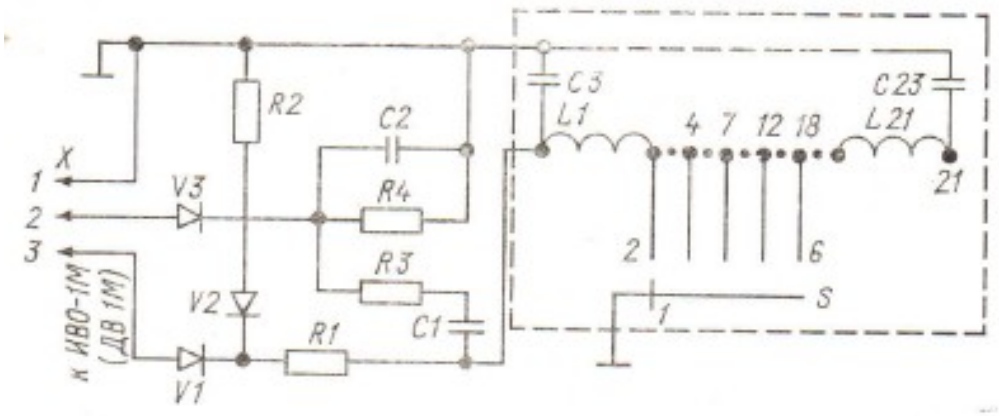


Рис.7.11 Принципова електрична схема калібратора.

При перевірці калібратор підключають до пульту ВВХ замість коректора. В момент увімкнення імпульсної лампи датчика імпульсів з пульту ВВХ на контакти 2, 1 штепсельного з'єднувача X калібратора через діод $V2$ і узгоджений ланцюг на вхід V лінії затримки надходить імпульс синхронізації додатної полярності (відносно землі). Після відбиття в кінці лінії затримки імпульс змінює полярність на від'ємну і затримується (в часі) в залежності від задіяного за допомогою перемикача S ділянки лінії затримки, а після виходу через $R1$ і контакт $X3$ надходить до входу підсилювача відбитого сигналу (луно-сигналу) пульту ВВХ. Калібратор має градуйовану таблицю, яка зв'язує положення рукоятки перемикача S з висотою.

ВВХ-1М - сама розповсюджена установка для вимірювання висоти нижньої межі хмар. Проте вона має деякі недоліки, які знижують її експлуатаційні якості. Найбільш істотним є недостатній ресурс роботи імпульсної лампи датчика імпульсів. Це виключає використання ВВХ-1М в режимі безперервних (або прискорених через 20-30 секунд) вимірювань, що необхідно на АМСГ сучасних крупних аеропортів. Інші менш істотні недоліки (нерухомий механізм руху кришок, відсутність обігріву скла датчика і приймача імпульсів та ін.) також знижують надійність роботи, роблять її залежною від погодних умов.

Реєстратор висоти нижньої межі хмар **РВХ-2** (рис.7.12). Ця установка є удосконаленим варіантом ВВХ-1М, доповненим декількома новими блоками, які розширюють можливості використання установки. Вона також основана на принципі вимірювання відстані в часі проходження його імпульсом світла.

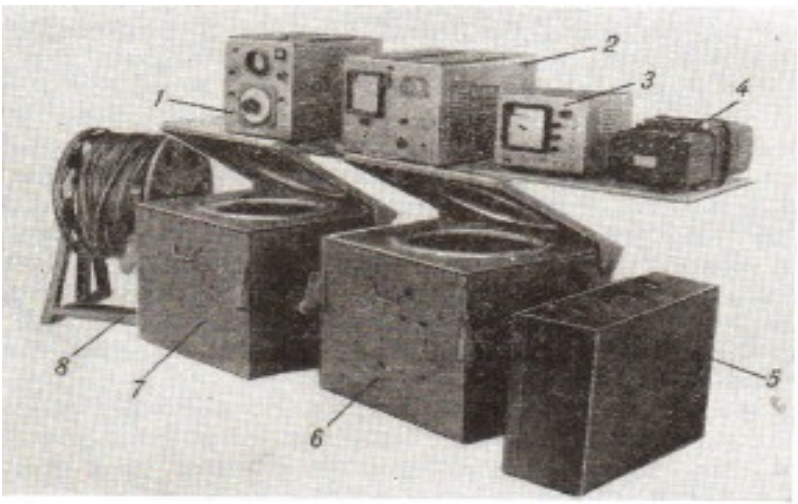


Рис.7.12 Установка РВХ-2: 1 – пульт керування; 2 – програмний пристрій з реєстратором; 3 - виносний пульт, 4 - стабілізатор; 5 – фільтр; 6 і 7 - датчик і приймач імпульсів; 8 – кабель.

Установка РВХ-2 може комплектуватися в трьох варіантах: 1) РВХ-2 – містить пульт керування, датчик і приймач імпульсів; 2) РВХ-2-01 - містить пульт керування, реєстратор з програмним пристроєм, датчик і приймач імпульсів; 3) РВХ-2-02 - містить пульт керування, реєстратор з програмним пристроєм, виносний пульт, датчики і приймач імпульсів.

В першій комплектації РВХ-2 є удосконаленим варіантом ВВХ-1М.

Електричні схеми пульту, датчика і приймача імпульсів трохи покращені, але в принципі не відрізняються від ВВХ-1М.

Скла верхніх стінок за необхідності (за умов можливого осадження шару води або льоду, а також при примерзанні кришок) можуть нагріватися. Покращений механізм керування кришками. Це робить РВХ-2 першої комплектації більш надійною, ніж РВХ-1. Проте імпульсна лампа РВХ-2 також має малий ресурс.

Пульт керування РВХ-2 сконструйований з врахуванням можливості підключення до установки приставки ДВ-1, що дозволяє замінити установку ВВХ-1М на більш удосконалену РВХ-2 (в першій комплектації). Спосіб підключення ДВ-1 до РВХ-2 практично не відрізняється від способу підключення її до ВВХ-1М.

РВХ-2-01 доповнений (в порівнянні з РВХ-2) реєстратором з програмним механізмом, який дозволяє одночасно з проведенням вимірювань автоматично реєструвати на стрічці висоту хмар.

Для забезпечення автоматичної роботи за програмою реєстратор містить підсилювач зі схемами автоматичного регулювання чутливості в часі (АРЧВ) і автоматичного регулювання підсилення (АРП), самописний прилад і програмний механізм. Програмний механізм містить два кулачкових валика. Один з них обертається годинниковим механізмом і служить для завдання частоти увімкнення за допомогою керованих ним груп реєстратора (15, 30 або 60 хв) і мотора, який обертає другий валик. За один оборот (3 хв) другий валик через керовані ним контактні групи забезпечує увімкнення і вимкнення ланцюгів керування (пуск, вимірювання, вимкнення).

РВХ-2-02 додатково (в порівнянні з РВХ-2-01) містить виносний пульт. Виносний пульт призначений для керування установкою РВХ-2-01, отримання і реєстрації даних вимірювань на відстані до 8000 м

від неї. Виносний пульт містить органи керування, самопис та інші елементи.

Можливості реєстрації результатів вимірювань є великою перевагою РВХ-2-01 і РВХ-2-02.

Незважаючи на це, використовується головним чином РВХ-2 (перший комплект) спільно з ДВ-1М. Це пояснюється тим, що за складом апаратури і лініям зв'язку цей комплект значно простіший, ніж РВХ-2-01 або РВХ-2-02, і в той же час як при ручному керуванні на великих дистанціях (за допомогою ДПК ДВ-1М), так і при автоматичному керуванні (в складі автоматичних станцій) володіє не меншою (а в останній навіть більшою) інформативною здатністю (за часом формування інформації про висоту нижньої межі хмар, частоті її оновлення, часу і формі розповсюдження і т.д.), ніж ці більш складні установки.

Контрольні запитання:

1. Які існують методи визначення висоти нижньої межі хмар ?

2. Від чого залежить швидкість піднімання куле-пілота ?

3. Як визначається висота нижньої межі хмар куле-пілотним методом ?

4. Для чого призначена прожекторна установка ПІ-45-1 ?

5. Що входить до складу прожекторної установки ПІ-45-1 ?

6. Як визначається висота нижньої межі хмар тріангуляційним методом ?

7. Як можна визначити висоту нижньої межі хмар світлолокаційним методом ?

8. З яких основних частин складається вимірювач висоти нижньої межі хмар (ВВХ-1М) ?

9. Що входить до складу приставки ДВ-1М ?

10. Що являє собою реєстратор висоти нижньої межі хмар РВХ-2 ?

11. Які можуть бути варіанти установки РВХ-2 ?

12. Який прилад є більш удосконаленим для визначення висоти нижньої межі хмар ?

13. Де на метеостанції установлюється передавач і приймач ВВХ-1М ?

14. Яким приладом можна виміряти висоту нижньої межі хмар в будь-який час доби ?

15. З яких блоків складається вимірювальний блок та їх призначення ?

8. ВИМІРЮВАННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ДАЛЬНОСТІ ВИДИМОСТІ

8.1 Загальні відомості.

Дальністю видимості називають ту граничну відстань, при якій спостережуваний об'єкт, або що віддаляється, стає невидимим (зливається з фоном, на якому він проектується). Дальність видимості залежить від декількох величин: від прозорості атмосфери між спостерігачем і спостережуваним об'єктом, від кутових розмірів спостережуваного об'єкта, від контрасту між спостережуваним об'єктом і фоном, на якому він проектується. Як далеко спостерігач бачить об'єкт, залежить від його зору: людина з добрим зором бачить об'єкт, що віддаляється далі, ніж із зниженим.

Світловий потік при проходженні через атмосферу частково поглинається і розсіюється частинками, які містяться в атмосфері, внаслідок чого він ослаблюється, а в атмосфері утворюється світловий серпанок.

Прозорість атмосфери залежить від концентрації і розмірів частинок. Чим прозоріша атмосфера, тим менше ослаблюється світловий потік, що проходить крізь неї, і тим менше яскравість серпанку, який утворюється при цьому. Прозорість атмосфери характеризується коефіцієнтом прозорості τ, який показує, яка частка направленого світлового потоку проходить через одиничний шар атмосфери, тобто $\tau = \frac{I_1}{I_0}$, де I_0 - початкова інтенсивність світлового потоку; I_1 - інтенсивність світлового потоку після проходження ним шару атмосфери товщиною 1 км. Причому завжди $\tau << 1$. Для шару товщиною l км має місце залежність

$$\tau^{l} = \frac{I_l}{I_0}. \qquad (8.1)$$

Прозорість атмосфери характеризується також показником ослаблення α; τ і α зв'язані між собою рівняннями:

$$\tau = e^{-\alpha}, \qquad (8.2)$$

$$\alpha = -\ln \tau, \qquad (8.3)$$

де e - основа натурального логарифму.

Яскравий контур K виражається формулою

$$K = \frac{B_{\hat{o}} - B_{\hat{i}}}{\hat{A}_{\hat{o}}}, \qquad (8.4)$$

де $\hat{A}_{\hat{o}}$ - яскравість фону; $\hat{A}_{\hat{i}}$ - яскравість об'єкта; при цьому завжди $0 \le \hat{E} \le 1$.

Людина бачить предмет, якщо контраст його з фоном не менше порога контрастної чутливості ока ε, тобто $K \ge \varepsilon$.

Середнє значення порога контрастної чутливості ока дорівнює 2 % ($\varepsilon = 0{,}02$).

Визначення дальності видимості реальних об'єктів дуже важка задача, зокрема, через складність вимірювання контрасту для кожного поєднання реального об'єкту і фону, яскравості яких залежать від стану атмосфери і від фізичних властивостей і стану спостережуваного об'єкту і фону, який також є реальним об'єктом. Тому в метеорології визначається так звана метеорологічна дальність видимості (МДВ), яка залежить від стану атмосфери (її прозорості) і від зору людини (порога контрастної чутливості ока ε). МДВ визначається як видимість чорних об'єктів, яскравість яких $B_0 = 0$, мають кутові розміри не менше 0,5° і проектуються на фоні безхмарного неба поблизу горизонту (на фоні атмосферного серпанку). На основі (8.4) при такому поєднанні об'єкта і фону яскравий контраст $K = 1$.

Враховуючи, що значення порогу контрастної чутливості ока вважають сталим (при виявленні об'єкта $\varepsilon = 0{,}05$, при втраті видимості спостережуваного об'єкта $\varepsilon = 0{,}02$), МДВ залежить тільки від прозорості атмосфери. Ця залежність має вигляд:

$$S_i = \frac{\ln \varepsilon}{\ln \tau}, \qquad (8.5)$$

або

$$S_i = -\frac{\ln \varepsilon}{\alpha}, \qquad (8.6)$$

де S_i - значення МДВ.

Зв'язок МДВ з видимістю чорних об'єктів має сенс тільки для світлого часу доби (коли вони видні); для темного часу доби її зв'язують з видимістю точкових вогнів.

Освітленість E світлочутливої оболонки (ретини) ока спостерігача від точкового джерела пропорційна його силі світла I_0, зворотно пропорційна відстані до нього L і залежить від прозорості атмосфери τ:

$$E = \frac{I_0}{L^2}\tau^L = \frac{I_0}{L^2}e^{-\alpha L}.$$

Джерело світла видно, якщо воно створює на світлочутливій оболонці ока спостерігача освітленість $E \geq E_{пор}$ ($Å_{пор}$ - поріг чутливості ока). У людини з нормальним зором в темну ніч $Å_{пор} = 2{,}7 \cdot 10^{-7}$ лк.

$Å_{пор}$ змінюється в залежності від яскравості фону (при якому вогонь проектується) від 10^{-8} лк в безмісячну ніч при трав'яному покриві ґрунту до 10^{-6} лк в місячну ніч при сніговому покрові, а в південь при тумані і сніговому покрові до 10^{-4} лк.

Для граничних відстаней $L_{гр}$ (дальше яких вогонь не видно)

$$E_{пор} = \frac{I_0}{L_{гр}^2}e^{-\alpha L_{гр}}.$$

Підставляючи в цей вираз значення α з (8.6), отримаємо

$$\frac{E_{пор}}{I_0} = \frac{\varepsilon}{L_{гр}^2}e^{\frac{L_{гр}}{S_i}}. \qquad (8.7)$$

Ця формула дозволяє за відомими значеннями $L_{гр}$ і I_0 визначити МДВ, а за відомим S_i визначити для вогню відомої сили I_0 граничну відстань його видимості $L_{гр}$.

Зараз на метеорологічних станціях МДВ визначають для горизонтального шару атмосфери невеликої товщини. Для авіації потрібні також дані про МДВ у вертикальному напрямку і під кутом 3-6° до висоти 1000 м.

В залежності від призначення і оснащення станцій МДВ визначається візуально за видимістю віддалених об'єктів або вимірюється реєстраторами дальності видимості, які є спеціальними фотометрами різної конструкції.

8.2 Візуальні методи.

Спостереження за МДВ вдень. Для визначення МДВ вдень підбирають дев'ять темних об'єктів, віддалених від пункту спостереження на відстань 50, 200, 500 м і 1, 2, 4, 10, 20 і 50 км. Допускаються відхилення від вказаних стандартних відстаней до 20 %.

Об'єкти, як природні, так і спеціально споруджені для спостережень, повинні відповідати таким вимогам:

1) бути можливо більш темними ($B_0 = 0$);

2) проектуватися на фоні неба (якщо об'єкти проектуються на іншому фоні, то вони повинні мати чіткі контури, а фон повинен бути вдвічі далі від місця спостережень, ніж об'єкт);

3) мати кутові розміри не менше 15′;

4) бути видимі з місця спостережень під кутом не більше 5-6° до площини горизонту.

Після вибору об'єктів повинні бути виміряні відстані до них, оцінені кутові розміри об'єктів, складено їхній опис і план розташування.

Проведення спостережень полягає в тому, що спостерігач визначає, які з об'єктів, що є на станції, видимі і які невидимі. Об'єкт вважається невидимим тільки в тому випадку, якщо він повністю зливається з фоном і зовсім не відрізняється від нього. Інтервал, в якому в момент спостережень знаходиться величина МДВ, визначається по найбільш далекому видимому і по найбільш близькому невидимому об'єктах.

Бал МДВ визначається з табл.8.1.

Таблиця 8.1 Оцінка МДВ в балах

Бал		Відстань до об'єкта, км	Бал		Відстань до об'єкта, км
об'єкт не видно	об'єкт видно		об'єкт не видно	об'єкт видно	
0	1	0,05	5	6	4
1	2	0,02	6	7	10
2	3	0,5	7	8	20
3	4	1	8	9	50
4	5	2			

На метеорологічних станціях не завжди є достатньо придатних об'єктів для визначення всіх десяти балів МДВ. У цьому випадку оцінка МДВ може бути зроблена за методом ГГО ім.Воєйкова. Він дозволяє використовувати об'єкти, які розташовані більш довільно по віддаленню і напрямку від спостерігача і по відстані L, визначати S_i в інтервалі від L до $10L$. Завдяки цьому стає можливим оцінювати МДВ по обмеженій кількості об'єктів, розташованих відносно пункту спостережень в будь-якому напрямку і на довільних відстанях, які потрібно вибирати так, щоб у сукупності забезпечити можливість оцінки МДВ за всією десятибальною шкалою (враховуючи, що $L \le S_i \le 10L$). По

методу ГГО визначення МДВ проводиться на основі візуальної якісної оцінки видимості найбільш віддаленого видимого об'єкта і ступеня покриття його атмосферним серпанком. Оцінка проводиться по п'яти градаціям, вказаним в табл.8.2. Кожній градації відповідає певне значення МДВ (S_i) відносно відстані до спостережуваного об'єкта.

Таблиця 8.2 Оцінка МДВ (S_i) за якісною характеристикою видимості об'єкта і атмосферного серпанку, який його покриває

Якісна характеристика видимості об'єкта і атмосферного серпанку	Значення S_i
- Повітряний серпанок на об'єкті не видний. Об'єкт виразно видно на фоні неба як темно-сірий силует.	$> 10L$
- Повітряний серпанок покриває об'єкт настільки, що окремі його деталі і природний окрас не сприймаються.	$> 6L$
- Повітряний серпанок у сильному ступені покриває об'єкт. Ясно видно, що об'єкт темніше неба - його яскравість менше яскравості неба.	$> 3L$
- Об'єкт видно як силует, що легко виявляється і пізнається, але мало відрізняється за кольором і яскравістю від неба.	$> 2L$
- Об'єкт , що знаходиться під покривом атмосферного серпанку, ледве видно, виявляється важко і легко губиться з виду.	L

Для зручності користування цією таблицею в додатках до «Настанови гідрометеорологічним станціям і постам», вип.3, ч.I і II – «Збірник допоміжних таблиць» - наведені рисунки об'єкта, покритого серпанком різної інтенсивності.

При визначенні МДВ всі об'єкти, що є на станції, оглядаються, і вибирається самий дальній, на якому зовсім відсутній повітряний серпанок (ступінь покриття дорівнює нулю). Орієнтовно МДВ визначається множенням цієї відстані на 10. Якщо видимість при цьому виявиться більше 50 км, то ніяких інших оцінок видимості не роблять, а отриманий бал 9 записують у відповідні книжки.

Якщо МДВ менше 9 балів, а також в тих випадках, коли на станції нема достатньо віддаленого об'єкта, для якого $10L > 50$ км, оцінюється ступінь покриття повітряним серпанком найбільш віддаленого об'єкта, і подальше обчислення МДВ у цьому випадку робиться за допомогою табл.8.2.

Візуальні спостереження за МДВ в темний час доби. Для визначення МДВ в темний час доби на місцевості станції підбирають вогні, розташовані на різних відстанях від пункту спостережень, і оцінку видимості проводять по найбільш віддаленому вогню, який ще видно в момент спостережень.

Оцінка МДВ вночі робиться за такою ж баловою шкалою, як і вдень, і визначається по табл.8.3, розрахованій за формулою (8.7).

Таблиця 8.3 Оцінка МДВ (в балах) за видимістю вогнів

Бал		Відстань (км) від джерела світла силою (кд)								
Вогонь не видно	Вогонь видно	3,5	8,5	50	100	200	300	400	500	1000
0	1	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16
1	2	0,28	0,31	0,38	0,41	0,44	0,46	0,47	0,48	0,51
2	3	0,53	0,60	0,77	0,84	0,91	0,95	0,98	1,00	1,07
3	4	0,83	0,91	1,28	1,42	1,54	1,63	1,68	1,72	1,86
4	5	1,24	1,50	2,06	2,32	2,56	2,71	2,82	2,90	3,16
5	6	1,77	2,19	3,24	3,66	4,12	4,41	4,62	4,79	5,27
6	7	2,53	3,35	5,43	6,37	6,98	8,04	8,43	9,88	10,00
7	8	3,09	4,30	7,55	9,12	10,80	12,00	12,70	13,40	15,50
8	9	4,22	5,30	10,40	13,30	16,40	18,60	20,20	21,50	25,80

При виборі вогнів можна допускати відступлення від відстаней, вказаних в таблиці, не більше ніж на 25 %.

Для спостережень не можна користуватися кольоровими вогнями, а також джерелами світла, які мають розсіювальні ковпаки. Вогонь вважається видним тільки у тому випадку, якщо він видний як світна точка. Враховуючи, що $Å_{пр}$ залежить від адаптації спостерігача і освітленості, спостереження потрібно проводити в темний час і не раніше ніж через 10 хв після виходу спостерігача з освітленого приміщення.

8.3 Інструментально-візуальні методи.

Результати візуальних вимірювань МДВ знаходяться у великій залежності від суб’єктивних особливостей спостерігача, його стану на момент спостереження. Крім того, в районі розташування багатьох станцій відсутні об’єкти, необхідні для візуальних спостережень за МДВ, а також утруднена установка щитів, віддалених на значні відстані. Відносно прості фотометри – вимірювачі МДВ дозволяють отримати більш об’єктивні дані при меншій кількості об’єктів, ніж це необхідно для

візуальних спостережень. Причому допускається заміна відсутніх віддалених об'єктів близько розташованими невеликими чорними щитами.

Поляризаційний вимірювач видимості **М-53А**. Цей прилад, розроблений Дашкевичем Л.Л., дозволяє вимірювати МДВ у світлу частину доби, а в комплекті з спеціальною нефелометричною установкою і в темну частину доби.

М-53А за принципом дії є поляризаційним фотометром. Основними частинами його оптичної системи є поляроїд і призма, яка подвійно заломлює. Поляроїд являє собою плоску пластинку, яка пропускає світло, поляризоване в одній площині. Поляризаційна призма, що подвійно заломлює, призма Воллостона, складається з двох прямокутних призм, які склеєні по гіпотенузах. Прямокутні призми виготовлені з ісландського шпату таким чином, що оптичні осі кристалу в них перпендикулярні. В результаті цього промінь, який проходить через призму, роздвоюється на два поляризованих промені O і H, звані звичайним і незвичайним (рис.8.1, а).

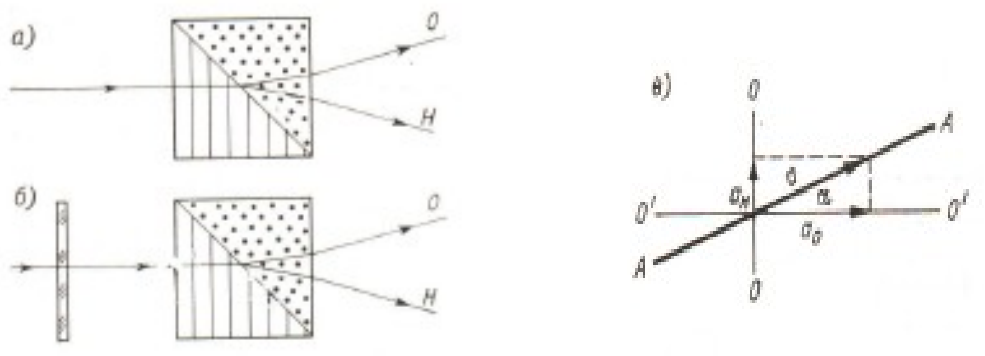


Рис.8.1 Роздвоєння променя поляризаційної призми.

Якщо на призму падає промінь, заздалегідь поляризований поляроїдом, то призма все одно його роздвоїть на звичайний і незвичайний промені (рис.8.1, б). Але якщо у першому випадку інтенсивності обох променів однакові, то у другому – вони будуть відрізнятися. Їх інтенсивність залежить від кута α між площинами поляризації падаючого звичайного і заломленого променів (площина поляризації другого, незвичайного, заломленого променю перпендикулярна площині поляризації першого). На рис.8.1,в це наведено схематично: AA - площина поляризації падаючого променю; $O'O'$ і OO - площини поляризації заломлених звичайного і незвичайного променів; a, a_0 і a_i - інтенсивність падаючого і заломлених променів.

В залежності від кута α інтенсивності a_i і a_0 можуть змінюватися від нуля до a; $a_0 = a\cos\alpha$; $a_i = a\sin\alpha$. Причому, якщо a_0 зростає, то a_i убуває, і навпаки. Кут α задається положенням поляроїда відносно призми. Яскравості зображень, утворені звичайними і незвичайними променями, будуть:

$$B_0 = B\cos^2\alpha; \qquad B_i = B\sin^2\alpha,$$

де $\hat{A}$ - яскравість об'єкту, який постерігається через поляроїд.

Фотометрування за допомогою поляризаційного фотометра зводиться до урівнення яскравості зображень двох об'єктів: об'єкту, яскравість якого вимірюється, і контрольного об'єкту, яскравість якого відома. Причому у фотометрі можуть проявлятися по два зображення кожного об'єкта, утворених звичайними і незвичайними променями. При фотометруванні вибирають по одному зображенню кожного об'єкта, але обов'язково утвореними різними променями (звичайним і незвичайним). Зрівнення яскравостей виконується обертанням поляроїда навколо своєї осі.

На рис.8.2 наведено поляризаційний вимірювач видимості М-53А. Він змонтований в корпусі 4, до якого пригвинчується рукоятка 6. В корпусі закріплена призма 8, яка двояко заломлюється, із захисним склом 9. Поляроїд 14 закріплений в розташованій всередині корпусу поворотної оправи 13 із зубчатим вінцем. Поляроїд 14 разом з оправою 13 може повертатися навколо осі за допомогою рукоятки 1, зв'язаною з шестернею 7, яка зчіплюється із зубчатим вінцем оправи 13. Кут повороту поляроїда визначається за шкалою на лімбі 10 і рисці, нанесеній на захисному склі 11. Відлік проводиться через лупу з діоптрійним кільцем. Поділки на шкалі лімба нанесені в градах (1 град - сота частка прямого кута) через 0,5 града. Цифровані парні цілі поділки. Ділянка шкали і риска освітлюються через матове скло 12. Промені світла від спостережуваного об'єкта проходять через поляроїд 14, роздвоюються призмою 8, створюють два зображення, зміщені одне відносно іншого по вертикалі. Для обмеження поля зору приладу, а також для захисту поляроїда від прямих сонячних променів і опадів в корпус (зі сторони поляроїда) вгвинчується бленда 5. Спостереження об'єктів проводиться зі сторони захисного скла 9 і призми 8 через наглазник 2.

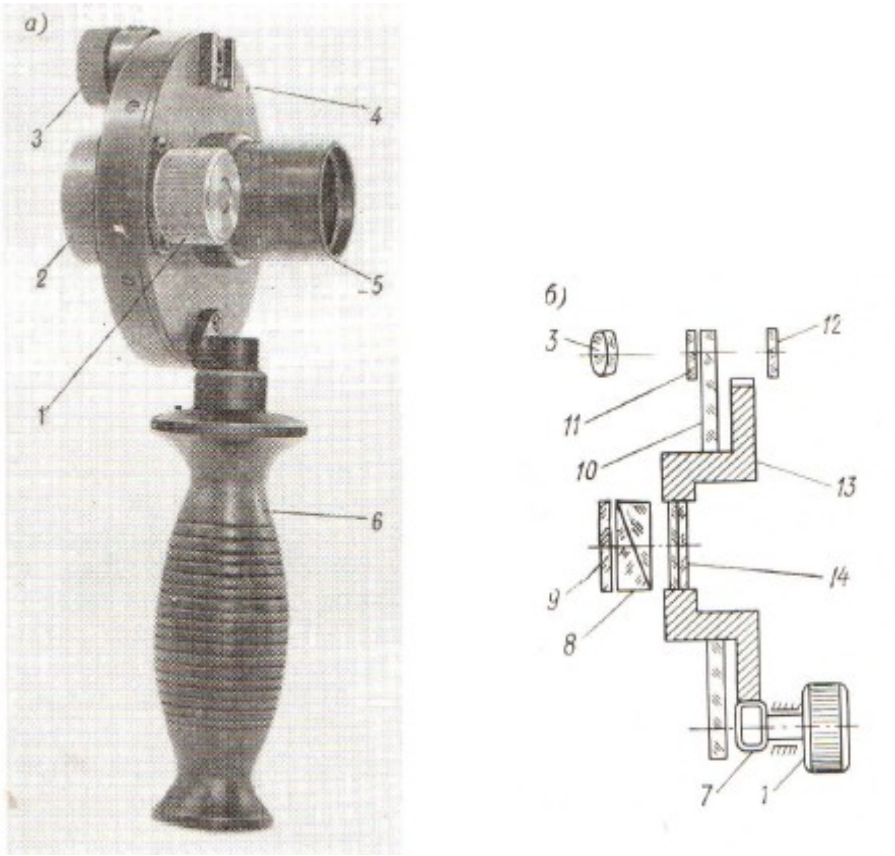


Рис.8.2 Поляризаційний вимірювач дальності видимості М-53А: а - зовнішній вигляд; б – схема; 1 і 6 - рукоятки; 2 – наглазник; 3 – лупа; 4 - корпус; 5 - бленда; 7 - шестерня; 8 – призма; 9 і 11 - скло захисне; 10 - лімб; 12 – скло матове; 13 - оправа поворотна; 14 - поляроїд.

При обертанні рукояткою 1 поляроїда 14 змінюється яскравість зображень спостережуваних об’єктів. При обертанні рукоятки 1 в одному напрямку зростає яскравість зображень, утворених звичайними променями, і зменшується яскравість зображень, утворених незвичайними променями, при обертанні у зворотному напрямку – навпаки. Це дає можливість урівняти яскравості зображень досліджуваного і контрольного об’єктів. Для зрівнення яскравостей зображень користуються прийомом зорового контролю, по черзі злегка підсилюючи яскравість одного і ослаблюючи яскравість іншого зображення. Після досягнення рівності яскравостей за шкалою відраховують показання приладу з точністю до 0,1 поділки. Для достовірності отриманих результатів проводять три вимірювання. За отриманими відліками n_1, n_2, n_3 і шкаловою поправкою Δn, яка наведена в повірочному свідоцтві приладу, обчислюють результат вимірювань як середнє виправлене значення

$$N = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{3} + \Delta n. \qquad (8.8)$$

На станціях за допомогою М-53А метеорологічну дальність видимості визначають декількома методами: фотометричного порівняння, відносної яскравості і комплексним.

<u>Метод фотометричного порівняння</u>. Для вимірювання цим методом достатньо вибрати два природних об'єкти, які віддалені від точки вимірювання на відстані $L_{ä}$ (дальній) і $L_{á}$ (ближній), крім того, установити два чорних щита і чорне тіло, що входить до комплекту М-53А (спеціальна коробка з прямокутним отвором). Цей метод дозволяє визначити МДВ за природними об'єктами, які знаходяться на відстані L від спостерігача в межах від $1{,}2\,L$ до $10\,L$, а за щитами, що знаходяться на відстані L - в межах від $1{,}2\,L$ до $17\,L$ (щити пофарбовані в чорний колір, природні об'єкти, як правило, світліші).

На відстані 40 м від коробки в напрямку до об'єктів установлюється малий щит (0,6×0,4 м). Дальній (великий) щит установлюється на розрахованій відстані $L_{ù}$.

Як приклад доброго вибору об'єктів для спостереження і правильної розстановки щитів можна навести такі дані: об'єкти розташовані на відстанях 1 км і 6 км, а щити установлені на відстанях 40 м і 400 м від точки спостереження.

Об'єкти потрібно підбирати з таким розрахунком, щоб відстані, на яких вони знаходяться, в сполученні з відстанями, на яких установлюються щити, дозволили охопити весь діапазон зміни МДВ. Для цього, якщо є можливість вибору, бажано, щоб відстані до дальнього об'єкта $L_{ä}$ і ближнього $L_{á}$ знаходились в межах

$$4 \text{ км} \le L_{ä} \le 12 \text{ км}; \qquad \frac{L_{ä}}{9} \le L_{á} \le \frac{L_{ä}}{2},$$

а дальній щит потрібно установити на відстані $L_{ù}$ в межах

$$\frac{L_{ä}}{15} \le L_{ù} \le 400 \text{ м}.$$

(Обмеження в 400 м обумовлюється невеликими розмірами щита).

Щити установлюються під кутом 45° (до вертикалі, з нахилом в сторону місця спостереження) на такій висоті, щоб їх верхня кромка проектувалася на фоні неба поблизу горизонта або на місцевість, розташовану дальше, ніж наступний об'єкт. По можливості щит повинен знаходитися в тому ж азимуті, що і природні об'єкти.

На відстані 2-3 м від спостерігача в напрямку до об'єктів на стовпчику висотою 2 м від поверхні землі закріплюють коробку (чорне тіло), що прикладається до приладу, отвором до спостерігача (рис.8.3).

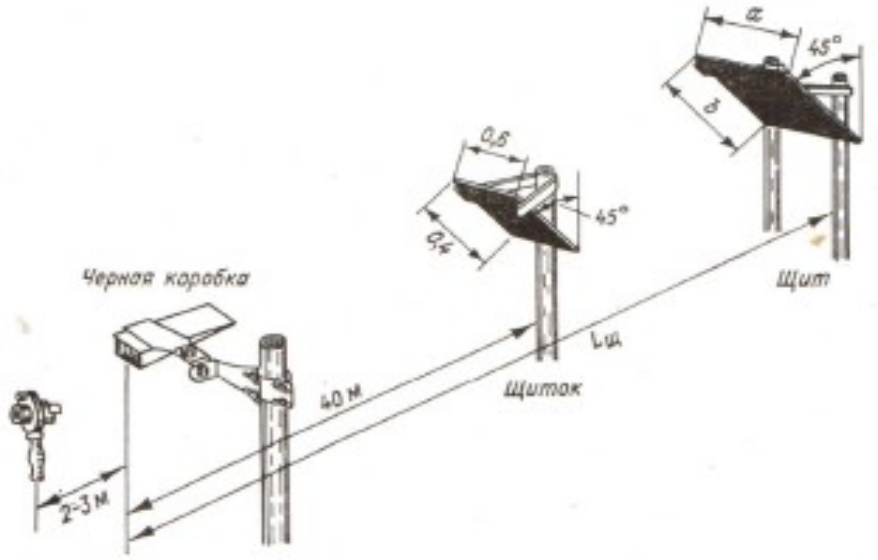


Рис.8.3 Розстановка щитів при вимірюванні МДВ методом фотометричного порівняння.

<u>Порядок спостережень</u>. Спостереження проводять по одному об'єкту з тих, що є – найбільш віддаленому з видимих на момент спостереження. Якщо серпанок на вибраному об'єкті настільки щільний, що він через прилад нерозрізнений, спостереження проводять по сусідньому, більш близькому об'єкту. Проводити спостереження по об'єкту, зовсім не покритому серпанком, не можна. При відсутності серпанку на дальньому (найбільш віддаленому) об'єкті вимірювання не проводять, а дальність видимості S_i визначають в балах, вважаючи, що $S_i > 10L$.

Вибравши об'єкт для спостережень, стають в 2-4 м від чорної коробки (рис.8.3) і установлюють шкалу приладу біля 30-ї поділки. Потім, тримаючи прилад за рукоятку, дивляться через нього на вибраний об'єкт і, переміщуючись трохи вправо або вліво, вибирають таке положення, щоб в полі зору приладу над верхнім зображенням об'єкта, майже впритул до нього, розташувалося нижнє зображення коробки, а межа між ними проходила через центр поля зору.

Обертаючи рукоятку, добиваються рівності яскравостей порівнюваних зображень об'єкта і чорного отвору коробки. Положення, при якому наступає рівність яскравостей, перевіряють, повертаючи рукоятку біля цього положення то в одну, то в іншу сторону так, щоб зображення об'єкта ставало то темніше (рис.8.4, а), то світліше (рис.8.4, в) зображення коробки.

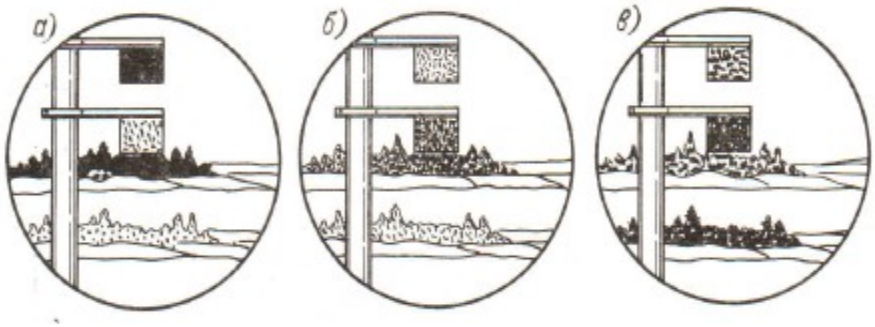


Рис.8.4 Порівняння яскравості зображень чорного тіла (коробки) і об'єктів (ліс).

Поступово зменшуючи кут зміщення рукоятки, знаходять положення, при якому яскравість верхнього зображення (об'єкту) буде дорівнювати яскравості нижнього зображення коробки (рис.8.4, б). Записують показання приладу з точністю до 0,1. Вимірювання проводять три рази. Крім того, відмічають характер освітлення об'єкту: об'єкт попереду освітлений сонцем (O) або освітлений розсіяним світлом (P).

Обробка результатів спостережень. Знаходять середнє виправлене значення N за формулою (8.8).

По отриманому числу N знаходять в табл.12 «Сборника вспомогательных таблиц» (додаток 6) значення величини C.

За характером освітленості об'єкта (O або P) в табл.13 «Сборника вспомогательных таблиц» (додаток 7) знаходять величину E, яка характеризує дійсний контраст об'єкта і фону при даному освітлені.

МДВ обчислюється за формулою

$$S_i = \frac{1000\,L}{C - E}, \qquad (8.9)$$

де L - відстань від чорної коробки до об'єкта.

Обчислена дальність видимості округлюється в меншу сторону: в інтервалі від 50 до 100 м - до десятків метрів, в інтервалі від 100 м до 5 км – до сотень метрів, в інтервалі від 5 км до 30 км – до цілих кілометрів і в інтервалі від 30 до 50 км - до п'яти кілометрів (30, 35, 40, 45, 50 км).

Комплексний метод. Якщо вибір природних об'єктів в районі станції обмежений і вибрати об'єкти на необхідному віддалені не можна, то в таких випадках вимірювання М-53А проводять по так званому комплексному методу, тобто при МДВ менше 4 км ($S_i \le 4$ км) – за методом фотометричного порівняння, а при значеннях МДВ більше 4 км ($S_i > 4$ км) – за методом відносної яскравості. Для вимірювання за цим методом повинні бути установлені два чорних щита і щиток-діафрагма з

прямокутним отвором в центрі. В точці спостереження установлюється стовп з тримачем для приладу М-53А. Щити установлюються з нахилом в 45º. Відстані, на яких розміщуються щити, і розміри щитів вказані на рис.8.5.

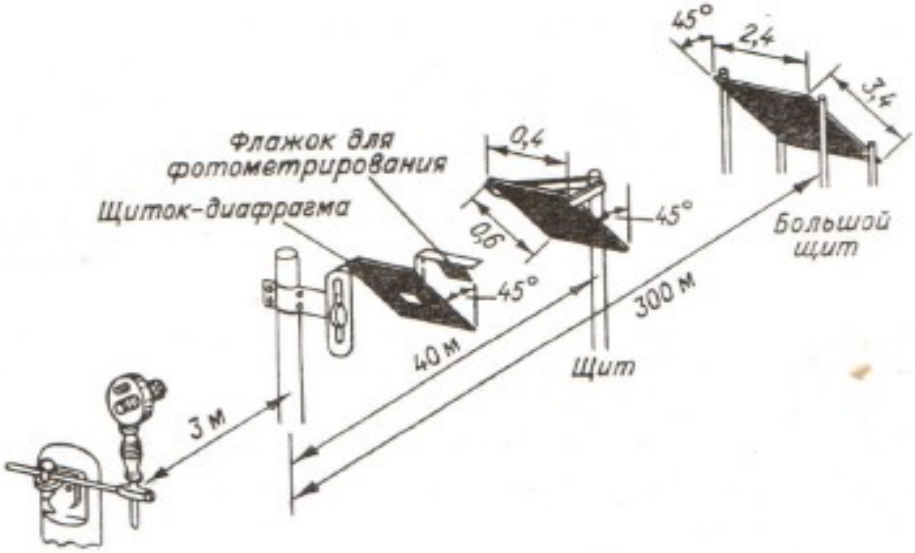


Рис.8.5 Розстановка щитів при визначенні МДВ комплексним методом.

Співвідношення розмірів щитів вибрано таким, щоб їхні видимі розміри по горизонталі і вертикалі були однакові (видима форма – квадрат). Розміри щитка-діафрагми 12×17 см, його центрального опору 15×21 мм.

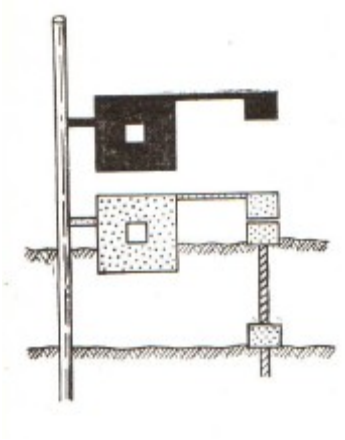
Дальній щит закріплюють на стовпах так, щоб його верхня кромка проектувалася на фон неба біля горизонту. Правильність установки щита перевіряють приладом М-53А. Спостерігаючи щит через прилад, обертають маховичок приладу від нульової поділки до сотої. При цьому зображення на щиті повинно накладатися на зображення неба, і зображення фону повинно з'являтися нижче щита. Якщо ж зображення фону, що з'явилося, накладається на щит, то це значить, що щит установлений низько, його потрібно підняти вище.

Стовп, на якому закріплюється тримач приладу М-53А або штир, установлюють на такій висоті, щоб при роботі з приладом спостерігач міг стояти не нахиляючись. Якщо використовується штир, то стовп вкопують прямо на лінії візування; якщо використовується тримач приладу, то стовп вкопують приблизно на 15 см праворуч або ліворуч від лінії візування. Дальній щит повинен знаходитися в центрі поля зору приладу, установленого на стовпі. Точна установка щитка-діафрагми проводиться за допомогою тримача, який дозволяє переміщувати його горизонтально і вертикально.

Установка щита на відстані 40 м робиться трохи в стороні від лінії візування на дальній щит, так щоб між ними спостерігався просвіт приблизно і 1,5-2 рази більше видимої ширини щита. Верхні краї щитів повинні розташовуватися зорово приблизно на одному рівні.

Перед спостереженнями прилад установлюють на штир (або тримач) і орієнтують так, щоб його оптична вісь була направлена за лінією візування спостережуваних об'єктів. До початку вимірювань необхідно сфокусувати лупу 3 (рис.8.2) так, щоб шкала лімбу була видна чітко і установлена на поділку «0».

Якщо дальність видимості за попередньою окомірною оцінкою не більше 4 км, спостереження проводять методом фотометричного порівняння по дальньому щитку, а якщо він не видний - по ближньому. Для фотометрування використовується боковий прапорець щитка-діафрагми. Спостерігач, тримаючи прилад, вибирає таке положення, щоб над верхнім зображенням щита розташувалося нижнє зображення прапорця (рис.8.6).

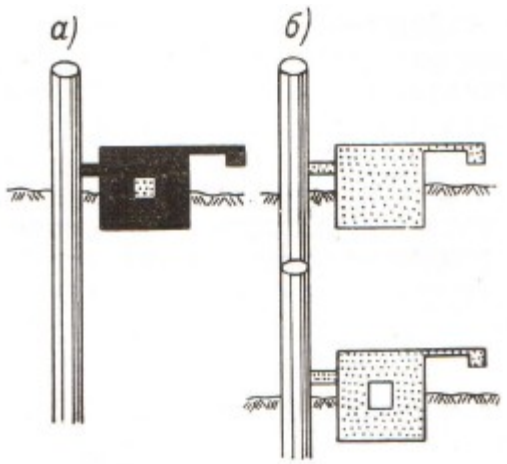


Дальше спостереження і обчислення s_i проводять також, як і з коробкою при вимірюванні за методом фотометричного порівняння.

Якщо за окомірною оцінкою дальність видимості більше 4 км, спостереження проводять методом відносної яскравості.

Рис.8.6 Порівняння яскравості щита і прапорця.

<u>Метод відносної яскравості</u>. При спостереженнях цим методом ручку приладу насаджують до упору на штир-тримач (рис.8.5). Спостереження складаються з двох циклів: «по щиту» і «по небу». Спостерігаючи через прилад і отвір щитка-діафрагми за поверхнею щитка (рис.8.7, а), обертають рукоятку 1 приладу від нульової поділки шкали. При цьому на верхнє зображення щита і щитка-діафрагми накладається нижнє зображення ділянки неба біля горизонту, яке з'явилося при обертанні маховичка, тому контраст між щитком-діафрагмою (темна рамка) і поверхнею щитка (сірий квадрат), який видний через його отвір, зменшується. Повільно обертаючи рукоятку, добиваються того, щоб цей контраст зник, тобто «гасять» контраст яскравістю фону неба (рис.8.7, б).



Після зрівнення яскравостей щита і щитка-діафрагми знімають відлік з точністю до 0,1 поділки. Вимірювання проводять три рази. Потім проводять спостереження «по небу».

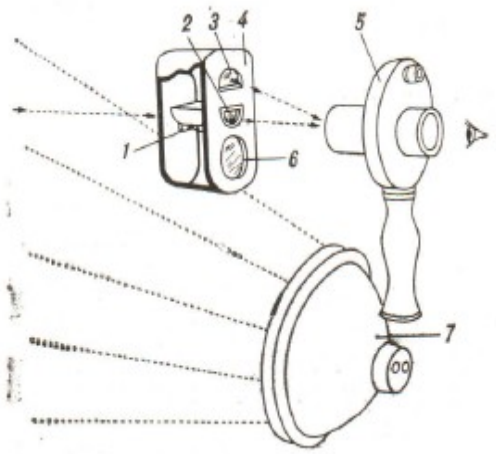
Рис.8.7 Порівняння яскравості щитка-діафрагми і щита.

Для цього знімають прилад з штиря-тримача, установлюють шкалу на нуль і, тримаючи прилад в руці, дивляться через нього і отвір щитка-діафрагми на однорідну ділянку неба біля горизонту (світлий квадрат в темній рамці). Обертаючи рукоятку, добиваються, щоб квадрат зник. Вимірювання «по небу» також проводять три рази і записують їх результати.

Обробка результатів спостережень. За результатами спостережень, які проводились за методом фотометричного порівняння, за формулою (8.8) обчислюють середнє виправлене значення N і по отриманому результату в табл.14 «Сборника вспомогательных таблиц» (додаток 8) знаходять значення так званої відносної дальності видимості $V = \frac{S_i}{L}$, де L - відстань до об'єкта. Потім обчислюють S_i - VL. Освітленість об'єкта (щита) у даному випадку не враховується, тому що щиток-діафрагма і спостережуваний щит освітлені однаково. За результатами спостережень, отриманих за методом відносної яскравості, за формулою (8.8) обчислюють середній виправлений відлік «по щиту» $N_ù$ і «по небу» $N_í$, а потім по табл.15 «Сборника вспомогательных таблиц» знаходять V і обчислюють S_i; результат округлюють в сторону менших значень.

Нефелометрична установка **М-71**. В темну частину доби вимірювання МДВ проводиться нефелометричною установкою М-71, до комплекту якої входить прилад М-53А. Метод вимірювання МДВ за допомогою нефелометра оснований на залежності інтенсивності зворотного розсіювання (назад до джерела світла) від прозорості атмосфери. Зв'язок дальності видимості з коефіцієнтами прозорості і ослаблення визначається формулами (8. 5) і (8.6).

Принцип дії установки М-71 наведений на рис.8.8.



Пучок світла від лампи (фари) 7, частково розсіюючись атмосферою назад, попадає в нижній наскрізний напівкруглий отвір 2, закритий молочним склом світлової коробки 4.

Рис.8.8 Схема установки М-71: 1 – заслінка; 2 – наскрізний отвір; 3 – некрізний отвір; 4 – коробка; 5 – поляризаційний вимірювач видимості; 6 – отвір з жовтим фільтром; 7 – фара.

Повернутий до спостерігача верхній (некрізний) напівкруглий отвір 3, закритий молочним склом, також освітлюється світлом фари, яке попадає через жовтий фільтр отвору 6 і розсіяний стінками світлової коробки. Таким чином, створюються два світлових поля у вигляді півколів. Верхнє поле має еталонну яскравість, яка не залежить від стану атмосфери, і нижнє - яскравість, що залежить від прозорості атмосфери. Спостерігач за допомогою поляризаційного вимірювача видимості 5 порівнює яскравість світлового поля, створеного розсіяним назад світлом в отвір 2, з еталонною яскравістю поля, яке спостерігається в отворі 3. Для цього, обертаючи рукоятку вимірювача видимості, зрівнює яскравості їх зображень. По відліку, яке відповідає положенню рівності яскравостей, за допомогою розрахункової формули або градуйованої таблиці можна визначити МДВ.

Установка М-71 (рис.8.9) складається з корпусу 6, закріпленого на кронштейні 1, фари 20 з механізмом повороту, світлової коробки 10 і поляризаційного вимірювача видимості 17. В корпусі знаходиться лампочка 14, яка служить для підсвітлення шкали поляризаційного вимірювача видимості. Перед світловою коробкою розташований козирок 5, який запобігає від попадання світла, розсіяного від лампи всередині установки до нижнього отвору світлової коробки; тому при закритій кришці 2 (світло в атмосферу не попадає) нижнє поле (вікно 3, рис.8.8) не освітлене. Кришка 2, закріплена на корпусі на шарнірі, в закритому стані утримується засувками.

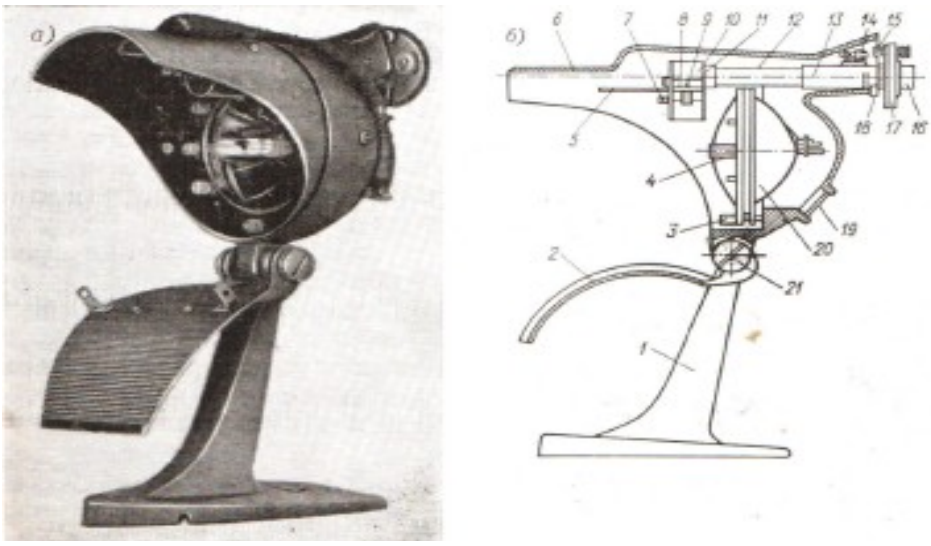


Рис.8.9 Установка М-71: а – зовнішній вигляд; б – загальний вигляд; 1 – кронштейн; 2 – кришка; 3, 4, 7, 9, 18, 21 – гвинти; 5 – козирок; 6 – корпус; 8 – направляючі; 10 - світлова коробка; 11 – світлофільтр; 12 і 13 – трубки; 14 – лампочка; 15 – отвір; 16 – лінзи; 17 – вимірювач видимості М-53А; 19 – вікно; 20 – фара.

Механізм фари дозволяє переміщувати лампу і зміщувати світловий пучок на деякий кут, а також повертати фару навколо горизонтальної (обертаючи гвинт 3) і вертикальної осі (обертаючі гвинт 4). Яскравість еталонного поля регулюється гвинтом 7, за допомогою якого пересувається шторка всередині світлової коробки; при обертанні гвинта за годинниковою стрілкою яскравість поля зменшується, а проти годинникової – збільшується. Гвинт 7 закривається ковпачком.

На світлову коробку нагвинчується труба 12, яка вільно входить в трубу 13, закріплену в корпусі. Між світловою коробкою і трубою 12 поміщений оранжевий світлофільтр 11 для зменшення різниці кольорових відтінків порівнюваних полів. Світлова коробка прикріплюється до передньої частини корпусу установки за допомогою гвинтів 9. При установці її можна переміщувати вздовж лінії візування за направляючими 8.

Поляризаційний вимірювач видимості 17 закріплюється в трубі за допомогою затискного пристрою гвинтом 18. На наглазник поляризаційного вимірювача видимості у відповідності з особливостями зору спостерігача одягається одна з п’яти змінних насадочних лінз 16, які входять до комплекта установки.

Корпус установки шарнірно з’єднаний з стойкою і закріплений гвинтом 21.

Вікно 19 служить допоміжним джерелом світла, яке необхідне при запису результатів вимірювань.

Фара і лампа для підсвітлення шкали поляризаційного вимірювача видимості живляться від мережі змінного струму 220 В, 50 Гц через блок живлення. (Живлення установки може здійснюватися і від батареї постійного струму напругою 12 В). Установка може монтуватися на метеорологічній площадці або у приміщенні, яке має постійно відкрите вікно (не засклене).

Проведення вимірювань. Перед початком вимірювань необхідна адаптація спостерігача. На поляризаційний вимірювач видимості установлюється насадкова лінза (підбирається з найбільшим збільшенням по зору спостерігача) і відчиняється кришка установки. Вмикається живлення лампи. Далі потрібно установити на шкалі поляризаційного вимірювача видимості відлік, близький до нуля. При цьому в полі зору приладу видно два світлих півкола, розділених темною смугою; верхнє півколо - основне зображення еталонного поля, нижнє - основне зображення поля, освітленого розсіяним назад світлом. Якщо обертати маховичок поляризаційного вимірювача видимості від нульової поділки, то при цьому нижче основних зображень полів з'являються додаткові зображення. Зображення полів повинні бути розташовані строго одне над іншим. Якщо вони зміщені, потрібно поляризаційний вимірювач видимості повернути на невеликий кут, добиваючись їх правильного розташування.

Додаткове зображення верхнього півкола (еталонного поля) повинне розташовуватися над основним зображенням нижнього півкола (поля, освітленого розсіяним назад світлом), так, щоб вони разом утворили повне коло. Після цього, обертаючи маховичок вимірювача видимості, потрібно зрівняти яскравості цих двох полів. Для цього, по черзі регулюючи яскравість нижнього і верхнього полів (рис.8.10, а, б), поступово зменшують різницю яскравостей до повного їх зрівнення (рис.8.10, в). При рівності яскравостей полів відраховують показання поляризаційного вимірювача видимості. Потім порушують цю рівність, повернувши маховичок вимірювача видимості приблизно на півоберта, знову зрівнюють яскравості полів і роблять відлік. Вимірювання повторюють тричі, одержуючи три відліки (n_1, n_2, n_3), які називаються відліками «за променем».

Якщо спостереження проводяться на фоні достатньо світлого неба (спостереження в сутінках, при місяці, на фоні заграви), то яскравість поля, створена розсіяним назад світлом, накладається яскравість неба. Для того, щоб виключити викликану цим похибку, додатковим вимірюванням «по небу» визначається яскравість неба.

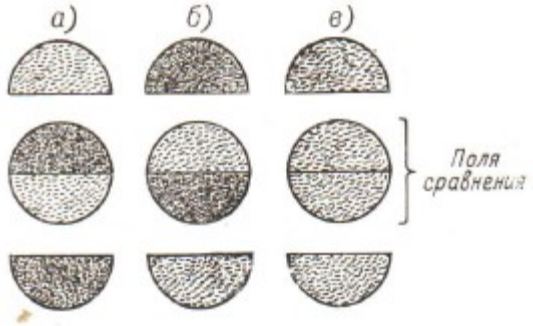


Рис.8.10 Порівняння яскравості полів, які спостерігаються в установці М-71.

При вимірюванні «по небу» закривають кришку і зрівнюють, як звичайно, яскравості півколів, які утворюють коло (у цьому випадку нижнє півколо освітлене тільки небом). Ці вимірювання також проводять три рази.

Обробка результатів. В залежності від умов природного освітлення при спостереженнях можуть бути два випадки.

1. Спостереження «по небу» не проводилось. У цьому випадку за трьома відліками «за променем» за формулою (8.8) обчислюють $N_{îê}$ і за його значенням за допомогою табл.16 «Сборника вспомогательных таблиц» находять МДВ (S_i).

2. Спостереження «по небу» проводилось. У цьому випадку за середніми значеннями відліків «за променем» $N_{ïð}$ і «по небу» N_i , обчисленим за формулою (8.8) і округленим до 0,5 поділки, користуючись табл.17 «Сборника вспомогательных таблиц», знаходять поправку на яскравість неба ΔN і обчислюють $N_{îê} = N_{ïð} - \Delta N$. Потім по табл.16 «Сборника вспомогательных таблиц» за значенням $N_{îê}$ знаходять S_i .

Поляризаційний вимірювач прозорості - дуже простий прилад. Нескладним є і сам процес проведення вимірювань. Трохи громіздка методика обчислення, яка потребує застосування значної кількості таблиць.

Вимірювач дальності видимості **ВДВ** (рис.8.11). Цей прилад, розроблений В.А. Гавриловим, призначається для вимірювання метеорологічної дальності видимості в світлу частину доби.

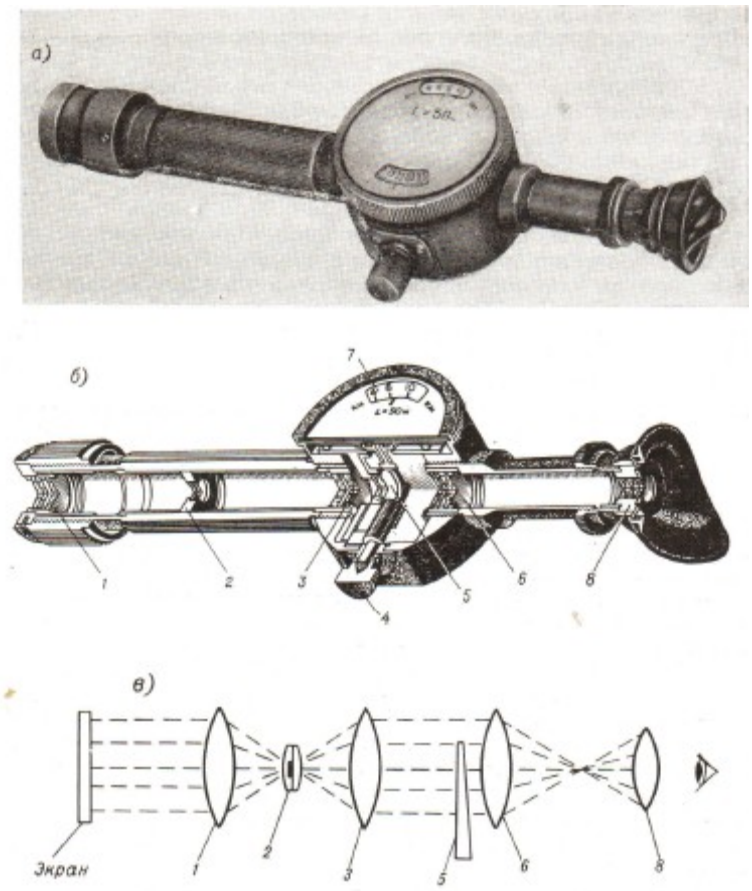


Рис.8.11 Вимірювач дальності видимості ВДВ: а – зовнішній вигляд; б – розріз; в – оптична схема; 1, 3 і 6 – об'єктиви; 2 – лінза; 4 – рукоятка; 5 - клин; 7 – шкальний диск; 8 – окуляр.

Основними вузлами ВДВ є коліматор, вимірювальний пристрій з клином і зорова трубка.

Коліматор складається з двох об'єктивів - переміщуваного 1 і нерухомого 3 – і лінзи 2, яка має круглу чорну мітку (марку), закріплену у фокусі об'єктиву 3. Коліматор забезпечує створення в полі зору зорової трубки зображення чорної марки і спостережуваного об'єкта, розташованого на будь-якій відстані (більше 3 м) від точки спостереження.

Вимірювальний пристрій призначений для роздвоєння зображення спостережуваних об'єктів і погіршення їх видимості до повного зникнення на даному фоні (зникнення чорної марки на фоні екрану).

Вимірювальний пристрій складається з оптичного ахроматичного клина 5 з малим заломлюючим кутом (1,5°) і гвинтової пари з рукояткою 4 для лінійного переміщення клина відносно вхідної діафрагми

об'єктива зорової трубки. Поступальне переміщення клина зубчатою передачею перетворюється в кутові переміщення шкального диску 7.

На диску розташовані дві шкали: верхня - безпосередньо зі значеннями метеорологічної дальності видимості в кілометрах і нижня – для проведення градуювання приладу, а також для більш точного визначення метеорологічної дальності видимості, коли це необхідно. У приладах, які випускаються, верхня шкала розрахована для бази спостережень 50 м (але може виготовлятися для будь-якої відстані).

Зорова трубка складається з об'єктива 6 і окуляра 8 і дає можливість одночасно розглядати через окуляр чіткі зображення марки і навколишніх предметів.

До приладу додається чорний матовий екран розміром 40×40 см. Цей екран (щиток) установлюють на стовпі в 50 м від точки, з якої проводять спостереження. При виборі азимута спостережень повинні враховуватися фактори, раніше вказані при виборі об'єктів для М-53А. Екран на стовпі закріплюється на висоті 1,7-2 м від поверхні землі. Верхня кромка екрану з точки спостережень може проектуватися трохи нижче відкритої лінії горизонту.

Проведення вимірювань. З ВДВ знімають захисні ковпачки. Обертанням рукоятки установлюють шкалу на нуль. Прилад, установлений окуляром до ока і рукояткою до низу, направляють в довільну точку небосхилу і коректують чіткість зображення марки (за своїм оком), обертаючи окуляр зорової трубки в ту чи іншу сторону. Потім направляють прилад на чорний екран і, обертаючи оправу переднього об'єкта коліматора, добиваються чіткого зображення чорного екрану. Потім прилад тримають так, щоб марка проектувалася на чорному екрані. Повільно обертають рукоятку за годинниковою стрілкою до тих пір, поки марка повністю не зіллється з екраном і стане на його фоні непомітною (рис.8.12, б). Спостереження проводять по основному верхньому зображенню (на нижнє увага не звертається). Щоб упевнитися в повному погашенні марки, невеликим нахилом приладу виводять її на фон неба, поєднують з екраном і, якщо виявиться, що марка на екрані ще видна, обертанням рукоятки її знову гасять. Вивід марки на фон неба і назад на екран повторюють до тих пір, доки марка зовсім не буде помітна на фоні екрану. Упевнившись в повному погашенні марки, за шкалою приладу відраховують значення МДВ. Вимірювання проводять три рази (результати не повинні значно відрізнятися одне від одного) і обчислюють середнє значення.

Рис.8.12 Зрівнення яскравості марки ВДВ і екрану.

ВДВ, що випускається, забезпечує вимірювання МДВ в межах 0,3-10 км. Похибка вимірювання приблизно 15 % вимірюваного значення.

7.4 Інструментальні (об'єктивні) методи.

Інструментально-візуальні методи визначення МДВ, основані на візуальних методах фотометрування, не можуть повністю виключити вплив на результат вимірювання індивідуальних властивостей спостерігача (в першу чергу його зір). Крім того, ці методи досить трудомісткі і не є універсальними при визначенні МДВ для темного і світлого часу доби. У зв'язку з цим вони не придатні для дистанційних і автоматичних вимірювань, які необхідні для обслуговування аеродромів. Перевага у цих випадках віддається приладам і методам вимірювання МДВ, основаних на принципі фізичного (об'єктивного) фотометрування. Як приймач випромінення в приладах цього типу застосовуються фотоелементи, фотоелектронні множники і фотодіоди. Як джерело світла застосовують лампи розжарення, імпульсні лампи, світлодіоди і лазери (квантові, генератори). Розроблено багато різновидностей приладів для об'єктивного вимірювання МДВ, які відрізняються за принципами дії, конструкції, джерелам світла і приймачем випромінення. Широке розповсюдження на гідрометеорологічній мережі мають модифікації реєстратора дальності видимості РДВ, які є спеціалізованими компенсаційними фотометрами.

РДВ оснований на принципі порівняння інтенсивності двох світлових потоків, сформованих від одного джерела світла (лампи розжарення), один з яких попадає фотоелемент після проходження ним

деякого шару атмосфери, другий, контрольний, попадає на фотоелемент безпосередньо від лампи, не зазнаючи впливу атмосфери.

Через те, що обидва потоки формуються від одного і того ж джерела світла і сприймаються одним і тим же фотоелементом, то деякі зміни, яких можуть зазнати лампа розжарення (коливання потужності) і фотоелемент (зміна чутливості), не позначаються на результатах вимірювань. Первісний світловий потік $\hat{O}_0$ від лампи, проходячи через шар атмосфери товщиною L, ослаблюється в τ^L разів і дорівнює

$$\hat{O} = \hat{O}_0 \tau^L , \qquad (8.10)$$

звідки $\ln \tau = \frac{1}{L} \ln \frac{\hat{O}}{\hat{O}_0}$.

Підставляючи значення $\ln \tau$ у вираз (8.5), отримаємо

$$S_{\grave{i}} = \frac{\ln \varepsilon}{\ln \frac{\hat{O}}{\hat{O}_0}} L . \qquad (8.11)$$

Враховуючи, що напруга фотоелемента пропорційна освітленому потоку, тобто $i_0 = k\hat{O}_0$ і $i = k\hat{O}$, вираз (8.11) можна записати у вигляді

$$S_{\grave{i}} = \frac{\ln \varepsilon}{\ln \frac{i}{i_0}} L . \qquad (8.12)$$

Вирази (8.11) і (8.12) є рівняннями шкали приладу.

Реєстратор дальності видимості **РДВ-2** (рис.8.13). Установка призначена для безперервних вимірювань і реєстрації МДВ від 250 до 6000 м. Основними блоками і приладами РДВ-2 є фотометричний блок (ФБ), відбивач, блок живлення, пульт керування, реєстратор і вказівний прилад. Фотометричний блок і відбивач установлюються на спеціальних штативах 3. Установку монтують біля метеорологічної площадки, а на АМСГ поблизу ВПС. Фотометричний блок на тринозі установлюється разом з блоком живлення, стабілізатором і електрощитом в захисній будці. Відбивач на тринозі установлюють на відстані 100 м від фотометричного блоку в захисній будці або на спеціальній вишці на висоті 5 м в захисному футлярі. На передній стінці захисної будки і захисного футляру є квадратні отвори для проходження світлових імпульсів, які посилаються фотометричним блоком.

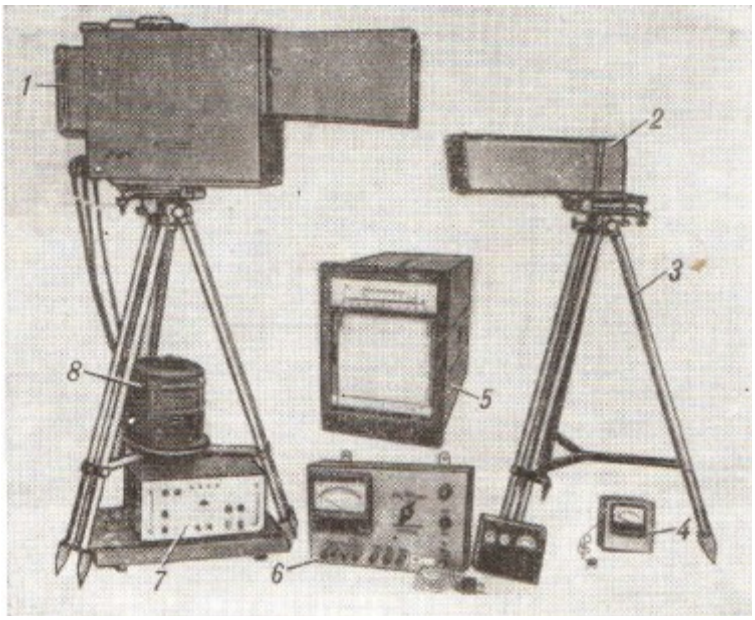


Рис.8.13 Реєстратор дальності видимості РДВ-2: 1 – фотометричний блок; 2 – відбивач; 3 – триноги; 4 – вказівний прилад; 5 – реєстратор; 6 – пульт керування; 7 – блок живлення; 8 – стабілізатор.

Отвори в будці і футлярі захищені від попадання опадів і прямого сонячного світла козирками. Пульт керування, реєстратор і вимірювальні прилади установлюються в службовому приміщенні, яке може знаходитися на відстані до 5 км від фотометричного блока (дистанція визначається якістю ліній зв'язку).

У фотометричному блоці формуються два модульованих пучка світла: зондувальний, вимірювальний, направлений в атмосферу до відбивача, і контрольний, направлений безпосередньо до фотоелемента. Зондуючий пучок після відбивання від призм відбивача повертається до ФБ і попадає на фотоелемент. Обидва модульованих пучка світла попадають на фотоелемент по черзі. Викликані ним сигнали порівнюються за амплітудою і зрівнюються (компенсуються), при цьому вимірюється МДВ. Світло модулюється, зокрема, для того, щоб виключити вплив на показання РДВ природного світла і світла від інших зовнішніх джерел, який може попасти на фотоелемент.

Зондуючий пучок світла від лампи $Ë$ (рис.8.14) формується об'єктивом $Î\ 1$, призмою $Ïð\ 1$, об'єктивом $Î\ 2$ фокусується в площині диску модулятора $ÄÌ$, обмежується діафрагмами $Ä1$, $Ä2$, об'єктивом $Î\ 3$ направляється на призму $Ïð\ 2$, яка направляє його на вихідний об'єктив $Î\ 4$. Об'єктив $Î\ 4$ направляє пучок, який слабо розходиться, (кут розходження 2°) через захисне скло ЗС, через шар атмосфери на трипль призми $TÏð$ відбивача.

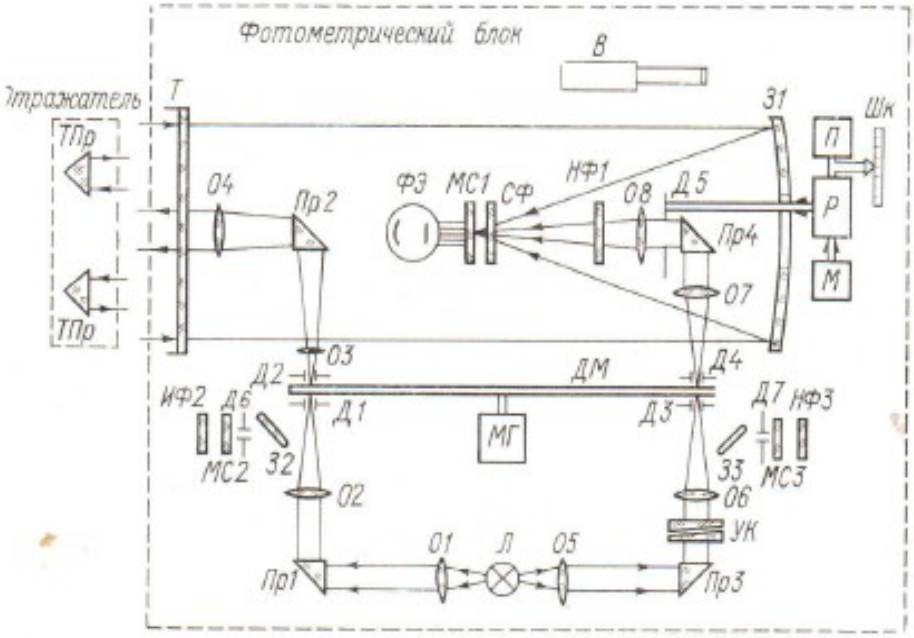


Рис.8.14 Оптична схема фотометричного блоку і відбивача РДВ-2.

Трипль призма змінює напрямок променів на 180º, повертаючи вимірювальний пучок світла через шар атмосфери до фотометричного блоку. Пучок попадає через захисне скло *ЗС* на увігнуте сферичне дзеркало $\varsigma 1$, яке направляє його через коректуючий світлофільтр *СФ* на молочне скло *МС*. Розсіяне молочним склом світло освітлює фотокатод фотоелемента *ÔÅ* (чим викликав відповідний фотострум). Інтенсивність вимірювального пучка світла залежить від прозорості шару повітря між фотометричним блоком і відбивачем, який він проходить двічі. Фільтр *ÑÔ* служить для проведення кривої спектральної чутливості фотоелемента до кривої спектральної чутливості ока (кривої видимості).

Контрольний пучок світла від лампи *Ë* формується об'єктивом *Î* 5, призмою *Ïð* 3, проходить через установочні клини *ÓÊ* і об'єктивом *Î* 6 фокусується в площині диска модулятора *ÄÌ*, обмежується діафрагмами *Ä*3 і *Ä*4, далі об'єктивом *Î* 7 і призмою *Ïð* 4 направляється через вимірювальну діафрагму *Ä*5 і нейтральний фільтр *ÍÔ* 1 і далі, як і зондувальний пучок, - через діафрагму *Ä*, коректуючий світлофільтр *ÑÔ*, на молочне скло *МС*, яке розсіює його на фотоелемент *ÔÅ* (викликаючи відповідний фотострум i_0).

Нейтральний фільтр *ÍÔ* 1 служить для ослаблення пучка світла (він дуже інтенсивний). За допомогою установочних клинів *ÓÊ* при

первинному регулюванні приладу задається інтенсивність вимірювального ручка світла. Це робиться в умовах високої прозорості атмосфери ($S_i \geq 30$ км) при повністю розкритій діафрагмі $Ä5$. Інтенсивність пучка світла дорівнює інтенсивності вимірювального пучка, при цьому стрілка приладу установлюється на поділці 99-100.

Вимірювальна діафрагма $Ä5$ служить для зрівнення інтенсивності контрольного пучка світла з інтенсивністю зондувального пучка при визначенні МДВ.

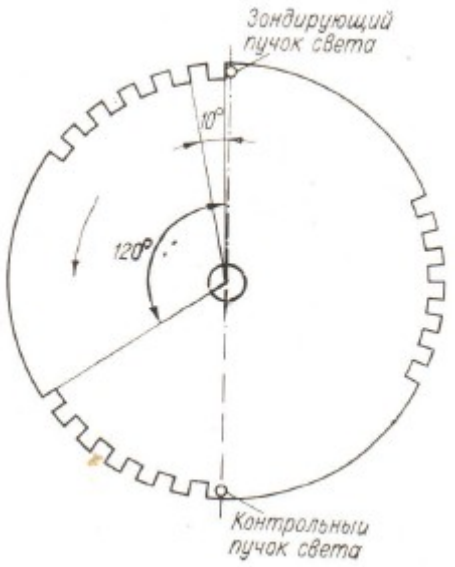
Зіниця вимірювальної діафрагми $Ä5$ має форму сектора, через який проходить пучок світла. Зіниця перекривається півдиском, який повертається на осі. Вісь обертання півдиска співпадає з оптичною віссю пучка світла. При однорідному світловому полі, яке створюється зондувальним пучком, потік, що пройшов через діафрагму (відкриту частину її зіниці), прямо пропорційний площі відкритій частині зіниці, яка лінійно змінюється в залежності від кута повороту рухливого диска і його осі. Таким чином, кут повороту осі φ є мірою інтенсивності контрольного пучка світла. При вимірюваннях інтенсивність контрольного пучка світла за допомогою діафрагми $Ä5$ зрівнюється з інтенсивністю зондувального пучка, тобто $c_\varphi Ô_0 = Ô$, яка пропорційна прозорості атмосфери. Отже, кут φ в приладі є мірою вимірювання прозорості атмосфери.

В приладі є оптичний візир B для наведення основного блоку і відбивача датчика один на одне. Для контролю правильності установки лампи розжарення $Ë$ служать юстировані пристрої, які складаються з дзеркал $Ç2$ і $Ç3$, діафрагм $Ä4$ і $Ä5$, матових стекол $ÌÑ\ 2$ і $ÌÑ\ 3$, і нейтральних фільтрів $ÍÔ\ 2$ і $ÍÔ\ 3$. При юстировці вони установлюються в світлових полях пучків. Якщо лампа установлена правильно, прилад від'юстований, на стеклах $ÌÑ\ 2$ і $ÌÑ\ 3$ з'являється чітке зображення ниток лампи.

Модулятор являє собою диск, який обертається мотором з постійною швидкістю. Диск (рис.8.15) має широкі зубці (шириною по дузі 60°), що чергуються із зубчатою гребінкою (також 60°). Гребінка складається з вузьких, однакових за шириною зубців і просвітів. Зубець разом з просвітом має ширину 10°. При обертанні диск своїми широкими зубцями (по 60°) по черзі перекриває то зондувальний, то контрольний пучок світла.

Під час перекривання широким зубцем одного пучка другий в цей проміжок часу модулюється вузькими зубцями (гребінкою). При цьому на катод фотоелемента будуть надходити імпульси світла то від одного, то від іншого пучка світла з амплітудою $Ô$ і частотою $F_1 = \frac{n \cdot 360^\circ}{10^\circ}$, де n - кількість обертів диску (мотора) за секунду ($n = 50$ об/с).

Рис.8.15 Диск модулятора.



Під впливом цих світлових імпульсів на навантаженні фотоелементу з'явиться напруга змінного струму $U_{âõ}$ такої ж частоти (несуча частота). Якщо інтенсивність обох пучків світла однакова, то амплітуди імпульсів світла $\hat{O}$, які поступають на фотоелемент, однакові і будуть однакові й напруги $U_{âõ}$ (рис.8.16, а).

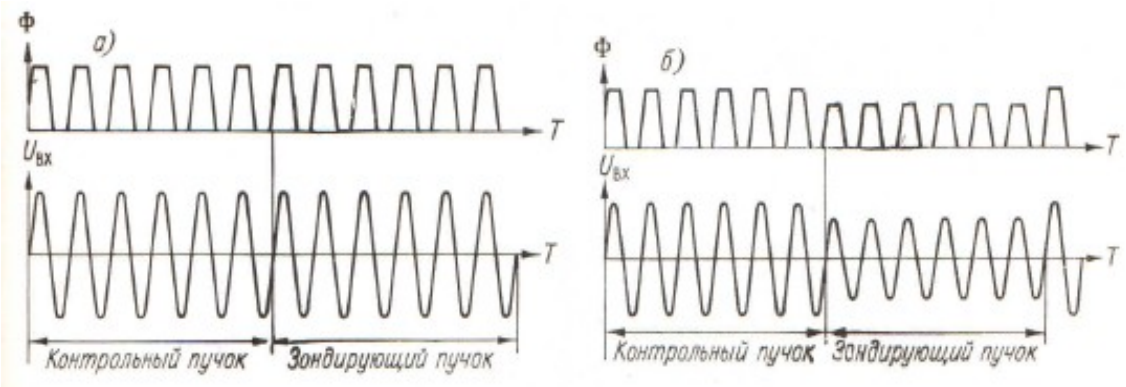


Рис.8.16 Імпульси контрольного і зондувального пучків світла і викликана ними напруга змінного фотоструму при однаковій (а) і при різній (б) інтенсивності.

Якщо їхня інтенсивність різна, то відповідно будуть різні амплітуди імпульсів світла $\hat{O}$ і $U_{âõ}$ (рис.8.16, б). Зміна напруги $U_{âõ}$

буде відбуватися з частотою модуляції пучків широкими зубцями: $F_2 = \frac{n \cdot 360^\circ}{120^\circ}$.

Таким чином, при різній інтенсивності світлових пучків світла коливання несучої частоти $F_1 = 1800$ Гц модулюються за амплітудою по низькій частоті $F_2 = 150$ Гц.

Генератор мотор-генератора вироблює струм опорної напруги частотою, що дорівнює частоті амплітудної модуляції 150 Гц. Частота опорної напруги, несуча частота і частота амплітудної модуляції лінійно залежать від швидкості обертання диска модулятора (мотора), тому коливання цієї швидкості до 5 % не позначаються на показаннях РДВ-2.

Напруга (з навантаження) фотоелементу (рис.8.17) подається на підсилювач сигналів розбалансу, підсилюється і за допомогою детектора і фільтра виділяє напругу низькочастотного (150 Гц) сигналу, яке знову підсилюється фазоінверторним каскадом підсилювача.

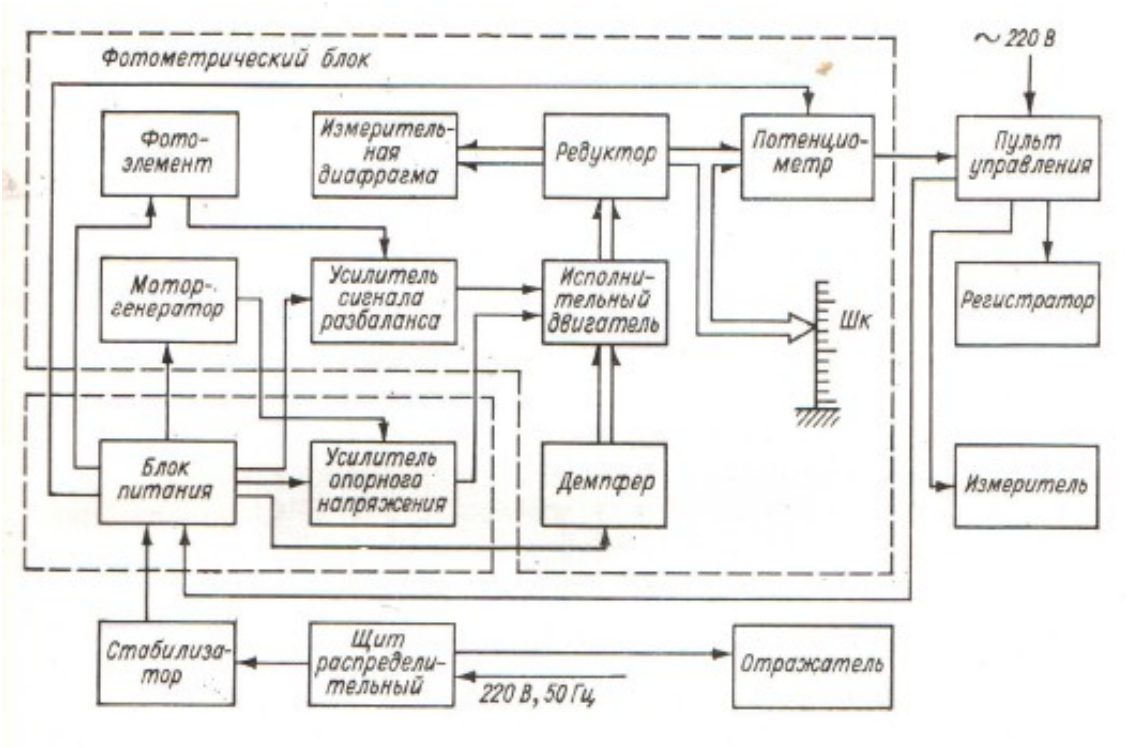


Рис.8.17 Блок-схема РДВ-2.

Якщо інтенсивності обох пучків світла однакові, то всі імпульси, які надходять до входу підсилювача, будуть однакові за амплітудою, отже модуляції за амплітудою нема. Тому на виході підсилювача напруга буде дорівнювати нулю. Вона виникає тільки при розбалансі (різній інтенсивності пучків). Фаза напруги на виході підсилювача при

розбалансі залежить від того, який пучок світла інтенсивніший, і відрізняється в залежності від цього на 180°. З входу підсилювача напруга подається на керуючу обмотку виконавчого мотора (на його обмотку збудження подається опорна напруга від генератора, підсилена двох контактним підсилювачем). У відповідності з фазою напруги розбалансу мотор починає обертатися в ту чи іншу сторону, приводячи через редуктор в дію рухливий сектор діафрагми $Ä5$, зменшуючи або збільшуючи площу її зіниці до досягнення рівності інтенсивностей обох пучків світла, які надходять до фотоелементу. Одночасно потенціометр і вказівник шкали $Øê$, також зв'язані з мотором через редуктор, установлюються в положення, яке відповідає значенню МДВ (і прозорості). Мотор зв'язаний з демпфером, який розвиває гальмуючий момент, пропорційний швидкості обертання.

Всередині корпусу на платах змонтовані оптичні, електромеханічні і електронні вузли блоку. На передній стінці корпусу через гумове ущільнення вставлене захисне скло 5. До задньої стінки прикріплений кожух 1, в якому розташовані вказівник зі шкалою 11 і вимірювальний потенціометр 8. Там же є лампочки 9 для освітлення шкал. На задній стінці закріплені три штепсельних гнізда для підключення кабелів, що йдуть від блоку живлення до реєстратора і вказівників. Зверху на корпусі закріплений оптичний візир 3.

У відбивачі (рис.8.19) змонтовано дев'ять трипль призми. Вони вставлені в оправу, яка закріплюється до корпуса відбивача. Перед призмами установлені діафрагми і бленди. Бленди зібрані в знімальній оправі, яка прикріплюється до корпуса за допомогою замків. В оправі з блендами є

За шкалою $Øê$ можна відрахувати показання безпосередньо біля фотометричного блоку. Потенціометр, на який від джерела живлення подається стабілізована напруга 65 В, є вихідним перетворювачем МДВ і прозорості τ в напругу постійного струму, яка забезпечує дистанційне вимірювання до декількох кілометрів.

Фотометричний блок (рис.8.18) змонтований в бризозахисному корпусі із знімальними боковими стінками (для зручності монтажу, настройки, перевірки і т.д.).

Рис.8.18 Фотометричний блок: а – вигляд збоку (зі знятою стінкою); б – вигляд задньої стінки при відкритій кришці; 1 – задній кожух; 2 – сферичне дзеркало; 3 – візир; 4 – фотоелемент (в кожусі); 5 – захисне скло; 6 – підсилювачі; 7 – мотор-генератор; 8 – потенціометр; 9 – лампочки; 10 – мотор; 11 – шкала; 12 – штепсельні гнізда.

обігрівач для обігрівання призм, щоб їхня температура була трохи вище температури повітря (чим виключається конденсація на них водяних парів повітря).

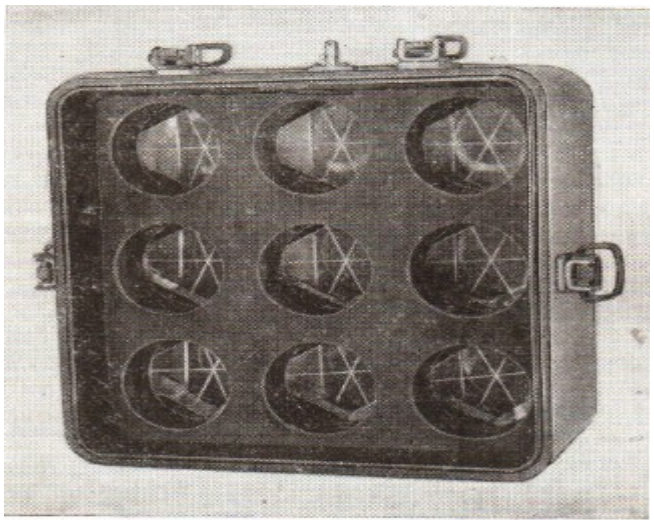


Рис.8.19 Відбивач приземний (без бленди і діафрагм).

Блок живлення 7 (рис.8.13) змонтований на прямокутному шасі, установленому в кожусі. На його передній панелі знаходяться запобіжники, індикаторна лампочка, перемикач і клеми для підключення контрольного приладу, клеми для підключення лінії зв'язку до вимірювальних приладів і пульту дистанційного керування, тумблери увімкнення живлення і обігрівання фотометричного блоку і відбивача, і увімкнення лінії дистанційного керування, гнізда для контролю окремих ланцюгів і реостат для регулювання струму у вимірювальному ланцюзі. На задній стінці блоку знаходяться штепсельні гнізда для підключення кабелів. Блок живлення прикріплюється до нижньої частини штатива, на якому установлюється фотометричний блок.

Пульт керування 6 (рис.8.13) призначений для дистанційного керування установкою і вимірювання МДВ. На його лицьовій панелі є вимірювальний прилад (мікроамперметр) зі шкалами в одиницях МДВ і прозорості атмосфери, і органи керування установкою: тумблер для увімкнення мережі, трьохпозиційний перемикач (вимірювання, пуск, вимкнення), запобіжники, сигнальна лампа, клеми для підключення ліній зв'язку з фотометричним блоком (три дроти), реєстратором (два дроти) і вимірювальним приладом.

Як реєстратор в РДВ-2 використовується міліамперметр, що реєструє, зі шкалами в одиницях МДВ і прозорості атмосфери. Для обробки записів надається лінійка зі шкалою в одиницях МДВ.

Вказівний прилад – це мікроамперметр зі шкалами в одиницях МДВ і прозорості атмосфери, вмонтований в стійкий корпус.

Контроль зберігання градуювання фотометричного блоку. Під час експлуатації РДВ під впливом зовнішніх факторів можуть змінитися характеристики окремих його елементів (наприклад, прозорість і відбивальна здатність оптичних елементів може зменшитися через осадження пилу на їх поверхні). Це приводить до порушення градуювання РДВ. Тому необхідний постійний контроль за станом всіх його елементів і проведення профілактичних заходів, передбачених інструкціями (чистка оптики, змащення, перевірка ряду електричних ланцюгів і т.д.). Узагальненим контролем справності РДВ є контроль градуювання установки за вихідними шкалами (величинами).

Контроль збереження градуювання РДВ здійснюється систематичною перевіркою показань фотометричного блоку, вимірювальних приладів, і приладів, що реєструють, при високій прозорості атмосфери – МДВ приблизно 20 км – і періодично за допомогою контрольного пристрою, що входить до комплекту РДВ. При високій прозорості атмосфери контролюються показання в граничних точках (0 і 100 %). Перевірка точки нуля робиться при щільно закритому (за допомогою чорного щитка або куска чорної непрозорої тканини) отвору тубуса фотометричного блоку (або отвору в захисній будці). В цей час показання за шкалами прозорості фотометру та вимірювальним приладам повинні бути в межах 0-1 %. У випадку необхідності робиться коректування положення стрілок, які вказують, відносно шкал фотометра, і пера приладу, що реєструє. Потім забирають щиток і проводять перевірку показань у другій граничній точці. При МДВ 20 км і більше показання приладів за шкалами прозорості повинні бути в межах 98-100 %. Якщо показання виходять за ці межі, то потрібно перевірити чистоту призм відбивача і фотометра. У випадку необхідності за допомогою установочного клину *ÓÊ* (рис.8.14) зробити коректування показань фотометру, а потім за допомогою регулятора пульту керування узгодити показання приладів, що реєструють і вказують, з показаннями фотометра.

Контрольний пристрій дозволяє перевірити збереження градуювання РДВ додатково в декількох проміжних точках, за умови, що показання РДВ в граничних точках правильні. Контрольний пристрій містить відбивач, матове скло, змінні фільтри і регульовану діафрагму, і установлюється на фотометричному блоці замість тубуса, який знімається. Вимірювальний пучок променів попередньо обмежується діафрагмою контрольного пристрою, а потім, ослаблений світлофільтрами, повертається (відбивається) у фотометричний блок. Обмеження вимірювального пучка проводять за допомогою регулювального гвинта

діафрагми, добиваючись, щоб показання фотометричного блока були в межах 98-100 % шкали прозорості. Регулювання зіниці діафрагми робиться тільки один раз. Надалі при цій зіниці діафрагми відлік за шкалою фотометра з контрольним пристосуванням є контролем справності приладу. Потім по черзі установлюють у контрольний пристрій фільтри і проводять відповідні ним відліки за шкалою приладу. Якщо прилад справний, то ці показання не повинні відрізнятися від значень прозорості, вказаних у свідоцтвах фільтрів, більше ніж на 1 %. Точку нуля можна перевірити, вставивши в гніздо для фільтрів непрозору пластинку, а точку максимального значення (100 %), як уже вказувалось, без фільтрів (або з прозорою пластинкою замість фільтра).

РДВ-2 як автономний прилад може керуватися через блок живлення і дистанційно через пульт керування. При використанні РДВ-2 як датчик в автоматичних метеорологічних станціях (М-106 і КРАМС) він керується відповідними пристроями цих станцій.

Реєстратор дальності видимості **РДВ-3**. Ця установка є модернізованим і удосконаленим варіантом РДВ-2.

РДВ-3 відрізняється від РДВ-2 за конструкцією і деяким технічним характеристикам: зменшена кількість блоків, їх маса і габарити; знижено споживання енергії; спрощена лінія дистанційного зв’язку (два дроти замість трьох); застосовні нові, більш удосконалені серійні елементи і прилади.

Основними приладами РДВ-3 (рис.8.20) є фотометричний блок, в одному корпусі з яким розміщений блок живлення, відбивач, пульт керування з вказівним приладом, реєстратор. До комплекту РДВ-3 входять також стабілізатор, електрощит (для підключення всієї установки до мережі 220 В, 50 Гц), два штатива, комплект кабелю і ЗМП.

Рис.8.20 Реєстратор дальності видимості РДВ-3: 1 – фотометричний блок; 2 – реєстратор; 3 – пульт керування; 4 – електричний щиток; 5 – відбивач; 6 – триноги.

У фотометричному блоці РДВ-3 зондувальний і контрольний пучки світла створюються шляхом розділення плоско паралельною пластинкою *Їё* (рис.8.21) одного пучка променів, які направлені на неї об'єктивом $O1$ від лампи розжарення *Ё*. Це підвищує незалежність відношення інтенсивностей вимірювального і зондувального пучків світла від характеристики джерела світла.

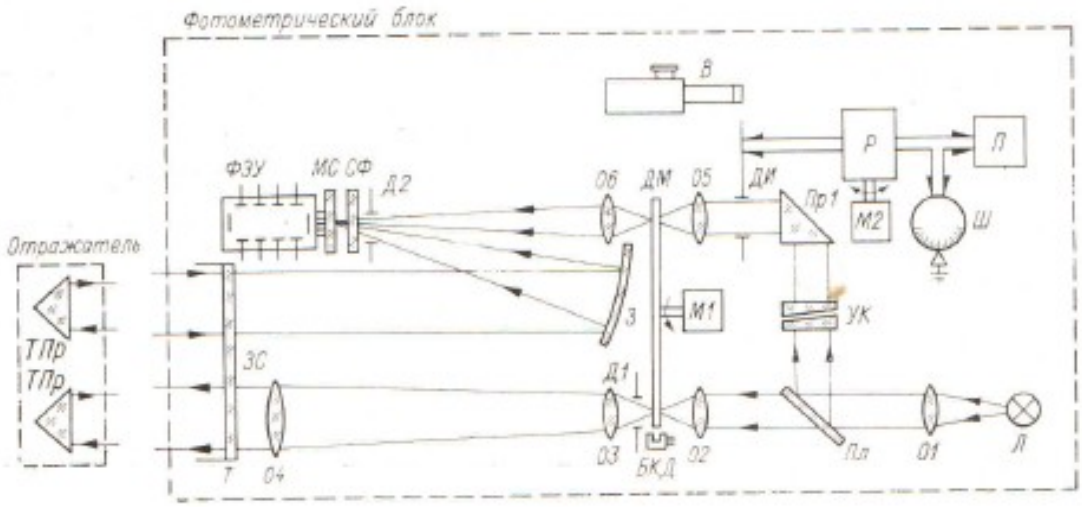
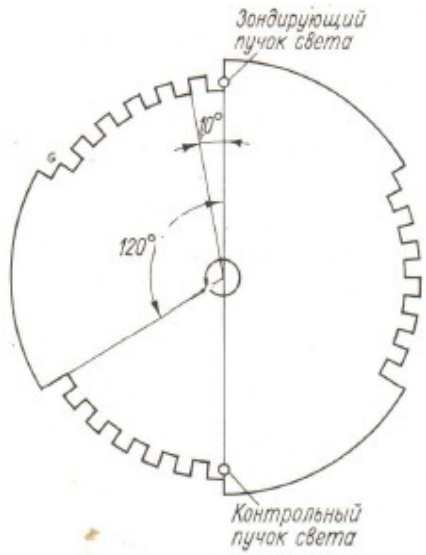


Рис.8.21 Оптична схема фотометричного блоку і відбивача РДВ-3.

Зондувальний пучок світла формується від променів, які пройшли крізь пластинку *Ïë* . Об'єктивом *O2* він фокусується в площині диску модулятора *ÄÌ* , яким промені світла модулюються, потім обмежується діафрагмою *Ä1* і об'єктивами *O3* і *O4* , формується в пучок, що слабо розходиться, (кут розходження 2°) і направляється через захисне скло *ÇÑ* на трипль призми *ÒÏð* відбивача, що знаходиться на відстані 100 м. Після відбиття світло частково попадає на захисне скло *ÇÑ*, проходить крізь нього, попадає на сферичне дзеркало *Ç*, що являє собою половину сферичного дзеркала, і направляється ним крізь діафрагму *Ä2* і коректуючий світлофільтр *ÑÔ* на молочне скло *ÌÑ* . Модульоване світло, розсіяне молочним склом, освітлює фотокатод фотомножника *ÔÅÏ* .

Контрольний пучок світла формується з променів, відбитих плоско паралельною пластинкою *Ïë* , які потім проходять крізь установочні клини *ÓÊ* , призмою *Ïð 1* повертаються на 90° і направляються через вимірювальну діафрагму *ÂÄ* на об'єктив *O5* . Об'єктив фокусує їх в площині диска модулятора *ÄÌ* (яким світло модулюється) і направляє на об'єктив *O6* . Об'єктив *O6* направляє пучок світла через діафрагму *Ä3* і коректуючий світлофільтр *ÑÔ* на молочне скло *ÌÑ* . Модульоване світло, розсіяне молочним склом, попадає на фотокатод *ÔÅÏ* .

Диск модулятора *ÄÌ* (рис.8.22) відрізняється від диска модулятора РДВ-2 тільки тим, що його широкі зубці (60°) довші за вузьких. Він обертається двигуном *Ì* з постійною швидкістю (3000 об/хв).



Як генератор опорної напруги в РДВ-3 застосовний малогабаритний, безконтактний датчик *ÁÊÄ* , який серійно випускається, і являє собою генератор незатухаючих коливань з підсилювачем. Між котушками базовою і колекторною обмоток генератора є зазор (паз). *ÁÊÄ* установлений так, що при обертанні диску *ÄÌ* його подовжені широкі зубці попадають в паз і екранують один від одного котушки генератора, викликаючи зриви його генерації.

Рис.8.22 Диск модуляції РДВ-3.

В результаті на виході *ÁÊÄ* виходять імпульси струму з частотою 150 Гц, тобто з частотою модуляції світлових імпульсів за амплітудою

частота опорної напруги, несуча частота і частота амплітудної модуляції знаходяться в лінійній залежності від швидкості обертання диску модулятора (мотора), тому коливання швидкості обертання мотора до 5 % не впливають на показання РДВ-3.

Структурна і електрична схеми РДВ-3 (рис.8.23) мають деякі особливості.

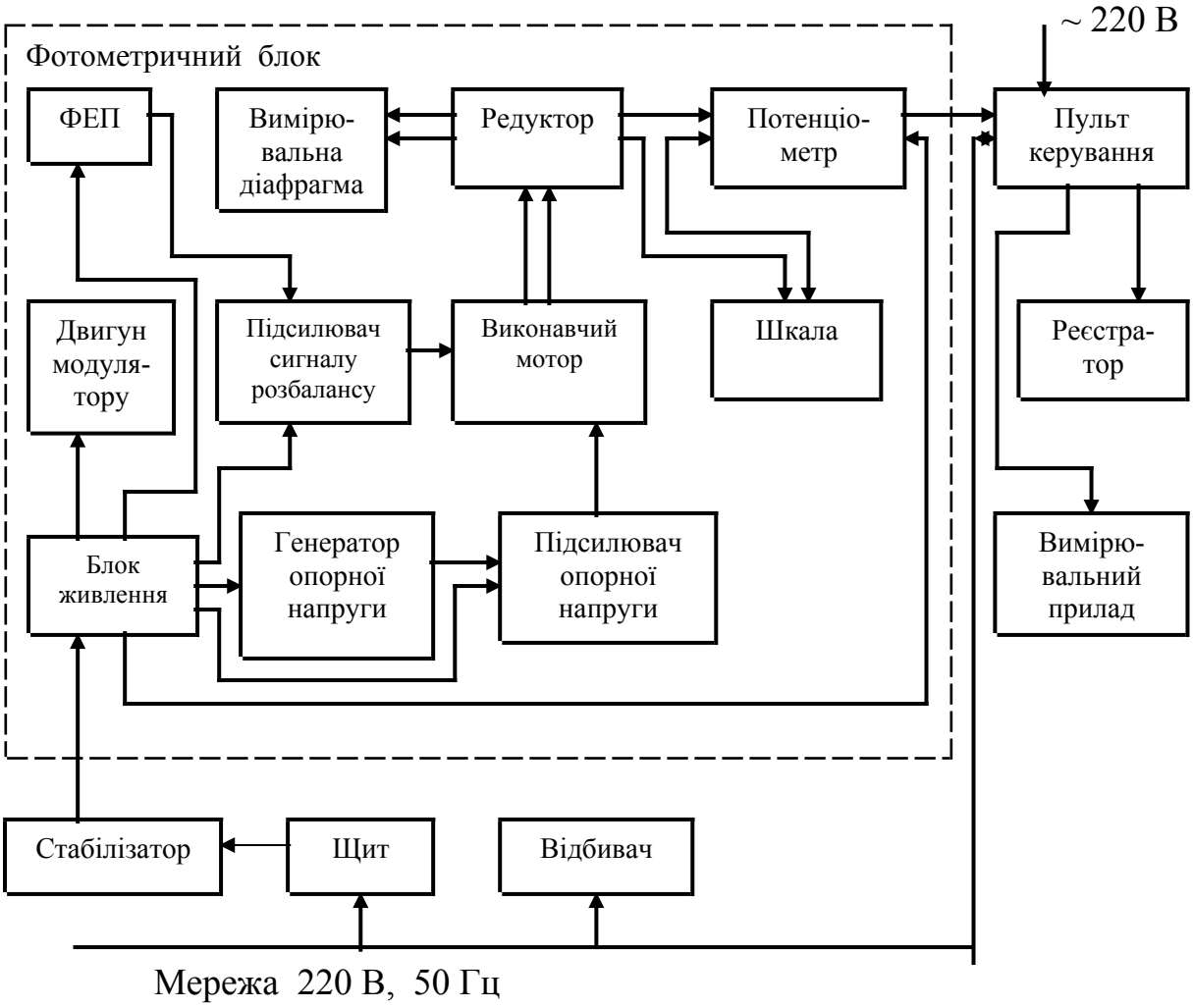


Рис.8.23 Структурна схема РДВ-3.

Напруга від фотомножника *B* з несучою частотою 1800 Гц, що промодульована по амплітуді з низькою частотою 150 Гц, надходить до входу підсилювача розбаланса. Після підсилення, детектування і фільтрації попередніми каскадами підсилювача на лампі *V*1 виділяється низькочастотна складова вхідного сигналу, яка вихідним фазоінверторним каскадом підсилювача видається у вигляді напруги розбалансу з частотою 150 Гц і фазою, що залежить від напрямку розбалансу (в залежності від того, інтенсивність якого пучка світла

більше). Якщо оптична система збалансована, то напруга на виході підсилювача дорівнює нулю, а при розбалансі досягає 20 В. Напруга від підсилювача надходить до керуючої обмотки виконавчого мотора. На його обмотку збудження надходить опорна напруга (150 Гц) від підсилювача датчика опорної напруги (*ÁÊÄ*). В залежності від зсуву фази напруги, яка подається на керуючу обмотку, відносно фази опорної напруги, що подається на обмотку збудження, мотор починає обертатися в ту чи іншу сторону, обертаючи через редуктор вимірювальну діафрагму до моменту зрівнення світлових потоків, які надходять до *ÔÅÏ* . Одночасно при цьому вимірювальна шкала і движок вихідного потенціометра установлюються в положення, яке відповідає виміряному значенню МДВ.

На потенціометр подається стабілізована напруга постійного струму (60 В). Від потенціометру напруга подається на пульт керування, через лінію зв'язку - прилади, що вказують і реєструють. Ця напруга визначається положенням движка на потенціометрі, тобто залежить від значення МДВ. Як вказівний і реєструючий прилади застосовні серійний міліамперметр і реєструючий міліамперметр, в яких установлені шкали в одиницях МДВ і прозорості атмосфери.

Установка живиться від мережі змінного струму 220 В, 50 Гц, які подаються на щит. За допомогою тумблера щита живлення через стабілізатор напруги подається на блок живлення (конструктивно блок живлення розміщений у фотометричному блоці).

Фотометричний блок разом з блоком живлення розміщений у бризозахисному корпусі (рис.8.25, а). На передній стінці корпусу в рамці з гумовими ущільненнями установлюється захисне скло, а на рамці установлюється тубус (бленда). Всі елементи розміщуються на двох рамах-шасі і задній стінці. На задній стінці є вікно вимірювальної шкали 2 із захисним козирком, вікно оптичного візиру із захисним тубусом 3, плата 5 з контрольними гніздами, запобіжниками і тумблерами для увімкнення живлення, і перемикання установки в режим місцевого або дистанційного керування і два штепсельних гнізда 6 для підключення вимірювальної лінії зв'язку і живлення (стабілізатора). В центрі задньої стінки прикріплений радіатор, призначений для відводу тепла від лампи (установленої всередині біля радіатору) в навколишнє повітря. Задня стінка прикріплюється до корпусу гвинтами. Відгвинтивши гвинти, разом із задньою стінкою можна вийняти з корпусу всі вузли приладу, які змонтовані на двох рамах, установлених в пазах внутрішніх стінок корпусу. На нижній рамі (рис.8.25, б) розміщені зібрані на платах підсилювачі 23, блок живлення 25, виконавчі реле 26 та інші електронні й електричні елементи.

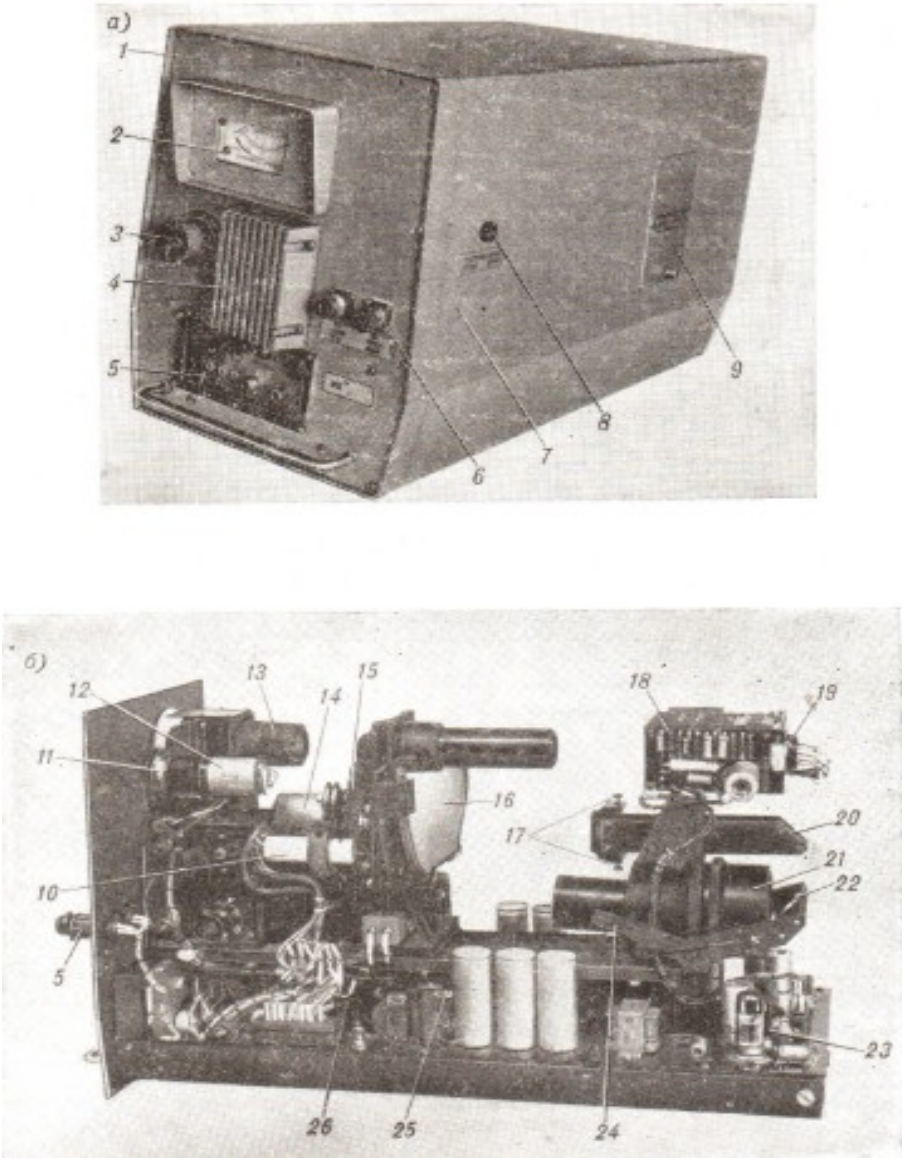


Рис.8.25 Фотометричний блок: а – зовнішній вигляд; б – розміщення вузлів; 1 – задня стінка; 2 – шкала; 3 – візир; 4 – радіатор; 5 – плата; 6 – штепсельні гнізда; 7 – корпус; 8 – вікно; 9 – кришка; 10 - *ÁÊÄ*; 11 – потенціометр; 12 – двигун; 13 – тубус; 14 – двигун модулятора; 15 – диск модулятора; 16 – увігнете дзеркало; 17 – гвинти; 18 – попередній підсилювач; 19 – ФЕП; 20 і 22 – дзеркала; 21 – об'єктив; 23 - підсилювач; 24 – важіль; 25 – блок живлення; 26 – реле.

На верхній рамі розміщені лампа розжарення і оптичний вузол для формування двох пучків світла (зондувального і вимірювального), тубус 13 з оптикою для формування контрольного пучка світла, тубус 21 з об'єктивом, направлений зондувальний промінь на відбивач, увігнуте дзеркало 16, ФЕП 19, попередній підсилювач 18, двигун 14 з

модуляторним диском 15, установочні клини, виконавчий двигун 12, зв'язаний через редуктор з потенціометром 11 і шкалою, тут же на зворотній стороні плати закріплений оптичний візир (на рисунку його не видно).

В описаному серійному зразку контрольний пристрій вбудовано в блок. При проведенні контрольних вимірювань відкривають кришку 9 вікна кожуха і важелем 24 дзеркало 22 піднімають до об'єктива 21. При цьому положенні дзеркала промені від об'єктиву направляються на дзеркало 20 і через діафрагму на дзеркало 16. За допомогою гвинтів 17 можна керувати діафрагмою, змінюючи інтенсивність променя. В робочому стані важіль відпускає дзеркало 22, і промені від об'єктива 21 проходять через захисне скло в атмосферу до призменого відбивача. Призмений відбивач аналогічний РДВ-2.

Пульт керування і вимірювання служить для здійснення зв'язку між фотометричним блоком і реєструвальним, і вказівним приладами, і для керування установкою при дистанційному режимі її роботи. На передній панелі пульту розміщені вимірювальний прилад (зі шкалами в одиницях МДВ і прозорості), кнопки для дистанційного керування (підготовки вимірювання) увімкнення живлення установки (220 В, 50 Гц), кнопка для увімкнення установки в режим вимірювання, сигнальні лампи і запобіжники. Лінії живлення і зв'язку з фотометричним блоком підключаються за допомогою штепсельних гнізд.

Установка РДВ-3 може працювати в місцевому і дистанційному режимах вимірювання. Режим вимірювання визначається положенням тумблера на задній стінці фотометричного блоку (місцеве і дистанційне). При місцевому режимі установка безперервно знаходиться в режимі вимірювань, при дистанційному – установка натиском кнопки пульта керування вводиться в режим готовності (подібно РДВ-2). Увімкнення установки в режим вимірювання проводиться натиском другої кнопки пульту керування, вимкнення - другим натиском першої кнопки (при цьому відбувається розривання ланцюгу живлення).

Контрольні вимірювання і розміщення приладів РДВ-3 роблять так же, як і для РДВ-2 (з врахуванням розміщення контрольного пристрою всередині блоку).

РДВ-3 використовується як датчик автоматичних станцій КРАМС і М-106.

Допустима довжина лінії зв'язку визначається її характеристиками (опором, опором ізоляції). Для ліній зв'язку доброї якості (опір 1 кОм/км, опір ізоляції 100 кОм) допускається протяжністю до 10 км.

Установки, які застосовуються зараз для вимірювання МДВ, не повністю задовольняють практичним вимогам. Для обслуговування авіації необхідні дані про МДВ не тільки в горизонтальному напрямку

поблизу земної поверхні, але і під кутом 3-5° до горизонту і у вертикальному напрямку. Виникла необхідність розширення діапазону вимірювань МДВ за нижньою межею до 30 м. Підвищились вимоги до точності вимірювань. У зв'язку з цим інтенсивно проводяться роботи з удосконалення існуючих вимірювачів МДВ і створення нових з використанням як джерело світла імпульсних ламп і напівпровідникових квантових генераторів, що значно підвищить технічні характеристики вимірювачів МДВ.

Роботи проводяться також і з створення нових вимірювачів МДВ, основаних на принципі визначення МДВ за характером зворотного розсіювання світла окремими шарами атмосфери.

8.5 Реєстратор дальності видимості ФІ-1.

Імпульсний фотометр ФІ-1 складається з відбивача, вимірюваного середовища і оптично зв'язаного захисного скла, об'єктива, імпульсного джерела світла, оптичного атенюатора, дифузного розсіювача, прийомного дзеркала, фотоперетворювача (наприклад, ФЕМ) і блоку керування і обробки, на виході якого формується вихідний сигнал, пропорційний прозорості вимірюваного середовища. Блок керування і обробки містить засоби періодичного порівняння сигналу опорного і вимірювального каналів, і контур зворотного зв'язку, який забезпечує незалежність масштабу вихідного сигналу від нестабільності випромінювача й приймача. Застосовні на практиці варіанти структурних схем блоку керування і обробки можна розділити на дві групи за кількістю фотоперетворювачів. В схемах з одним фотоперетворювачем і одним випромінювачем необхідним елементом є комутатор оптичних каналів. В схемах з двома фотоприймачами використовується джерело світла, яке вмикається по черзі з основним випромінювачем. Завдяки тимчасовому розділенню сигналів основного і додаткового джерел світла комутатор оптичних сигналів не потрібний. Його роль виконує електронний комутатор.

Блок керування і обробки в ФІ-1 виконаний з комутатора КК, який керує заслінками $\ddot{A}1$ і $\ddot{A}2$, діафрагмами $\hat{A}\tilde{o}1$ і $\hat{A}\tilde{o}2$, які по черзі відчиняються і зачиняються, дифузного розсіювача і одночасно синхронного перемикача $\ddot{I}\ 1$. Піковий детектор $\ddot{I}\ddot{A}$, що підключений до виходу фотоперетворювача, підключений до повторювача напруги $\ddot{I}\acute{I}$ і через перемикач $\ddot{I}\ 1$, який підключений до фільтра частоти комутації $\hat{O}\times\hat{E}$ або до фільтра частоти комутації $\hat{O}\times\hat{E}_{\hat{i}}$, а далі $\hat{O}\times\hat{E}_{\hat{i}}$ підключений до послідовно з'єднаного диференційного підсилювача $\ddot{A}\ddot{I}$ і регульованого джерела живлення $\text{Ð}\hat{O}$, що керує напругою

живлення фотоперетворювача, а також джерела опорної напруги, підключеного до другого входу диференційного підсилювача.

Принцип дії імпульсного фотометра полягає в наступному. Відбивач розташований від захисного скла на відстані 100 м, яка є вимірюваним середовищем. У фокальній площині прийомного дзеркала розташований дифузний розсіювач. Сигнал з розсіювача надходить до фотоперетворювача. Імпульсне джерело світла формує могутні імпульси світла, які проходячи через об'єктив формуються у вузько направлений пучок світла, який проходячи крізь захисне скло, вимірюване середовище, попадає на відбивач. Повернений відбивачем світловий потік знову проходить крізь вимірюване середовище, захисне скло і попадає на дзеркало, яке направляє всю світлову енергію через дифузний розсіювач, через діафрагму $\hat{A}\tilde{o}2$ і далі на фотоперетворювач. Електричний сигнал надходить до блоку керування і обробки. Тут він посилюється, перетворюється в постійний $U_{\hat{a}\grave{e}\tilde{o}}$ сигнал, пропорційний прозорості вимірюваного середовища.

Блок керування і обробки в імпульсному фотометрі працює так. Комутатор KK перекриває по черзі вхідний отвір $\hat{A}\tilde{o}1$ або вхідний отвір $\hat{A}\tilde{o}2$ дифузного розсіювача від світла імпульсного джерела світла. Послідовність світлових імпульсів, які йдуть з частотою ω по черзі з більш низькою частотою комутації W, надходять через дифузний розсіювач на фотоперетворювач, а з його виходу на піковий детектор блоку керування і обробки, а далі електричний сигнал з пікового детектору надходить на повторювач напруги. Коли вхідний отвір $\hat{A}\tilde{o}1$ дифузного розсіювача відчинений керованою заслінкою $\ddot{A}1$ комутатора KK, а вхідний отвір $\hat{A}\tilde{o}2$ закритий заслінкою $\ddot{A}2$, вихід пікового детектору перемикачем $\ddot{I}1$ підключений до фільтру частоти комутації $\hat{O}\times\hat{E}_{\hat{i}}$, який підключений до одного з входів диференційного підсилювача, другий вхід якого підключений до джерела опорної напруги. Вихід диференційного підсилювача підключений до керованого входу регульованого джерела живлення ÐÔ фотоперетворювача. У цьому положенні комутатора KK працює опорний канал, коли світлові імпульси, минаючи вимірювальне середовище, направляються на фотоперетворювач через атенюатор і дифузний розсіювач. В результаті дії зворотного зв'язку вихідна напруга $U_{o\,\hat{a}\grave{e}\tilde{o}}$ зрівнюється (стабілізується) сигналом $U_{\hat{i}\ddot{i}}$. В іншому положенні комутатора KK, коли діафрагма $\hat{A}\tilde{o}1$ дифузного розсіювача відчинена заслінкою $\ddot{A}2$, на фотоперетворювач надходять світові імпульси від відбивача, які пройшли два рази вимірюване середовище, а вихід пікового детектора через $\ddot{I}\acute{I}$ в цей час комутатором KK за допомогою перемикача $\ddot{I}1$ підключений до фільтру $\hat{O}\times\hat{E}$, на виході якого є постійний вимірюваний сигнал $U_{\hat{a}\grave{e}\tilde{o}}$, пропорційний прозорості вимірюваного середовища. У

цьому випадку ланцюг зворотного зв'язку розімкнутий, проте на виході диференційного підсилювача підтримується колишня напруга, оскільки RC фільтр опорного каналу $\hat{O}\times\hat{E}_{\hat{i}}$ виявляється вимкненим, отже і коефіцієнт перетворення фотоперетворювача зберігає колишнє значення. Завдяки дії зворотного зв'язку забезпечується компенсація похибок вимірювання, зв'язаних з нестабільністю характеристик фотоперетворювача, джерела світлових імпульсів і підсилювача електричних сигналів. Таким чином, сигнал $U_{\hat{a}\grave{e}\tilde{o}}$ на виході блоку керування і обробки несе інформацію про прозорість вимірюваного середовища.

Недоліком вище описаного імпульсного фотометра є відсутність інформації про яскравість фону, яка необхідна для забезпечення комплексної оцінки безпеки посадки, зльоту на злітно-посадочній смузі.

Винахід вирішує задачу одночасно з прозорістю атмосфери вимірювати яскравість фону. Поставлена задача вирішена завдяки тому, що в імпульсний фотометр, що містить відбивач, оптично зв'язаний через вимірюване середовище з розташованими в ході випромінення захисним склом, об'єктивом, імпульсним джерелом світла, оптичним атенюатором, дифузним розсіювачем, прийомним дзеркалом і фотоперетворювачем, а також блок керування і обробки, вхід якого підключений до виходу фотоперетворювача, а живильний вхід фотоперетворювача підключений до регульованого виходу напруги блоку керування і обробки, додатково введені світлороздільна пластина між прийомним дзеркалом і дифузним розсіювачем, додатковий фотоприймач, установлений перед світлороздільною пластиною у фокусі прийомного дзеркала, а також два компаратора, пристрій керування підсилювачем, дешифратор і формувач імпульсу строба. Додатковий фотоприймач послідовно з'єднаний з керуючим підсилювачем, ключем, узгодженим підсилювачем, аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) і цифровим індикатором. Входи компараторів підключені до виходу узгоджувального підсилювача, а виходи до пристрою керування підсилювачем. Вихід пристрою керування підсилювачем підключений до керуючого підсилювача і дешифратора, а вихід дешифратора до розрядного входу цифрового індикатора. Вхід формувача імпульсу строба підключений до виходу фотоперетворювача, а вихід до керуючого входу ключа.

Запропонована сукупність істотних ознак запропонованого імпульсного фотометра дозволяє одночасне вимірювання яскравості фону, дані про яку необхідні для забезпечення безпеки польотів.

Вимірювач дальності видимості **ФІ-3** призначений для безперервного дистанційного вимірювання і реєстрації коефіцієнта світло пропускання атмосфери і обчислення метеорологічної оптичної

дальності видимості (МОД) на аеродромах для забезпечення безпеки зльоту і посадки повітряних судів. Вимірювач ФІ-3 розроблений на основі останніх наукових досліджень, побудований на сучасній елементній базі з використанням комп'ютерної техніки. ФІ-3 може бути використаний автономно або в складі автоматизованих метеорологічних вимірювальних комплексів.

Відмітною рисою вимірювача ФІ-3 є те, що обидві базові лінії (коротка і подвійна) просторово сполучені завдяки додатковому фотоприймачу, вбудованому у відбивальний блок. Конструкція виробу гарантує збіжність результатів вимірювань МОД при переключенні вимірювальних каналів і забезпечує розширений діапазон вимірювання МОД. Для контролю збіжності не потрібна висока прозорість атмосфери. Вимірювач дальності видимості ФІ-3 може використовуватися на будь-яких аеродромах без обмеження.

Достоїнства ФІ-3:

- розширений діапазон вимірювання МОД без використання додаткового відбивача;
- підвищена температурна стабільність;
- збільшений робочий ресурс випромінювача світлових імпульсів (більше 50 000 годин);
- повна автоматизація вимірювань;
- підвищена точність вимірювань (в порівнянні з ФІ-2);
- кнопки автоматичної установки реальної видимості на блоці фотометричному і блоці індикації;
- сучасна елементна база з цифровою обробкою інформації;
- просте пристосування для контролю лінійності в процесі експлуатації на реальній базі в режимах ОД і ОБ без знімання відбивального блоку з вишки;
- вбудований грозозахист і захист від перенапруги в живильній мережі;
- можливість використовувати один блок індикації при роботі з основним вимірювачем фотометричного блоку і другим резервним;
- забезпечується сполучення з сучасними метеорологічними комплексами і будь-якими обчислювальними машинами типу IBM PC (є вихід RS-232);
- спектральна характеристика оптичного каналу узгоджена з кривою видимості ока;
- невелика маса і габарити приладу.

Враховуючи нові вимоги і методи збирання і зберігання інформації, яка надходить з датчиків ФІ-2, ФІ-3, розроблене програмне забезпечення для архівації даних за період 30 діб з інтервалом 30 сек (одночасно до 8 приладів) на електронному носії при сполученні з

стандартною ПЕОМ і видачею даних в цифровому і графічному вигляді. Протокол обміну ФІ-3 з автоматизованими станціями такий же, як і у приладу ФІ-2.

Основні технічні характеристики ФІ-3

Параметри	Значення
Діапазон вимірювань світлового коефіцієнта направленого пропускання (СКНП) атмосфери, %	від 0 до 100
Похибка вимірювання коефіцієнта світлопропускання, %	1
Діапазон вимірювань метеорологічної дальності видимості МОД (цифрова індикація), м при довжині базисної лінії 100 м	від 60 до 8000
Індикація МОД і передача сигналу керування на відстані, км (є можливість дистанційного увімкнення і вимкнення фотометричного блоку)	не менше 8
Робочий температурний діапазон, С	від –50 до + 50
Строк служби, років	не менше 8

Контрольні запитання:

1. Що розуміють під поняттям метеорологічною дальністю видимості ?
2. Чим характеризується прозорість атмосфери ?
3. Який зв'язок існує між МДВ і прозорістю атмосфери ?
4. Що таке освітленість ?
5. Як підбираються об’єкти для спостереження за МДВ вдень ?
6. В яких одиницях визначається метеорологічна дальність видимості ?
7. Для спостереження за МДВ в темний час доби об’єкти вибираються ті ж чи інші ?
8. Поляризаційний вимірювач видимості М-53А дозволяє визначати МДВ в який час доби ?
9. Які існують методи визначення МДВ ?
10. Чи можна розрахувати МДВ і за якою формулою ?

11. В чому полягає принцип дії нефелометричної установки М-71 ?
12. З яких основних вузлів складається вимірювач дальності видимості ВДВ, розроблений Гавриловим В.А. ?
13. На основі чого оснований принцип дії РДВ ?
14. В яких межах РДВ-2 вимірює МДВ ?
15. З яких основних блоків та приладів складається РДВ-2 ?
16. Чи існує істотна відмінність РДВ-3 від РДВ-2 і в чому вона полягає ?
17. З яких основних вузлів складається ФІ-1 ?

9. ВИМІРЮВАННЯ ПРОМЕНЕВОЇ ЕНЕРГІЇ

9.1 Загальні відомості.

Пряма сонячна радіація - S. Джерелом всіх теплових процесів на Землі є променева енергія Сонця. Опроміненість, або енергетична освітленість, тобто густина потоку радіації на нормальну до променя поверхню за межами земної атмосфери на відстані, що дорівнює середній відстані між Землею і Сонцем, називається сонячною сталою і складає

S_0 =135 мВт/см ^{2} (1971 р.), або 1,94 кал/(см ^{2}·хв). Спектр заатмосферної сонячної радіації простягається від рентгенівських променів до радіохвиль (рис.9.1).

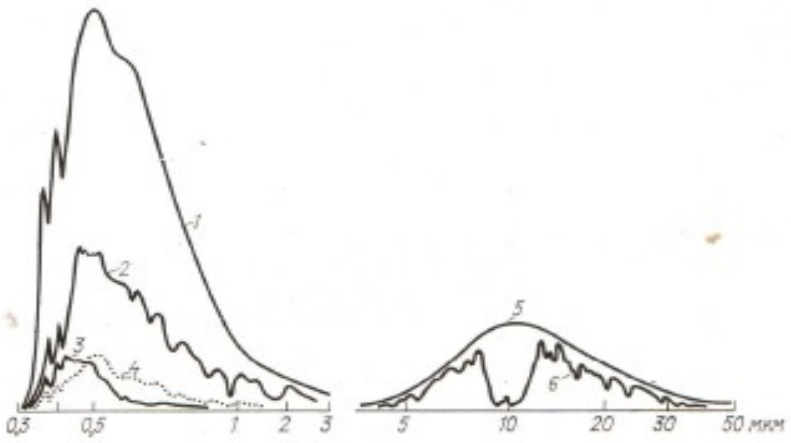


Рис.9.1 Спектральний розподіл сонячного і земного випромінення: 1 – заатмосферна сонячна радіація; 2 - пряма сонячна радіація; 3 і 4 - розсіяна радіація безхмарного і похмурого неба; 5 - випромінення чорного тіла при температурі +20°С; 6 - випромінення атмосфери при безхмарному небі.

Проходячи крізь товщу земної атмосфери, сонячна радіація ослаблюється: частково розсіюється молекулами газів, краплями води, кристаликами льоду і пилом, а частково поглинається, головним чином, водяною парою H_2O, вуглекислим газом CO_2 і озоном O_3. В результаті ослаблення до земної поверхні доходить (при відсутності на шляху хмар) пряма сонячна радіація S, енергія якої на 98 % зосереджена в діапазоні довжин хвиль від 0,29 до 4 мкм (рис.9.1). На рівні моря при високому положенні Сонця і доброї прозорості спостерігається $S = 1{,}5$ кал/(см ^{2}·хв). Перед заходом Сонця шлях променю в атмосфері подовжується в 30 раз в порівнянні з шляхом при Сонці в зеніті і $S \cong 0{,}2$ кал/(см ^{2}·хв). Пряма сонячна радіація вимірюється актинометром, контрольним приладом служить піргеліометр.

Розсіяна радіація D. Частина сонячної радіації в результаті розсіювання атмосферою повертається в космос, а значна її частина надходить до земної поверхні у вигляді розсіяної радіації D. При безхмарному небі розсіюються переважно короткохвильові промені і спектр розсіяної радіації зміщений вліво (рис.9.1). При цьому опроміненість може досягати 0,4 кал/(см^2·хв) тільки при високій мутності атмосфери. При високих хмарах, які не затінюють видимий

диск Сонця, спостерігався максимум розсіяної радіації D =1 кал/(см ^{2}·хв) (70 мВт/см ^{2}). При похмурому небі спектр розсіяної радіації схожий з сонячним. Розсіяна радіація вимірюється піранометром, затіненим від прямої радіації.

Сумарна радіація Q. Складається з розсіяної радіації D і прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню $S' = S \sin h_\Theta$, тобто $Q = D + S'$. Сумарна радіація в похмуру погоду складається з однієї тільки розсіяної радіації, тобто $Q = D$. Максимальне значення Q може досягати 2,1 кал/(см ^{2}·хв). При середній мутності атмосфери і при Сонці в зеніті $Q_{90°}$ =112 мВт/см ^{2}, а при висоті Сонця 10° $Q_{10°}$ =13 мВт/см ^{2}.
Сумарна радіація при Сонці в зеніті складається з ультрафіолетової (6 %), видимої (52 %) і інфрачервоної (42 %) радіації, якщо за межі видимого спектру прийняти 0,4 – 0,8 мкм, а за межу короткохвильового інфрачервоного 3 мкм. Сумарна радіація вимірюється піранометром без його затінення. Вона може бути також обчислена за показаннями затіненого піранометра і актинометра: $Q = D + S \sin h_\Theta$.

Відбита радіація $R_{\hat{e}}$. Надходячи до земної поверхні, сумарна радіація частково поглинається діяльним шаром землі, а частково відбивається. Відношення відбитої радіації $R_{\hat{e}}$ до сумарної Q, що дорівнює $A_{\hat{e}} = R_{\hat{e}} / Q$, називається альбедо для сонячної радіації або короткохвильовим альбедо. З природних поверхонь землі максимальне альбедо має сніг, який тільки випав, ($A_{\hat{e}} = 0{,}9$ або 90 %), а мінімальне - глибока чиста водойма при високому Сонці ($A_{\hat{e}} \cong 0{,}06$). Відбиту радіацію вимірюють піранометром, установленим на висоті не менше 0,5 м від поверхні землі і повернутим приймачем донизу. Піранометр, спеціально пристосований для перекидання, або подвійний піранометр називається альбедометром.

Залишкова сонячна радіація $B_{\hat{e}}$. Ту частину сумарної радіації, яка поглинулась діяльним шаром, називають залишковою сонячною радіацією і вимірюють піранометром в двох положеннях, як і при визначенні $A_{\hat{e}}$, але обчислюють різницю показань $B_{\hat{e}} = Q - R_{\hat{e}}$. Горизонтальне положення піранометра (альбедометра) допустиме при нахилі діяльного шару до 3°.

Земне випромінення E_{ς}. В результаті поглинання сонячної радіації діяльний шар землі та її атмосфера нагріваються і самі випромінюють, причому це випромінення складається з довгих інфрачервоних хвиль ($\lambda > 4$ мкм). Більшість видів діяльного шару по випромінювальній здатності близькі до чорного тіла, випромінення якого $E_T = \sigma T^4$, де σ - стала Стефана-Больцмана, дорівнює $5{,}65 \cdot 10^{-10}$ мВт/(см^2·К^4), або $8{,}14 \cdot 10^{-11}$ кал/(см ^{2}·хв·К^4), T - абсолютна температура в Кельвінах (К), дорівнює $273{,}16° + t°$ С.

Земне випромінення природних поверхонь $E_ç = \delta \sigma T^4$, де δ - відносна випромінювальна спосібність. Для чорного тіла $\delta = 1$, для снігу - $\delta = 0{,}98$, для сухого піску - $\delta = 0{,}9$. В ясний день сухий пухкий темний ґрунт з поверхневою температурою $+70^\circ$ С випромінює $E_ç = 1$ кал/(см ^{2}·хв).

Довгохвильова інфрачервона радіація атмосфери $Å_à$. Земне випромінення частково, а іноді і повністю, відшкодовується довгохвильовою радіацією атмосфери $Å_à$, спектр якої для безхмарного неба складається з окремих ліній, зібраних у смуги. Між смугами є ряд проміжків – «атмосферних вікон», з них важливіший – в діапазоні 8 – 12 мкм. Різниця між випроміненням атмосфери і випромінення чорного тіла називається ефективною радіацією (довгохвильовою) $Å_ä = Å_à - Å_Ò$, яка вимірюється пірґеометром. Випромінення пірґеометром приймається за випромінення чорного тіла E_T при відомій температурі (пірґеометра), яка близька до температури повітря. Звичайно E_T за абсолютним значенням більше $Å_à$ і тому довгохвильова ефективна радіація від'ємна. Хмари за випромінювальною здатністю близькі до чорного тіла. Взимку при низьких хмарах $Å_à$ може виявитися більше E_T і $E_ä$ буде додатною. З показань пірґеометра обчислюється $Å_à = E_ä + E_T$. В сучасних пірґеометрах це підсумовування робиться автоматично.

Ефективне випромінення, що уходить, $Å_ó$. Оскільки відносна випромінювальна здатність δ для всіх видів діяльного шару близька до одиниці, то відповідно і відбивальна здатність для атмосферної радіації $Å_ä$ мала. Отже, відбита довгохвильова радіація $R_ä = E_a A_ä = E_a(1 - \delta)$ мала, причому невідокремлена від земного випромінення $Å_ç$. Пірґеометр, звернений приймачем вниз, безпосередньо вимірює ефективне випромінення. Вночі $Å_ó = Å_ç + R_ä - Å_Ò$.

Довгохвильова залишкова радіація $\hat{A}_ä$. Вона являє собою різницю між низхідною довгохвильовою радіацією атмосфери і всіма східними довгохвильовими випромінюваннями діяльного шару, $\hat{A}_ä = Å_à - (Å_ç + R_ä)$. Вона обчислюється з двох показань пірґеометру: приймачем вверх і приймачем вниз $\hat{A}_ä = Å_ä - E_ó = Å_à - Å_Ò - (Å_ç + R_ä - Å_Ò)$. Якщо температура пірґеометру, а отже, його випромінення E_T не встигають помітно змінюватися при перевертанні, то E_T скорочується і різниця дорівнює $\hat{A}_ä$.

Залишкова радіація $\hat{A}$. Вдень для діяльного шару прихід-розхід променевої енергії як в коротких, так і довгих хвилях дорівнює сумі $\hat{A} = \hat{A}_ê + \hat{A}_ä$ або $\hat{A} = Q + E_a - (R_ê + R_ä + E_a)$. Вночі $Q = R_ê = 0$, отже, $\hat{A} = \hat{A}_ä$. Залишкову радіацію, яку не зовсім правильно занивають радіаційним балансом, вимірюють балансоміром.

Майже всі актинометричні прилади (радіометри) основані на визначенні зміни температури теплочутливих елементів під впливом радіації. Визначається стаціонарний стан елементу, коли його температура установилася. Нагрівання (або охолодження) визначається або відносно теплоінерційного тіла, або такого ж елементу, але захищеного від опромінення, або елементу з поверхнею, що добре відбиває вимірюване випромінення. Звичайно як інерційне тіло використовується теплопровідний корпус, захищений від опромінення. Відбивальні поверхні для сонячної радіації покриваються білою матовою емаллю, яка «чорна» для довгохвильової інфрачервоної радіації. Для земного випромінення відбивальні поверхні - полірований метал.

Приймач, який містить чутливий елемент, покривається матово-чорною емаллю, що поглинає радіацію всіх довжин хвиль.

В деяких приладах, особливо абсолютних, використовується принцип компенсації. Для цього приймач то опромінюється вимірюваною радіацією, то (затінений) нагрівається до такої ж температури електричним струмом. Мірою опромінення служить потужність струму, яка перетворюється в приймачі в тепло. Частіше за все застосовується пара однакових приймачів, з яких один опромінений, а інший затінений і нагрітий струмом до тієї ж температури.

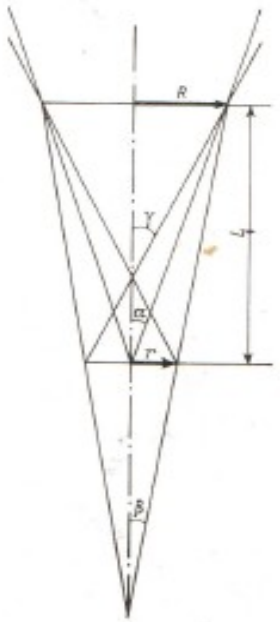
Підвищення температури, яке пропорційне опроміненню, звичайно вимірюється термоелементами або термобатареями. Термоелементи складаються з сплавів (константан-манганін, константан-срібро, константан-мідь, хроміль-копіль) або з напівпровідників. Часто самі термоелементи служать приймачем радіації, для чого вони покриваються поглинальними і відбивальними емалями.

В програму спостережень на метеорологічних актинометричних станціях входить реєстрація або інтегрування денних і годинних сум сумарної радіації, реєстрація тривалості сонячного сяйва, вимірювання або реєстрація розсіяної, прямої сонячної радіації і ефективної радіації. На репрезентативних площадках вимірюється або реєструється відбита і залишкова радіація. Реєстратор складається з радіометру, з'єднаного з самописним гальванометром або потенціометром. Такі установки називаються відповідно датчику: актинограф, піранограф, піргеограф і балансограф.

9.2 Вимірювання прямої сонячної радіації.

Приймач піргеліометра і актинометра знаходиться в глибині трубки з діафрагмами. Найбільша з них - вхідна радіусом R (рис.9.2) -

обмежує кут отвору (апертури), від якого залежить частка біля сонячної радіації від ореолу навколо сонячного диска.



Ця радіація залежить від мутності атмосфери і висоти Сонця. Найменша діафрагма радіусом r обмежує потік випромінення. Довжина трубки L визначає три кути: α - центральний, при відхиленні на який показання актинометра падає вдвічі, β - кут скосу, який визначає необхідну точність націлювання, тому що при ньому приймач за найменшою діафрагмою входить в напівтінь, і γ - кут граничної чутливості.

Рис.9.2 Апертурні кути піргеліометра (актинометра): R - радіус вхідного вікна; r - радіус найменшої діафрагми (приймача)

Ці кути прийняті $\alpha = 5^\circ$, $\beta = 2^\circ$ і $\gamma = 8{,}5^\circ$.

Піргеліометр компенсаційний Онгстрема (рис.9.3). Цей прилад служить зразковим для вимірювання прямої сонячної радіації.

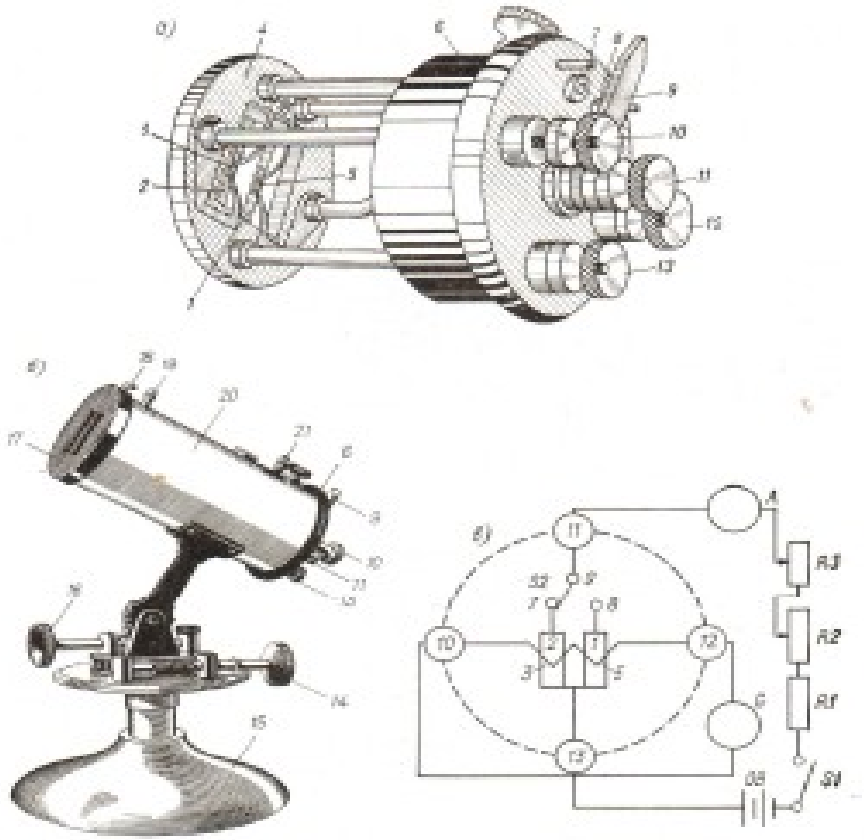


Рис.9.3 Компенсаційний пірге́ліометр Онгстрема: а – прийомна головка (вигляд ззаду); б - зовнішній вигляд; в - схема з'єднань головки з панеллю управління; 1 і 2 - прийомні смуги; 3 і 5 – спаї термоелемента; 4 – ебонітова рамка; 6 – ебонітова втулка головки; 7 і 8 - виводи; 9 – перемикач; 10 і 12 - клеми термоелемента; 11 і 13 – клеми; 14 і 16 - верньєри; 15 – штатив; 17 - вхідна діафрагма; 18 - рукоятка; 19 і 21 - цілики; 20 - трубка з діафрагмами.

Приймач - дві тонкі (0,01 мм) смуги з манганіну 1, 2 розміром 0,2×2 см^2, кінці яких припаяні до латунних сегментів на ебонітовій рамі 4. Зі сторони, що обернена до Сонця, смуги зачорнені платиновою черню і закопчені сажею з коефіцієнтом поглинання $\delta = 0{,}985$. Із зворотної сторони до середини кожної смужки наклеєні по спаю термоелемента 3, 5 з константану і міді. До клем термоелемента 10 і 12 підключається гальванометр, який замикає термоелектричний ланцюг, що дає можливість порівняти температуру смужок. Смужки мають загальний 13 і окремі 8, 7 виводи, через які за допомогою перемикача 9 і клеми 11 можна пропустити струм від батареї. Ебонітова втулка 6 головки вставляється в трубку 20, яка націлюється на Сонце за допомогою верньєрів так, щоб промінь світла через отвір в цілику попав в хрестик на цілику 21. Тоді через вхідну діафрагму 17 розміром 5×23 мм^2 одна з смужок виявиться опроміненою (незважаючи на положення екрану, що керується рукояткою 18). Цей екран заслоняє сонячний промінь на шляху через іншу діафрагму до другої смужки. В затінену смужку через клеми 11 і 13 направляється струм від батареї (рис.9.3, б), в ланцюг якої включені: вимикач, міліамперметр класу 0,2 з межею 0,75 А і три реостати з межею 2 А (грубий на 10 Ом, якщо напруга батареї 2,3 В, плавний на 1 Ом и запобіжний на 5 Ом). Струм батареї регулюється реостатами так, щоб температура обох смужок виявилася однаковою. Це визначається за нульовим показанням гальванометра. Ємність батареї акумулятора береться не менше 20 А·год, а елементів - 60 А·год. Якщо напруга більша, то запобіжний реостат вибирається так, щоб максимальна сила струму відповідала максимальному опроміненню 140 мВт/см^2, або 2 кал/(см^2·хв), а грубий - вибирається у відповідності з струмом при найменшому опроміненні (0,7 кал/(см^2·хв), при якому допустимі контрольні спостереження. Гальванометр в термоелектричному ланцюзі застосовується дзеркальний, низькоомний, з ціною поділки не більше 10^{-7} А, з критичним опором, який відповідає опору термоелемента (не більше 0,5 Ом).

Установка піргеліометру проводиться в укритому від вітру місці, тому що в трубці всього 2 - 3 проміжних діафрагм, які захищають приймач від вітру і паразитних відбивань радіації всередині трубки. Крім того, з'єднання втулки 6 з трубкою 20 не герметичне. Потрібно слідкувати, щоб в межах вертикального граничного кута $\gamma = 23^\circ$ апертури вище і нижче сонячного диску не було ні темних, ні блискучих предметів. Амперметр і батарея повинні знаходитися в тіні. Гальванометр установлюється на стійкій основі. При низькій температурі повітря піргеліометр з вставною головкою виноситься на місце спостережень в футлярі, щоб уникнути обриву або розтягнення смужок через швидке охолодження.

Вимірювання починають з визначення місця нуля гальванометра, для чого піргеліометр з нейтральним положенням екрану (рукояткою 18 вперед) націлюється на Сонце, при цьому опромінюються обидві смужки. Струм в ланцюзі батареї розірваний вимикачем. Сонячне тепло випаровує воду, яка поглинена чорною краскою на смужках. Через 2 хв проводять відлік по гальванометру для визначення місця нуля. Потім, як наведено на рис.9.3, б, затінюють ліву смужку і в неї ж направляють струм, сила якого регулюється реостатами так, щоб гальванометр знову показав місце нуля. Після відліку за шкалою амперметра рукоятку 18 і перемикач 9 одночасно повертають вправо і повторюється регулювання реостатами і відлік за амперметром. Такі парні спостереження проводять 4 – 5 разів. Крім того, відмічаються температура і вологість повітря, хмарність, колір неба і в балах оцінюється ореол навколо сонячного диску и метеорологічна дальність видимості. Перед кожним відліком контролюється націлювання піргеліометру на сонячний диск.

Обробка починається з введення поправок до відліків за амперметром, обчислення сили і потужності компенсуючого струму. Права (опромінена) смужка отримує $Sbl\delta$ кал/хв, де S - шукане опромінення, δ - поглинальна здатність черні на смужках, а bl - площа смужки, що дорівнює 0,4 см ^{2}. Ліва (затінена і нагріта струмом) смужка отримує при компенсуванні ту ж потужність, що дорівнює $60cri^2$ кал/хв, де $c = 0{,}239$ кал/ерг, r - опір смужки в омах (0,1 Ом), i - сила компенсую чого струму в амперах. Порівнюючи обидві величини, отримаємо

$$S = \frac{60cr}{\delta bl} i^2 = K i^2,$$

де K - перевідний множник піргеліометру.

На практиці таке обчислення K проводиться тільки для міжнародного еталону, а для інших піргеліометрів визначають K шляхом порівнянь з еталоном в Міжнародному радіаційному центрі кожні 4 – 5 років.

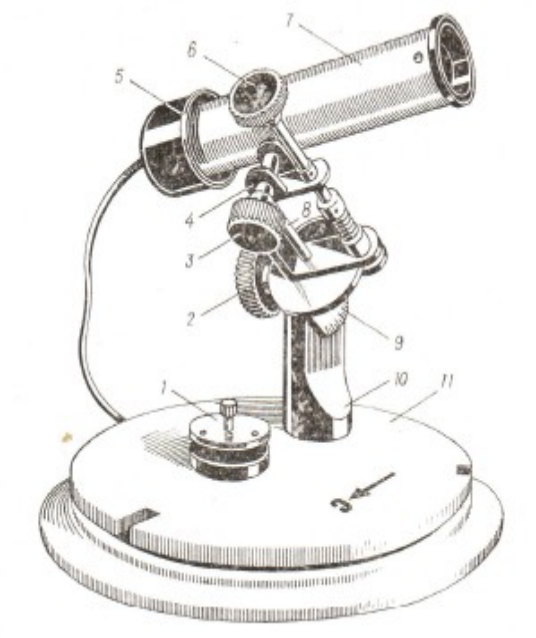
Обробка відліків за амперметром в поділках шкали проводиться за формулою $S = K a^2 (N + \Delta N)^2$, де a - ціна поділки в амперметрах, визначається як частка від ділення номінальної межі (0,75 А) на кількість поділок (150), ΔN - поправка до відліків в поділках, N - відлік по міліамперметру в поділках шкали. (Бажано знати залежність a від температури).

Спостереження по піргеліометру звичайно проводяться тільки для повірки актинометрів, а тому виконуються при стійкій радіації і при висоті Сонця не менше 20°. Отримані по кожному відліку дані осереднюються з однаковою вагою для правих і лівих смужок. Спеціально для повірки актинометрів випускаються піргеліометри типу М-59 з круглими вхідними діафрагмами. В них застосовано по три термобатареї під кожним з приймачів, що дозволяє використовувати стрілкові гальванометри типу М-263/3. На показання М-59 не впливає вітер, а результати повірок актинометрів не залежать від висоти Сонця і мутності атмосфери.

Для спостережень трубку 7 установлюють за допомогою штативу 10 – 11, який орієнтують стрілкою на північ, потім ослаблюють гвинт 2 і ставлять сектор широт 9 по широті. Ослабляючи гвинт 3 і, обертаючи трубку 7 і рукоятку 6, націлюють трубку на Сонце.

Рис.9.4 Актинометр термоелектричний М-3: 1 – кришка; 2 і 3 – гвинти; 4 – вісь нахилень; 5 – екран; 6 – рукоятка; 7 – трубка; 8 – вісь світу; 9 – сектор широт; 10 – стояк; 11 – основа.

Актинометр термоелектричний **М-3 (АТ-50).** Прилад (рис.9.4) призначений для вимірювань прямої сонячної радіації, крім того, використовується як зразковий прилад для визначення чутливості піранометру і балансомірів.



Вісь 8 штативу і рукоятки 6 розташовані по осі світу, і тому, обертаючи рукоятку 6, можна вести трубку за Сонцем, тільки зрідка поправляючи нахил трубки по нахилу обертанням на осі 4. Націлювання проводиться за допомогою екрану 5 на нижньому кінці трубки, де повинна концентрично розташовуватися тінь від оправи вхідного вікна. Кришка 1 одягається на трубку для контролю місця нуля.

Приймачем актинометра служить зачорнений диск 1 (рис.9.5, а), з сусального срібла товщиною 0,003 мм і діаметром 11 мм. Звернена до Сонця сторона покрита матово-чорною емаллю, а до зворотної сторони приклеєний папіросний папір 3 товщиною 0,009 мм і 26 спаїв термобатареї 2 з константана і манганіну у формі стрічок з перерізом 0,025×0,3 мм ^{2}, розташованих зіркоподібно. Зовнішні спаї приклеєні через паперову ізоляцію до мідного кільця 4, затисненого в корпусі між чашкою 9 (рис.9.5, б) і втулкою 10 з міді. В трубці є сім діафрагм 11 – 13, з яких найбільша 13 діаметром 20 мм і найменша 11 – 10 мм визначають при довжині трубки 114 мм апертуру актинометра $\alpha = 5^\circ$, $\beta = 2{,}5^\circ$ і $\gamma = 8{,}5^\circ$. Шнури від виводів 7, 8 термобатареї з'єднуються з гальванометром або потенціометром. Чутливість актинометра $K = 7$ мВ на 1 кал/(см ^{2}·хв), опір термобатареї $R_{\acute{a}} = 14$ Ом, інерція 25 с.

Для роботи з актинометром призначений стрілочний гальванометр типу ГСА-1М, з ціною 1 поділки $C_1 = 0{,}8$ мкА, в якому знаходиться термометр для вибору перевідного множника в залежності від температури гальванометра. При відносній вологості менше 30 % на склі можуть виникати заряди, що викривляють показання. При використанні гальванометра з додатковим опором, що перетворює його в мілівольтметр з межею 10 мВ і з опором $R_r = 130$ Ом, перевідний

множник, або ціна поділки $a = \frac{C_I}{K}\left(R_{\acute{a}} + R_r\right)$, зростає на 1 – 7 % при підвищенні температури на 10ºС.

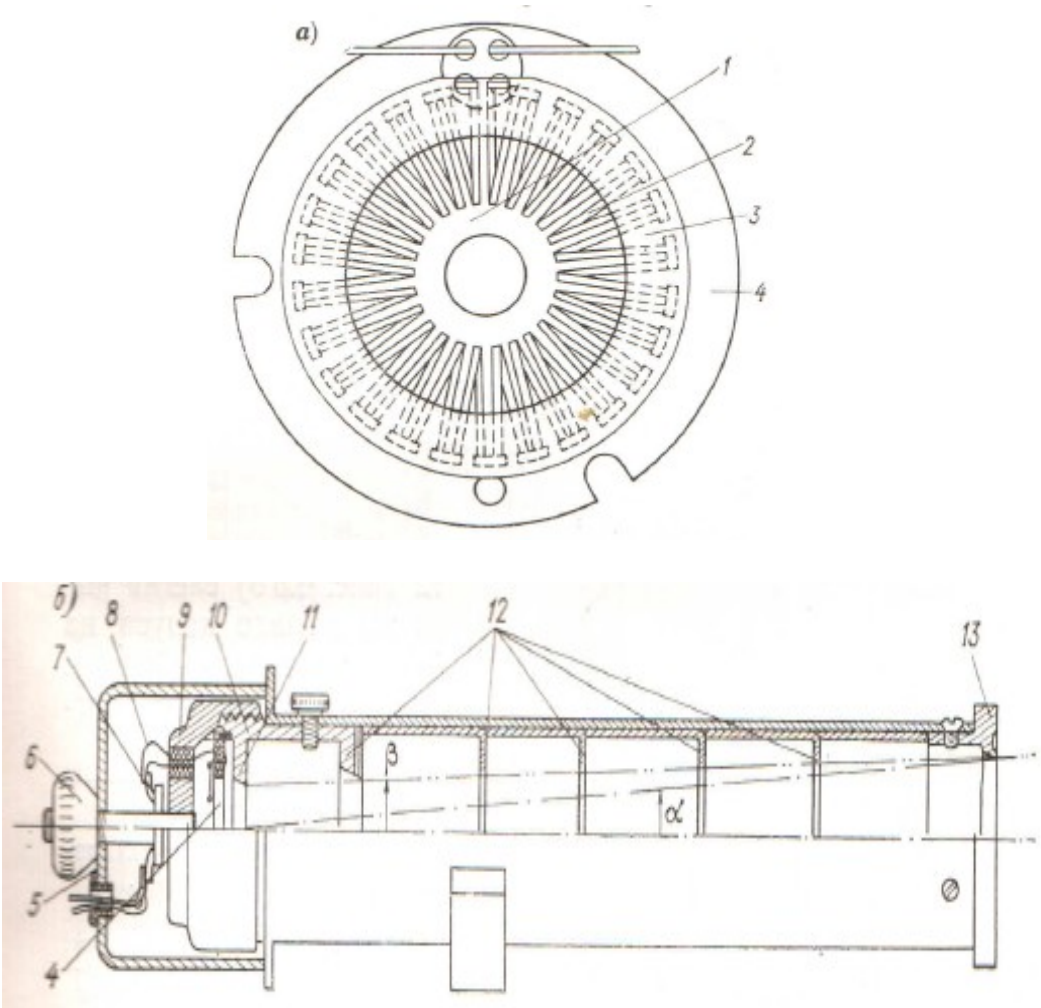


Рис.9.5 Термобатарея актинометра (а) і продольний розріз трубки (б): 1 – прийомна пластинка; 2 – термобатарея; 3 - цигарковий папір; 4 – мідне кільце; 5 – кожух; 6 – гайка кріплення кожуха; 7 і 8 - вивідні клеми і провідники; 9 – чашка; 10 - стулка; 11 – найменша діафрагма; 12 - проміжні діафрагми; 13 - вхідна діафрагма.

Вимірювання. Перед спостереженням відкрита трубка націлюється на Сонце на 2 хв для просушки черні на приймачі. Потім кришка одягається і через 25 с відраховується місце нуля. Через 25 с після зняття кришки проводять спостереження. Націлювання трубки рукояткою повторюється кожні 5 хв або частіше. Місце нуля визначається кожні 20 хв. Запис про стан неба такий же, як і при спостереженнях по пірге́ліометру.

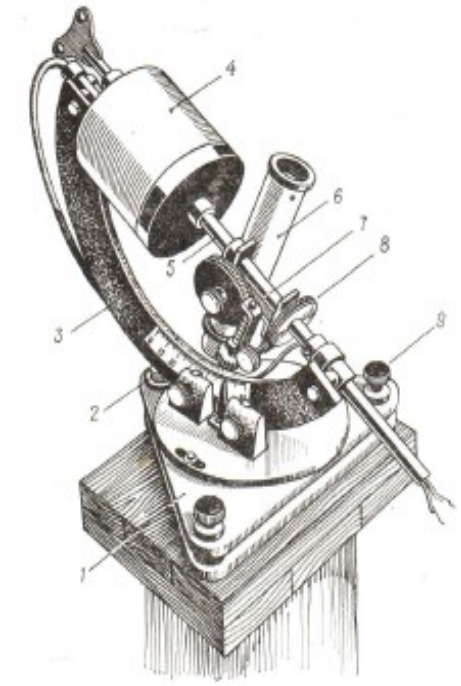
Обробка. За необхідний інтервал часу знаходиться середній відлік, вводиться поправка на не лінійність шкали гальванометру і віднімається

місце нуля. Різниця множиться на перевідний множник, вибраний за температурою гальванометра.

Контроль чутливості актинометра проводиться паралельними спостереженнями по піргеліометру Онгстрема або по добре повіреному зразковому актинометру.

Спостереження з фільтрами можливі по актинометру, у якого проміжні діафрагми 12 (рис.9.5, б) злегка вигнуті у вигляді конуса на 1 - 2° в сторону Сонця. При плоских діафрагмах з'являються паразитні відбивання від діафрагм, а потім від фільтру на приймач. Для оцінки мутності атмосфери застосовуються скляні фільтри: КС-13 з межею пропускання 0,63 мкм (червоний) і ОС-11 з межею 0,53 мкм (оранжевий), товщина яких відповідно 2 і 3 мм. Для виділення фотосинтетичної активної радіації застосовуються: БС-8 з межею 0,38 при товщині 3 мм і КС-19 з межею 0,71 при товщині 5 мм.

Реєстрація актинометром. Самопис, що складається з актинометра на геліостаті (рис.9.6) і гальванографа або реєструючого потенціометру, називається актинографом.



На геліостаті актинометр 6 обертається годинниковим механізмом 4 на осі 5, розташованою по осі світу. Основа 1 геліостата установлюється за рівнем 2 гвинтами 9. Дуга 3 ставиться в меридіональній площині обертання навколо вертикальної осі в межах прорізів під двома гвинтами основи, а нахил осі 5 установлюється за шкалою широт.

Рис.9.6 Геліостат актинографа: 1 – основа; 2 – рівень; 3 - коло широт; 4 – годинниковий механізм; 5 – вісь; 6 – актинометр; 7 і 8 - верньєри; 9 – гвинт нівелювання.

Верньєром 7 поправляється положення трубки за нахилом Сонця, а верньєром 8 - за часом.

Самописом може служити пірометричний мілівольтметр на 15 мВ або електронний потенціометр зі шкалою 20 мВ. Швидкість протяжки стрічки 40 мм/год. Для мілівольтметра чутливість регулюється додатковим опором або шунтом, в залежності від критичного опору. Бажано контролювати чутливість щоденними спостереженнями по повіреному актинометру. Від забруднення актинометр захищається фільтром БС-3 або БС-5.

9.3 Вимірювання сумарної, розсіяної і відбитої радіації.

Для вимірювання сонячної радіації, що надходить зі всіх точок небесної на півсфери, служить піранометр. Приймач піранометра захищається від вітру і гідрометеорів напівсферичним скляним ковпаком, що пропускає радіацію в діапазоні від 0,33 до 3 мкм. Для піранометрів з чорним приймачем, чутливим не тільки до сонячного, але і до земного випромінення, скляний ковпак служить ще і фільтром, який виділяє короткохвильову сонячну радіацію. Проте ковпак, поглинаючи і випромінюючи, може створити небажаний обмін довгохвильовим випроміненням з приймачем, а тому у піранометрів з чорним приймачем ставляться два концентричних ковпаки.

Термоелектричний піранометр **М-80М** (рис.9.7). Випускається піранометр з приймачем М-115 1, у якого квадратна термобатарея пофарбована в чорно-білий колір у вигляді шахової дошки.

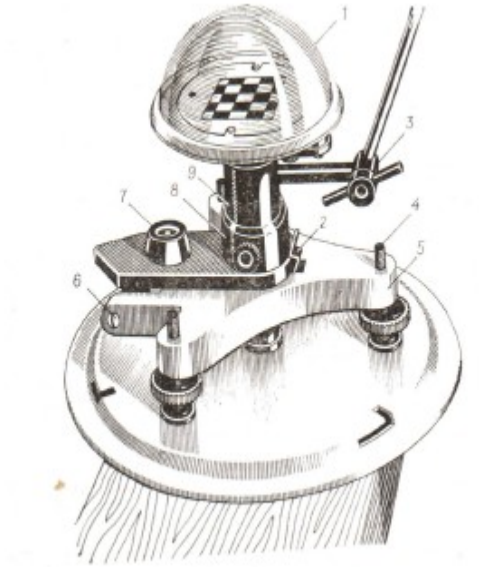


Рис.9.7 Піранометр термоелектричний універсальний М-80М: 1 – головка М-115М; 2 - стопорна пружина; 3 – шарнір затінювача; 4 - установочний гвинт; 5 - основа; 6 – шарнір відкидного штативу; 7 - рівень; 8 – гвинт; 9 стояк з осушувачем всередині

Поля по-різному поглинають сонячну радіацію, що надходить, і нагріваються пропорційно поглиненій радіації. Отже, різниця температур, яка досягає 4ºС на 1 кал/(см^2·хв), також пропорційна радіації, що надходить. Термобатарея розвиває ЕРС, що дорівнює 8 мВ на 1 кал/(см ^{2}·хв) при опорі приблизно 30 Ом. Стала часу 7 – 9 с, що потребує витримки до 35 – 50 с для досягнення стійкого показання.

Приймач (головка) може бути установлена горизонтально за допомогою рівня 7 і гвинтів 4. Затінювач – диск діаметром 85 мм прикріплюється до стержня довжиною 485 мм, причому диск видно з центру термобатареї під кутом 10º. Для затінення ослаблюється гвинт 8 і стойка повертається стержнем до Сонця.

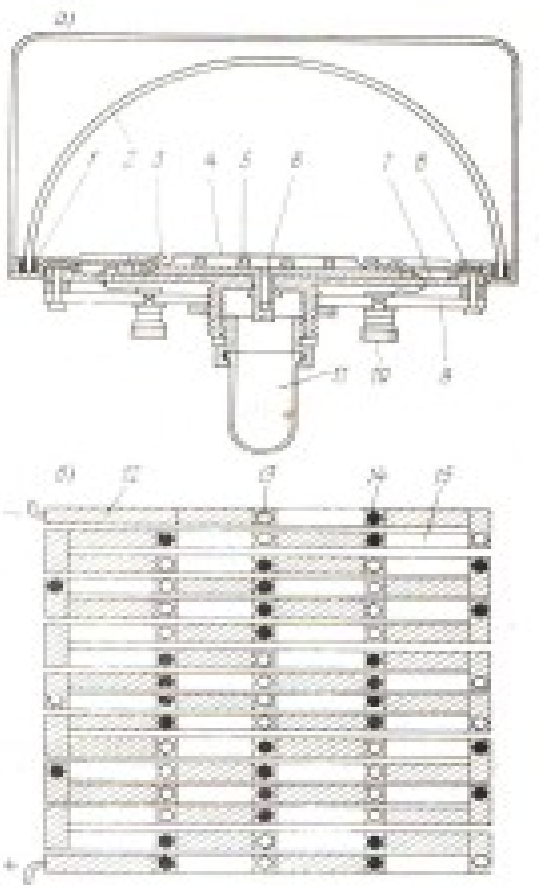
Розсіяну радіацію вимірюють при затіненому приймачі.

Для вимірювання відбитої радіації піранометр установлюють на планці товщиною до 2 см, відгинають пружину 2 і перекидають стояк приймачем вниз. До піранометра додаються кришка, одягається на приймач для визначення місця нуля. Стабільність місця нуля забезпечується тим, що обидві краски – чорна і біла однаково «чорні» для земного випромінення (ковпака).

Термобатарея (рис.9.8, б) розміром 32×33 мм ^{2} складена з плоских стрічок манганіну і константану, з 87 термоелементів, укладених зиґзаґоподібно.

Стрічки послідовно спаяні в 32 смужки. Середина кожної стрічки, де чорне поле переходить у біле, приклеєна до виступу плитки 5 (рис.9.8, а) корпусу 7 для відводу тепла і кріплення батареї 4.

Рис.9.8 Розріз головки піранометра М-115 (а) і спрощена схема термобатареї (б): 1 – кільце для ковпака; 2 і 3 – діафрагми; 4 – термобатарея; 5 - плитка батареї; 6 – гвинт кріплення плитки; 7 – корпус; 8 – герметизуюча прокладка; 9 – панелька; 10 – клема; 11 - сушилка; 12 – манганін; 13 і 14 - білі і чорні спаї; 15 - константан.



Установка піранометра на метеорологічній площадці проводиться на відкритому місці, на південь від об’єктів, які закривають горизонт. Затінення від Сонця допускається тільки тонкими щоглами. Піранометр 8 (рис.9.9) на стояку для вимірювання сумарної, розсіяної і відбитої радіації установлюється в південно-західному куті метеорологічної площадки. Скляний ковпак піранометра захищений від відбитої радіації чорним плоским кільцевим захисним екраном 9, який розташований в площині приймача. Екран 9 захищає ковпак також і від радіації неба при вимірюваннях відбитої радіації.

При вимірюваннях відбитої радіації піранометр повинен установлюватися на висоті не менше чотирьох діаметрів піранометра, враховуючи і екран 9 з діаметром 35 см, від поверхні землі. Це і визначає висоту стояку в 1,5 м. Поверхня ділянки під піранометром повинна бути горизонтальною (з точністю до 2º) і в радіусі 5 м покрита природною рослинністю. Гальванометр установлюється в захисному ящику 1, білому зі всіх сторін, крім сторони, яка звернена до стояка. При вологості нижче 30 % повітря в ящику зволожується.

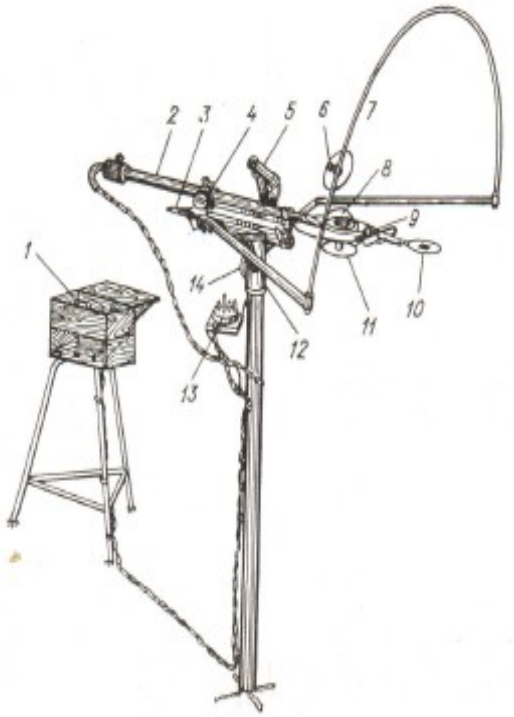


Рис.9.9 Стояк актинометричний М-13 для контрольних і термінових вимірювань: 1 – ящик з гальванометрами; 2 - горизонтальна рухлива трубка; 3 - важіль поздовжнього нівелювання; 4 – гвинт поперечного нівелювання; 5 – актинометр; 6 - тіньовий екран; 7 - дуга; 8 - піранометр; 9 - захисний екран; 10 – балансомір; 11 – диск на націлювання на Сонце; 12 - обертальна втулка; 13 – перемикач; 14 - гвинт фіксування за азимутом.

При похідних спостереженнях над сильно закритими площадками сумарна радіація вимірюється біля самої поверхні ґрунту, щоб не завищити надходження. При вимірюваннях альбедо схилів піранометр розташовується паралельно поверхні схилу.

Похідний альбедометр (рис.9.10) призначений для вимірювання сумарної і відбитої радіації над горизонтальними ділянками землі і оснащений карданним підвісом, який само урівноважується. При повороті рукоятки приймач повертається вниз. Така підвіска з більш довгим стержнем і важким вантажем, а також із захисним кільцевим екраном, який розташований в площині приймача, застосовується на плавучих обсерваторіях, де часто використовують два піранометра на одному підвісі.

Піранометром на станції при відкритому диску Сонця вимірюється тільки розсіяна і відбита радіація, тому що пряма частина сумарної радіації вимірюється актинометром 5. При хмарах, які частково закривають сонячний диск, вимірюється також і сумарна радіація. Оскільки за час вимірювання сумарної радіації може змінитися розсіяна радіація, то її вимірювання проводять двома серіями по два відліки: до і після вимірювання сумарної радіації.

Рис.9.10 Похідний альбедометр.

Вимірювання відбитої радіації має сенс тільки при стійкій радіації.

Перед вимірюваннями приймач піранометра опромінюють прямою радіацією для просушки. До і після спостережень контролюють місце нуля, одягаючи кришку на приймач.

Обробка. Різниця між відліками сумарної і розсіяної радіації повинна бути виправлена множенням на поправковий множник F_h, взятий з повірочного свідоцтва. Він виражає залежність чутливості від кута падіння радіації. Після виправлення відліку, що відноситься до прямої сонячної радіації, показання складаються і множаться на перевідний множник, який відноситься до нормально падаючого променя. У всі відліки по гальванометру вносяться поправки до шкали і з середнього за серію відліків віднімається місце нуля, визначене після закривання піранометра кришкою. Оскільки розсіяна і відбита радіація надходять до приймача під різними кутами, то і для них потрібно було б застосовувати деякий осереднений поправковий множник, що відповідав би висоті Сонця 40°, проте у більшості прийнятих на актинометричній мережі піранометрів поправковий множник близький до одиниці (звичайно 0,98). Тому на практиці цією поправкою нехтують.

При спостереженнях важливо відмітити кількість, форму, розташування хмар і колір неба.

Контроль чутливості приладу оснований на тому, що пряма сонячна радіація може бути виміряна як піранометром, так і актинометром при висотах Сонця більше 8º. При менших висотах Сонця спектр занадто змінений. «*Нормальний*» перевідний множник a_i по

Сонцю визначається методом «сонце-тінь» або за допомогою повір очної труби.

За першим способом піранометр установлюється нормально до променя. Для цього на стойці (рис.9.9) є диск 11, на який корпус піранометра повинен відкидати концентровану тінь. Потім піранометр пересувають паралельно самому собі в тінь від екрана 6, який установлюється на дузі 7 у відповідності з висотою Сонця. Проводяться відліки як по опроміненому N_Q, так і по затіненому N_D піранометру. Різниця $N_Q - N_D$ відповідає дії одній тільки прямій сонячної радіації. Нормальний перевідний множник обчислюється за формулою

$$a_i = \frac{S}{N_Q - N_D},$$

де S - пряма сонячна радіація за актинометром 5. Результат наноситься на графік в залежності від температури гальванометра.

Другий спосіб - використання перевірочної труби ПО-11 може дати правильні результати тільки у тому випадку, коли внутрішні стінки труби чорні. Для цього вони повинні бути обклеєні чорним бархатом. Сіруватий окрас стінок труби приведе до зачинення показань до 4 %. Перевага другого способу в тім, що від'ємник N_D виявляється рівним нулю, а отже, його не можне викривити рухами спостерігача, що може трапитися при першому способі.

Визначення чутливості піранометра в горизонтальному положенні зводиться до вимірювань сумарної і розсіяної радіації одночасно з вимірюванням прямої сонячної радіації актинометром. Для моменту вимірювань по актинометру обчислюється (за часом) або вимірюється висота Сонця і підраховується пряма сонячна радіація на горизонтальну поверхню. Перевідний множник a_h піранометра для прямої сонячної радіації при даній висоті сонця h_Θ визначається за формулою

$$a_h = \frac{S}{N_Q - N_D}.$$

Нормальний перевідний множник дорівнює $a_i = \frac{a_h}{F_h}$.

Визначення поправкового множника, що необхідно при заміні скляного ковпака у піранометра, зводиться до підрахунку відношень множників a_h (знайдених для різних висот Сонця) до нормального перевідного множника a_i. Можна також використовувати штатив з вертикальним кругом від аерологічного теодоліту або біметалевого актинометру, і прикріпивши до нього піранометр, обертати його під будь-яким кутом до Сонця. Цей спосіб дає результати, близькі до перевірочного свідоцтва, тому що в даному випадку зміна спектра Сонця з висотою не впливає. Така перевірка не може бути застосована

для високочутливих чорних піранометрів, у яких на чутливість впливає положення приладу.

Застосовуючи потенціометр замість гальванометра, використовують перевідний множник $a_i = \frac{1}{\hat{E}}$, тобто зворотний чутливості. Для визначення чутливості різниця показань потенціометра при опроміненні U і при затіненому u піранометрі ділять на опромінення S за актинометром.

Реєстрація піранометром сумарної радіації контролюється вимірюваннями розсіяної радіації піранометром контрольної установки і прямої радіації – актинометром. Тому на результат реєстрації не впливають відступи показань піранометра від закону косинуса, які представлені у вигляді поправкового множника. Якщо такий контроль організувати не можна, то для реєстрації відбирається піранометр з поправковими множниками, які близькі до одиниці. У цьому випадку для піранографа необхідний кільцевий захисний екран, особливо при сніговому покрові. Замість чорного зверху плоского екрану можна застосувати чорний зсередини циліндр діаметром не менше 35 см, верхня основа якого установлена на одному рівні з приймачем піранометру.

Реєстрація розсіяної радіації проводиться при безперервному автоматичному затіненні піранометру від прямої радіації за допомогою тіньового геліостату. Простіше за все виготовити кільце 1 (рис.9.11, а), на осі якого горизонтально установлюється піранометр 4. Установка кільця по небесному екватору проводиться обертанням його в шарнірах 2 і просуванням дугоподібної трубки 5 у втулці. Стрижень 7 розташований по осі кільця 1 і закріплюється гвинтом 6 відповідно до нахилу Сонця. Подвійні шарніри 3 дозволяють установити центр приймача точно на осі кільця. Для установки кільця застосовують рейку з транспортиром і виском. Контрольні спостереження по другому піранометру із затіненим приймачем дозволяють врахувати зону неба, зайво огороджену кільцем. При відсутності таких контрольних спостережень ведуть підрахування поправочного коефіцієнту на затінення кільцем. Затінення залежить від широти, нахилу, стану неба, а також висоти Сонця.

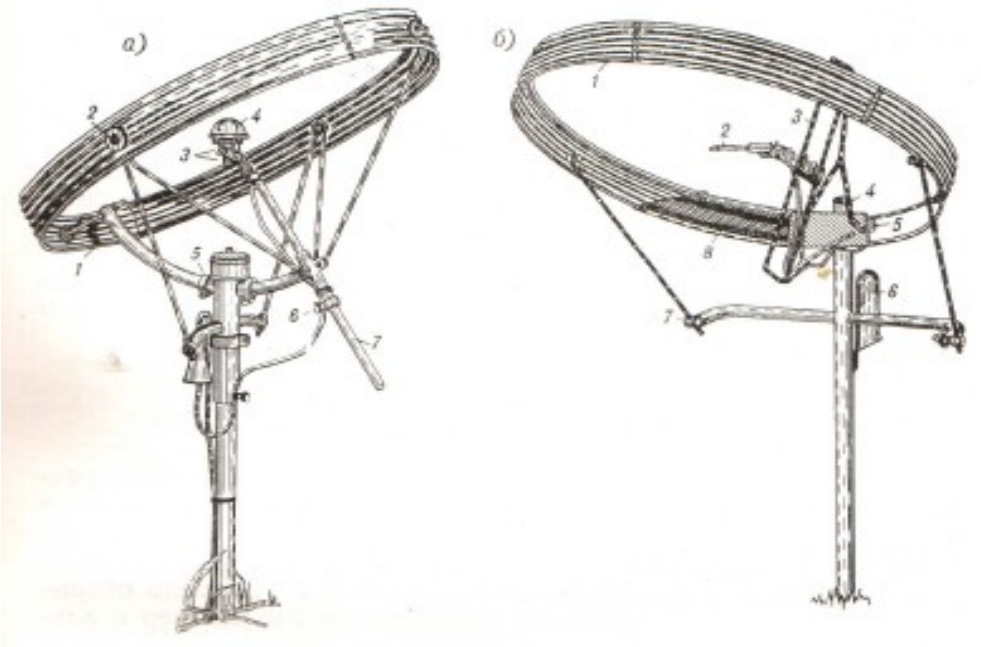


Рис.9.11 Тіньові кільця: а - піранографа; 1 – кільце; 2 - шарнір; 3 - подвійний шарнір; 4 – піранометр; 5 - дугоподібна трубка; 6 – гвинт; 7 – стержень; б – балансографа; 1 - півкільце, 2 – балансомір; 3 – рейки для регулювання за нахилом; 4 - перемикач; 5 – вісь широт; 6 - чохол; 7 – шарнір; 8 - щитки.

Реєстрація відбитої радіації доцільна тільки на репрезентативній площадці, тобто на зовсім відкритій, рівній і однорідній за діяльним шаром. Для реєстрації обов'язкова установка захисного кільця або циліндра в площині приймача.

Осушення скляних ковпаків буває необхідним, особливо взимку. Для осушення внутрішньої поверхні застосовується силікагель, який насипається з сушили-пробірки, що пригвинчена до головки піранометра. Ця міра приносить користь тільки при досконалій герметизації головки, для чого застосовується кремнійорганічний вазелін. Випадання гідрометеорів на зовнішню поверхню скла запобігається підігріванням головки піранометра за допомогою нагрівальної обмотки на деталі, які прикріплені до кільця з ковпаком або корпусу. Достатня потужність 8 – 9 Вт.

9.4 Вимірювання балансу радіації.

Балансом часто називають залишкову радіацію. Вона являє собою мікрокліматичний елемент, тому що зв'язана з характером і станом діяльного шару (ґрунт, вода) в даній точці. Реєстрація залишкової радіації доцільна тільки над горизонтальною, рівною і цілком

відкритою поверхнею. В похідних спостереженнях балансомір і альбедометр повинні розміщуватися по можливості в одній точці. При дослідженні радіаційного режиму схилів балансомір і альбедометр повинні установлюватися паралельно схилу.

Балансомір типу **М-10М** (рис.9.12) являє собою круглу плоску пластинку діаметром 100 мм з двома квадратними чорними приймачами на протилежних сторонах, помічених № 1 і № 2.

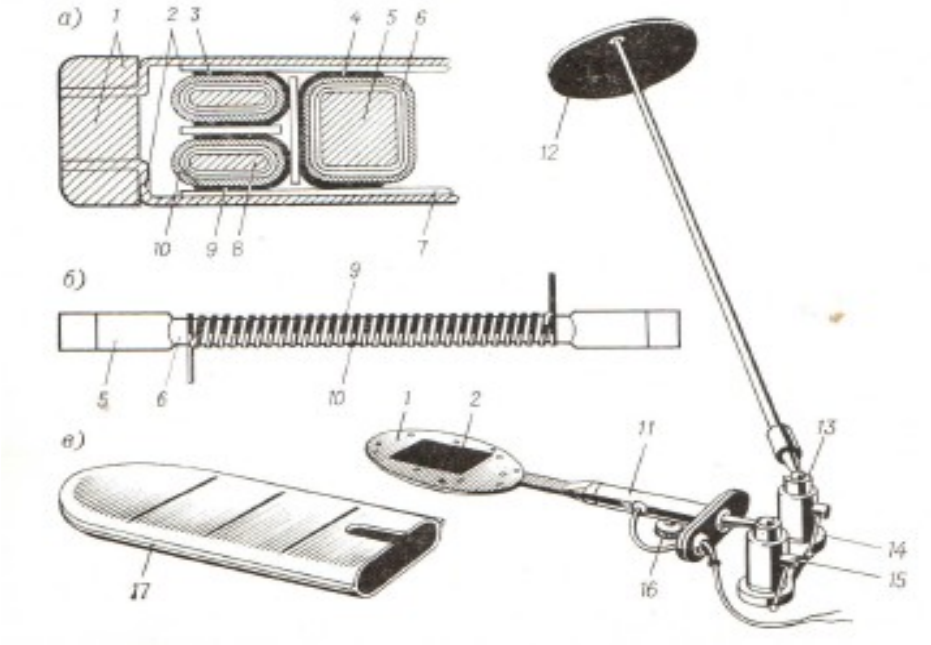


Рис.9.12 Балансомір М-10М термоелектричний: а - схематичний поперечний переріз; б - окрема термобатарея; в - зовнішній вигляд; 1 – корпус; 2 – приймальна пластинка; 2 і 4 – спаї; 5 - мідний брусок; 6 і 7 – ізоляція; 8 – термобатареї; 9 - срібний шар; 10 - константанова стрічка; 11 – рукоятка; 12 - тіньовий екран; 13 і 15 - шарніри; 14 – планка; 16 – гвинт; 17 – чохол.

При вимірюваннях один приймач звернутий до досліджуваної поверхні (вниз) і на нього поступають короткохвильовий потік відбитої сонячної радіації і земне випромінення $E_ç$ разом з відбитою частиною $R_ä$ випромінення атмосфери $E_à$ і навколишніх предметів. Другий приймач, повернутий вверх, отримує сумарну сонячну радіацію Q разом з випроміненням атмосфери $E_à$. Обидва приймачі випромінюють як практично чорні тіла, у відповідності з їх температурою. Оскільки приймач складається, головним чином, з міді і має велику теплопровідність, підвищення температури за рахунок опромінення незначне: всього 1° на 1 кал/(см ^{2}·хв). Тому власне випромінення обох

приймачів практично однакове, і до нього балансомір не чутливий. Отже, балансомір вимірює різницю $B = S' + D + E_a - (R_{\hat{e}} + R_{\ddot{a}} + E_{\varsigma})$.

При затіненому балансомірі виключається S'. Ця величина набагато точніше обчислюється за різницею показань відкритого і затіненого піранометру, а тим паче за показаннями актинометру. Температура кожної пластинки приймача відрізняється від температури повітря і залежить від швидкості вітру, тому що із збільшенням швидкості вітру підсилюється конвективних теплообмін. Проте завдяки високій теплопровідності в тепловому балансі приймальних пластинок переважає віддача теплопровідності і зменшення чутливості із збільшенням швидкості вітру невелике, всього 2 – 3 % на 1 м/с. Це враховується поправочним множником $\hat{O}_{\hat{a}}$, який для кожного балансоміра визначається в аеродинамічній трубі. При швидкості 16 м/с $\hat{O}_{\hat{a}} = 1{,}3$, а при 60 м/с - $\hat{O}_{\hat{a}} = 2$. В природних умовах балансомір М-10 над нагрітим ґрунтом при вітрі до 1,5 м/с дає нестійкі показання, тому що дуже чутливий до висхідних повітряних потоків.

Пристрій балансоміра М-10М наведено на схематичному розрізі (рис.9.12, а). Приймальні пластинки з оксидованої міді 2 зачорнені зовні матово-чорною емаллю з добавкою білої. Внутрішні поверхні ізольовані тонким папіром 7, до них приклеєні спаї 3 і 4 термобатарей, улаштованих таким чином (рис.9.12, б). На мідних брусках 5 намотані три шари тонкого паперу з шелаком 6 і на папір намотана константанова стрічка 10. Половина кожного витка ізольована лаком, а на іншу половину нанесений шар срібла 9 товщиною 0,03 мм. Оскільки неминучі зазори роблять неоднаковою чутливість обох приймачів, то добавляються дві двохшарові термобатареї 8 (рис.9.12, а), причому одну з них, що прилягає до приймача з надлишковою чутливістю, можна замкнути шунтом або увімкнути зустрічними полюсами і тим вирівняти чутливість сторін з точністю до 2 %. Корпус балансоміра 1 з міді служить для розсіювання тепла, поглиненого чорними приймачами.

Чутливість балансоміру при штилі 7 мВ на 1 кал/(см ^{2}·хв), опір термобатарей 40 Ом, стала часу 4 с.

Установка балансоміра 10 (рис.9.9) на актинометричній стойці в одній площині з піранометром дозволяє затінювати балансомір тим же екраном 6, що і піранометр 8, якщо потягнути на себе горизонтальну трубу 2 стойки. При повороті цієї труби приймачі балансоміра змінюються місцями. Ці повороти необхідні, якщо чутливість приймача стане відрізнятися більше ніж на 2 %.

Установка балансоміра може бути і на саморобній стойці, для чого він випускається з двома кульовими шарнірами 13 і 15 (рис.9.12, в) і тіньовим екраном 12. При затіненні екран повинен бути видний з центру приймача 2 під кутом 10º. При цьому тінь від шарніра 13 із

замінювачем 12 повинна направлятися в сторону шарніра 15 з балансоміром, а балансомір повинен розташовуватися рукояткою 11 перпендикулярно сонячному вертикалу, тобто планці 14, як це наведено на рисунку. Для такої установки планка 14 з шарнірами прикріплюється до стойки одним гвинтом і при зміні азимута Сонця обертається разом з балансоміром. З'єднання балансоміра з гальванометром робиться таким чином, щоб стрілка відхилялася вправо, коли Сонцем нагріта сторона № 1. Гальванометр приєднується своєю вимірювальною системою (рамкою) і шунтується так, щоб шунт і паралельно з ним балансомір забезпечували перезаспокоєний режим вимірювальної системи, тобто їх сукупний опір був би нижче або в крайньому випадку дорівнював критичному опору гальванометра. Якщо застосований гальванометр з місцем нуля на краю шкали, то балансомір приєднується через перемикач для зміни напрямку струму.

Вимірювання за балансоміром повинні складатися з серій не менше ніж по три відліки і супроводжується відліками по індуктивному анемометру. При різній чутливості приймачів проводяться дві-три серії вимірювань з перевертанням балансоміра кожною з сторін вверх. Знак спостережної залишкової радіації змінюється на зворотний в кожному з таких випадків: а) стрілка відхиляється вліво; б) балансомір повернутий стороною № 2 вверх і в) перемикачем змінено напрям струму. Без сонячного сяйва можна в холодний час визначити додатне відхилення наближенням руки до сторони № 1. При вимірюваннях особливо важливо визначити форму і кількість хмар та їх розташування (біля горизонту, біля зеніту), а також температуру і вологість повітря. Вночі балансомір є хмароміром.

<u>Обробка спостережень</u>. Залишкова радіація B знаходиться за формулою $B = (N_{B-S'} - N_0)\hat{O}_{\hat{a}}\grave{a}_0 + S'$, де $N_{B-S'}$ - відлік по затіненому балансоміру, а якщо вітер мало змінювався, то середня з серії відліків, N_0 - відлік місця нуля гальванометра при розімкнутому ланцюгу (вимкненому балансомірі, але з шунтом), $\hat{O}_{\hat{a}}$ - поправковий множник з перевіркового свідоцтва до балансоміру, вибраний в залежності від швидкості вітру, a_0 - перевідний множник при штилі, який може бути обчислений за даними перевіркового свідоцтва за формулою $a_0 = \frac{C_I}{K_0}(R_{\acute{a}} + R_r)$, де $\hat{E}_0$ - паспортна чутливість балансоміра (до сонячної радіації), $R_{\acute{a}}$ - опір балансоміра, $\tilde{N}_I$ - стала за струмом (ціна поділки гальванометра з шунтом), R_r - опір гальванометра (з шунтом).

Поправки на нелінійність шкали гальванометра вводяться тільки в тому випадку, якщо вони перевищують ± 2 %.

Потрібно виключити систематичну помилку балансомірів з «чорними» приймачами за рахунок того, що балансомір повірений для

прямої сонячної радіації, до якої він на 10 % більш чутливий, ніж до довгохвильового земного випромінення. Отже, потрібно застосовувати менший перевідний множник a_0 для сонячної радіації і великий $a_д$ - для довгохвильового випромінення. Тому при паралельних вимірюваннях балансоміром і піранометром можна виключити з показання балансоміра короткохвильову залишкову радіацію $B_ê$, а різницю збільшити на 10 % і знову додати до $B_ê$, застосовуючи більш складну формулу $B = 1{,}1 \cdot \left[(N_{B-S'} - N_0)\, Ф_в\, a_0 - B_к \right] + B_к$. Вираз з прямих скобках означає зменшене по абсолютному значенню $B_д$ за рахунок низького значення a_0. При похмурій погоді формулу застосовувати не можна, тому що $B_ê$ значно більше $B_д$.

Догляд за балансоміром. Погана герметизація часто приводить до конденсації води, причому не тільки в шарі матово-чорної емалі, але і всередині приладу. В таких умовах показання можуть бути занижені (іноді вдвічі). Щоб уникнути таких викривлень балансоміри прогрівають. Це можна робити як через рукоятку балансоміра, так і пропуском струму безпосередньо через термобатарею під напругою 9 В, що відповідає потужності 2 Вт.

Визначення чутливості балансоміра проводиться двояким чином. Першим способом чутливість до сонячної радіації визначається по методу «сонце-тінь», показання порівнюються з показаннями актинометра, як і у випадку піранометра. Порівняння може бути при нормальному до променя положенні приймача, наприклад, в перевірковій трубі ПО-11. Без труби можна повіряти або при штилі, або в момент, коли напрямок вітру перпендикулярний сонячному вертикалу з точністю до 10º. Менш точніше повірка може бути зроблена при горизонтальному положенні балансоміра. У всіх випадках визначається чутливість кожного з двох приймачів.

Другий спосіб полягає у визначенні чутливості до земного випромінення порівнянням нічних показань балансоміра з різницею двох відліків по піргеометру: з приймачем вверх і приймачем вниз. У цьому випадку перевертаються як піргеометр, так і балансомір.

Реєстрація показань балансоміра проводиться затіненим балансоміром за допомогою тіньового кільця, вірніше, півкільця 1 (рис.9.11, б), де балансомір 2 у відповідності із змінами нахилу пересувається по направляючим 3. Для установки по широті півкільце 1 обертається на шарнірі 5 і за допомогою опор 7 установлюється по небесному екватору. На півночі влітку, де балансомір доводиться ставити нижче меж півкільця, воно доповнюється щитками 8. На час опадів балансомір закривається чохлом 6.

Реєстрація в тіні доцільна тим, що реєстрована величина близька до нуля, а тому поправки на вітер дуже малі. При сніговому покриві

доцільна реєстрація без тіні. Реєстрація може проводитися балансографом з поліетиленовими плівками на приймачах, натягнутими на відстані 1 - 2 мм від приймача. Контрольні спостереження по балансоміру без плівкового захисту виключать вплив плівки.

9.5 Інтегрування показань радіометрів.

Якщо потрібні тільки добові суми радіації: сумарної, розсіяної, залишкової, то замість реєстрації проводиться більш проста інтеграція показань з щоденним відліком по інтегратору. Існують інтегратори, які погодинно реєструють суми радіації.

Інтегратор Х-603 служить для безпосереднього вимірювання сум радіації будь-якого вигляду за інтервал часу між відліками. Він являє собою водневий лічильник мікроампергодин, який складається з скляної камери 7 (рис.9,17, б), розділеної навпіл пористою скляною перегородкою 8, що просочена розчином сірчаної кислоти у воді. Половинки камери 7 з'єднані трубками 1, 6 і капіляром 2, 4 і заповнені воднем. Капіляр розділений навпіл стовпчиком 3 сірчаної кислоти. На пористій перегородці впечені великі сіткові електроди 9 і такі ж малі електроди 10 з платини. Термоелектричний струм від радіометру подається через серію додаткових опорів до сіткових електродів 9, розкладаючи сірчану кислоту, виділяючи на катоді водень і поглинаючи таку ж кількість водню на аноді. Водень пересуває в капілярі стовпчик 3 кислоти на відстань, яка пропорційна кількості електрики, що пройшла. 100 поділок шкали 5 відповідають 30 – 60 мкА·год. Опір інтегратора порядку 15 Ом.

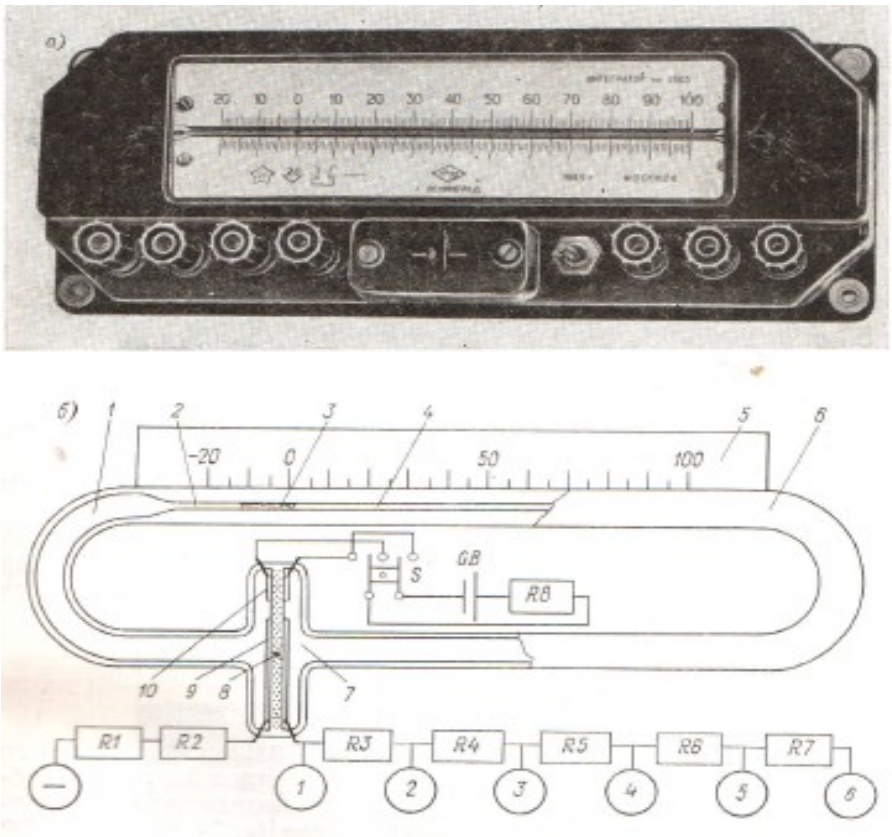


Рис.9.13 Інтегратор електролітичний Х-603: а - зовнішній вигляд; б – схема; 1 і 6 - з’єднувальні трубки; 2 і 4 – капіляри; 3 – вимірювальний стовпчик (кислоти); 5 - шкала; 7 - камера з воднем; 8 - пориста перегородка; 9 і 10 - електроди.

Для того, щоб шкали хватило на інтервал часу між відліками, вмикається деякий додатковий опір (радіометр приєднується між клемою «-» і однією з клем № 1 - 6) в залежності від чутливості радіометра, опромінення та інтервалу часу між відліками.

Знаючи ємність шкали в мікроампергодинах E, чутливість радіометра K і суму опорів ΣR, визначають ціну поділки шкали в кал/см ^{2} за формулою

$$A = \frac{60\ E\ \Sigma R}{10^5 K}.$$

Оскільки іноді спостерігається мимовільне зменшення ємності і чутливість радіометра може змінитися, то потрібно контролювати перевідний множник один раз в 2-3 місяці серією паралельних вимірювань тієї ж величини протягом двох годин біля полудня з інтервалами 5-20 хв в залежності від стабільності радіації. Сума радіації, визначена правилом трапецій, ділиться на різницю відліків по інтегратору на початку і в кінці серії. Частка дорівнює перевідному

множнику для вибраного додаткового опору. Множники для інших опорів пропорційні сумам опорів інтегратора і радіометра.

Для повертання вказівника в початкове положення служать додаткові електроди 10, до яких через комутатор-тумблер включають вмикають в потрібному напрямку струм від елемента GB через опір $R8$.

9.6 Геліограф.

Геліографом реєструється тривалість сонячного сяйва, тобто кількість годин, коли сонячний диск не закритий хмарами, але знаходиться настільки вище горизонту, що опроміненість прямою радіацією перевищує 0,3 кал/(см ^{2}·хв). Для використання прийняті виключно геліографи Кемпбелля-Стокса полярної (універсальної) моделі (рис.9.14).

Скляна куля 9 (рис.9.14, а) фокусує зображення сонячного диску на синій картонній стрічці, всунутій в паз сферичної чашки 5. Зображення Сонця пропалює на стрічці слід (рис.9.14, б). Стрічка придатна на протязі 10 годи, на які вона розграфлена білими лініями. Якщо тривалість дня менше 10 годин, то застосовується крива стрічка, що встановлюється у верхню пару пазів. Геліограф повертають так, щоб дуга 6 була звернена на північ, і в цьому положенні стопориться штифтом 11, щоб на південь до штриха була звернена буква Б. У цьому випадку стрічка змінюється один раз після заходу Сонця. При більш довгому дні стрічка змінюється після заходу Сонця, і геліограф повертається буквою А до штриха. Спостерігач близько істинного полудня закриває собою кулю, змінює стрічку і переставляє геліограф буквою В до півдня (рис.9.14, а). Близько рівноднів ставлять прямі стрічки в середню пару пазів чашки. При літньому сонцестоянні криві стрічки ставляться в нижню пару пазів.

У високих широтах приходиться тричі змінювати стрічки: в 4, 12 і 20 годин. В низьких широтах до 50º застосовні геліографи «звичайної» моделі з нерухомою чашкою, з рівноденними довгими прямими і літніми кривими довгими стрічками.

<u>Установка геліографа</u> проводиться на стовпі висотою 2 м (при закритому горизонті – на даху або вежі) на міцній дерев’яній основі. Горизонтальність основи 1 перевіряється рівнем, квадрант 3 орієнтується по меридіану, вісь 9 ставиться на осі світу у відповідності зі шкалою широт на квадранті 3 за вказівником 2. Положення фіксується гвинтом 4.

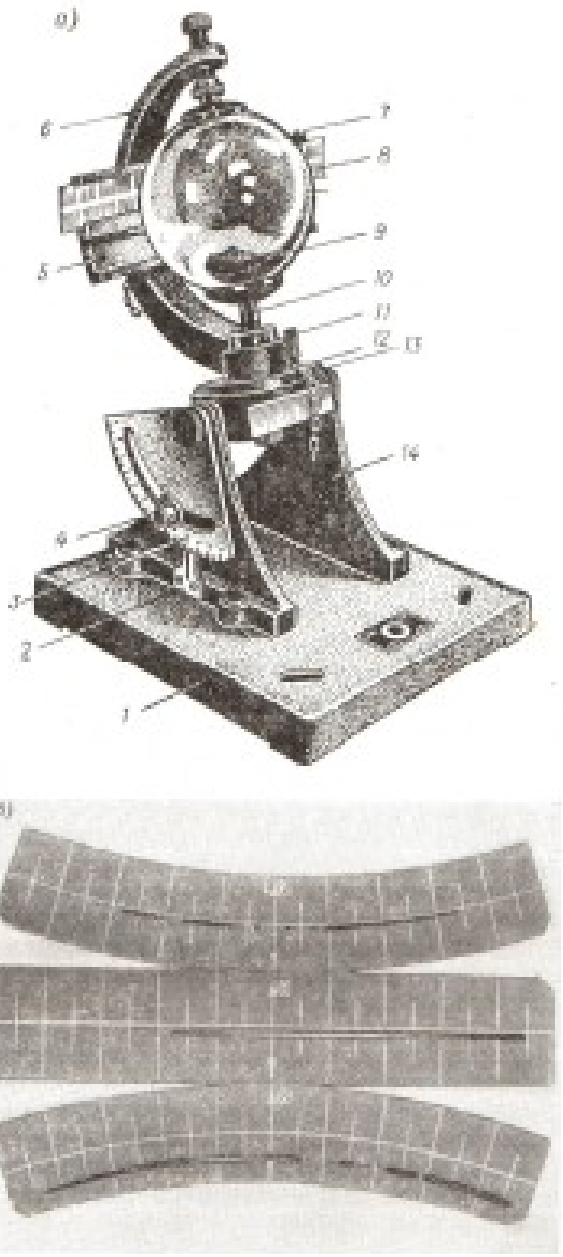


Рис.9.14 Геліограф Кемпбелля-Стокса полярної (універсальної) моделі: а – зовнішній вигляд; б – стрічки з прогорілостями: зимова, рівноденна, літня; 1 – основа; 2 – вказівник широти; 3 – сектор широт; 4 – гвинт; 5 – чашка з пазами для стрічок; 6 – дуга (тримач); 7 – голка фіксування стрічки; 8 – стрічка; 9 – куля; 10 – вісь; 11 – фіксуючий штифт; 12 – диск установочний; 13 – вказівник; 14 – стойка.

Простіше за все в істинний полудень закріпити геліограф на дошці так, щоб зображення Сонця виявилося на рисці чашки, установленої в положення «Б». Установка за істинним полуднем контролюється

щомісячно. У високих широтах до геліографа забезпечується коловий доступ, щоб мати можливість затінити кулю в 4 і 20 годин.

В зимові дні, з інеєм або паморозззю, куля геліографу обігрівається лампою.

Обробка стрічок полягає у визначенні сумарної довжини прогорілостей в кожному годинному проміжку з точністю до 0,1 год. Правильність установки стрічки контролюється за проколом фіксуючою голкою 7. Прокол повинен бути на білій рисці, що лежить на 2 год лівіше середини стрічки. При визначенні довжини прогорілості беруть до уваги навіть слабке потемніння або вицвітання окрасу стрічки.

Тривалість сонячного сяйва вимірюється геліографами з невисокою точністю. Прогорілість, в залежності від кольору кулі і стрічки, та її вологості, починається з опромінення від 0,25 до 0,4 кал/(см ^{2}·хв), а припиняється при ще меншій радіації. Миттєві прогорілості оцінюються не менше, ніж в 0,1 год, а короткі перериви виходять, як невеликі звуження прогорілості. В результаті при купчастій хмарності вимірювання довжини прогорілостей дає значне завищення тривалості сяйва.

Контрольні запитання:

1. Які бувають види променевої енергії ?
2. Якими приладами вимірюється променева енергія ?
3. Для чого призначений компенсаційний піргеліометр Онгстрема ?
4. Де установлюється піргеліометр ?
5. Що використовується як зразковий прилад для визначення чутливості піранометрів і балансомірів ?
6. В чому полягає принцип дії геліостату ?
7. Яким приладом вимірюється сонячна радіація, що надходить зі всіх точок небесної півсфери ?
8. Де на метеорологічній площадці установлюється піранометр ?
9. Для чого призначений похідний альбедометр ?
10. Що являє собою балансомір типу М-10М ?
11. Як проводиться установка балансоміра ?
12. В чому полягає догляд за балансоміром ?
13. Що являє собою інтегратор Х-603 ?
14. Для чого призначений геліограф ?
15. Коли і за яких причин міняються стрічки в геліографі ?
16. Як проводять вимірювання за балансоміром ?
17. Для чого призначені тіньові кільця ?
18. Від чого залежить поправковий множник ?

10. ВИМІРЮВАННЯ ВМІСТУ ОЗОНУ В АТМОСФЕРІ

10.1 Загальні відомості.

Молекула озону складається з трьох атомів кисню (O_3). В атмосфері озон виявляється на всіх трьох висотах до 70 км, але основна кількість його знаходиться на висоті від 20 до 55 км над поверхнею Землі.

Озон інтенсивно поглинає сонячну радіацію в багатьох ділянках спектру, за рахунок цього верхні шари атмосфери, які містять озон, нагріваються значно більше інших. Поглинаючи біологічно активні ультрафіолетові випромінення Сонця, озон служить захистом від їхнього шкідливого впливу на живі організми і забезпечує нормальний розвиток біологічних процесів на Землі. Таким чином, озон відіграє велику роль в метеорологічних і багатьох інших процесах нашої планети.

Кількість озону в атмосфері характеризується загальним вмістом озону. Ця величина виражається в міліметрах товщини шару озону, який міститься у вертикальному стовпі атмосфери за нормальних умов (1013,2 мбар; 0°С). Кількість озону в атмосфері і його розподіл по висоті характеризують також товщиною шару озону, віднесеної до товщини шару атмосферного повітря висотою 1 км, приведеного до нормальних атмосферних умов, а виражають в міліметрах на кілометр.

Загальний вміст озону в атмосфері не перевищує 60 мм. Розподіл озону в атмосфері залежить від широти місця, часу року і від стану самої атмосфери.

На деяких метеорологічних станціях вимірюють кількість озону в атмосфері. Вимірювання проводять за допомогою озонометра з інтенсивності поглинання озоном сонячної радіації в денний час, за прямим сонячним випромінюванням, за розсіяним випромінюванням неба і хмар в зеніті, а в нічний час за випроміненням (відбитому) місяцю.

10.2 Вимірювання озону за допомогою універсального озонометра М-83.

Універсальний озонометр М-83, розроблений Гущиним Г.П., складається з фотометра, вимірювального пульту і блоку живлення (рис.10.1). Процес вимірювання складається з вимірювання по черзі інтенсивності ультрафіолетового випромінення в смузі поглинання озону і поза цієї смуги.

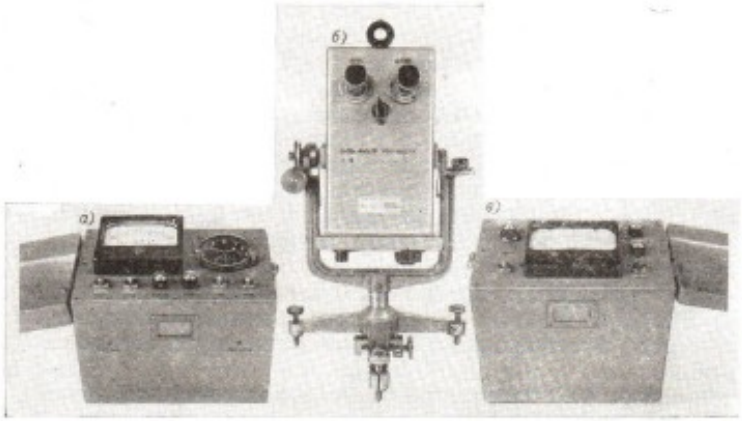
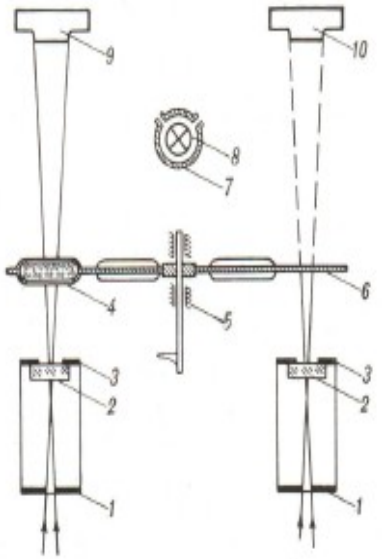


Рис.10.1 Універсальний озонометр М-83: а – пульт; б – фотометр; в – блок живлення.

Оптична схема фотометра має два ідентичних оптичних канали: один (лівий) використовується для вимірювання за Сонцем, інший (правий) – для вимірювання за Місяцем і зеніту неба (рис.10.2).



Радіація з атмосфери, обмежена діафрагмами 1 і 3 тубуса, проходить через захисну кварцову пластинку 2 і світлофільтри 4, вмонтовані в непрозорий диск 6, і попадає (в залежності від положення світлофільтра) на вікно фотоелемента 9 або на фотомножник 10.

Рис.10.2 Оптична схема фотометра: 1 і 3 – діафрагми; 2 – кварцова пластинка; 4 – світлофільтр; 5 – вісь; 6 – диск; 7 – ковпачок; 8 – лампочка; 9 – фотоелемент; 10 – фотомножник.

При повороті диску 6 (рукояткою осі 5) один з світлофільтрів 4 установлюється проти фотоелемента 9 (при цьому канал до фотомножника перекритий диском 6) або проти фотомножника 10 (фотоелемент перекритий диском). Лампочка 8 при контрольних вимірюваннях служить джерелом радіації, освітлюючи через щілини ковпачка 7 фотоелемент і фотомножник.

В диску 6 установлені три світлофільтри. Один для пропускання променів світла з довжиною хвилі в області смуги поглинання озону з

максимумом пропускання 314 Нм і два для хвиль поза смуги поглинання озону з максимумом пропускання 369 і 530 Нм (останній використовується при контрольних вимірюваннях). В нових моделях озонометра установлені фільтри з полосою пропускання 306, 330 і 356 Нм. На передній стінці корпусу фотометра (рис.10.2) закріплені приймальні тубуси двох оптичних каналів фотометра (тубуси закриваються знімальними ковпачками). Під ними знаходиться рукоятка, за допомогою якої повертають диск з світлофільтрами. Корпус фотометра установлений в скобі триноги. Фотометр установлюють за рівнем за допомогою трьох опорних гвинтів триноги. Фотометр при вимірюванні наводять тубусами на Сонце, Місяць або в зеніт, обертаючи головки двох мікрометрених пристроїв, плавно повертаючи його корпус в горизонтальній і вертикальній площинах, груба наводка робиться від руки (відмикаючи мікрометренні механізми повороту корпусу натиском їх головок).

На верхній частині корпусу фотометра закріплений візир з ціликом для наведення приладу (на Сонце чи Місяць).

На нижній стінці корпусу закріплені штепсельні гнізда кабелів для підключення датчика до вимірювального пульта і блоку живлення. Показання приладу залежать від температури фотометра (головним чином від температури його світлофільтрів), тому температура вимірюється термометром, який знаходиться всередині корпусу, і враховується при обробці результатів вимірювань.

На рис.10.3 наведена принципова електрична схема озонометра. Фотометр містить фотомножник $B1$, на який направляється радіація при нічних (світло місяця) і денних (по ясному і хмарному зеніту) вимірюваннях, і фотоелемент $B2$, на який направляється радіація при денних вимірюваннях по прямому випроміненню Сонця. Фотоелемент підключений до підсилювача постійного струму, який виконаний на лампі $V1$. Підсилення регулюється за допомогою перемикача $S1$, що вмикає послідовно фотоелементу той чи інший опір $R15$ - $R20$. При цьому змінюється коефіцієнт підсилення.

Лампа розжарення $H14$ служить джерелом випромінення при контрольних вимірюваннях. Фотометр за допомогою кабелів зі штепсельними гніздами $X1$ і $X2$ з'єднується з вимірювальним пультом, а $X3$ і $X4$ - з блоком живлення. У вимірювальному пульті є вимірювальний прилад $P1$ (мікроамперметр, що використовується також при контролі напруги живлення), тумблери і перемикачі $S2$ - $S5$, які служать для увімкнення приладу $P1$ у вимірювальні ланцюги фотоелемента, фотомножника або в ланцюги живлення при контролі напруги, а також для увімкнення живлення від батарей $GB1$, $GB2$.

Потенціометр $R27$ дозволяє установлювати нуль у вимірювальному
ланцюзі, а потенціометри $R25$, $R30$ і $R31$ - установлювати напругу живлення анодних і розжарених ланцюгів за номіналами, вказаними в паспорті приладу.

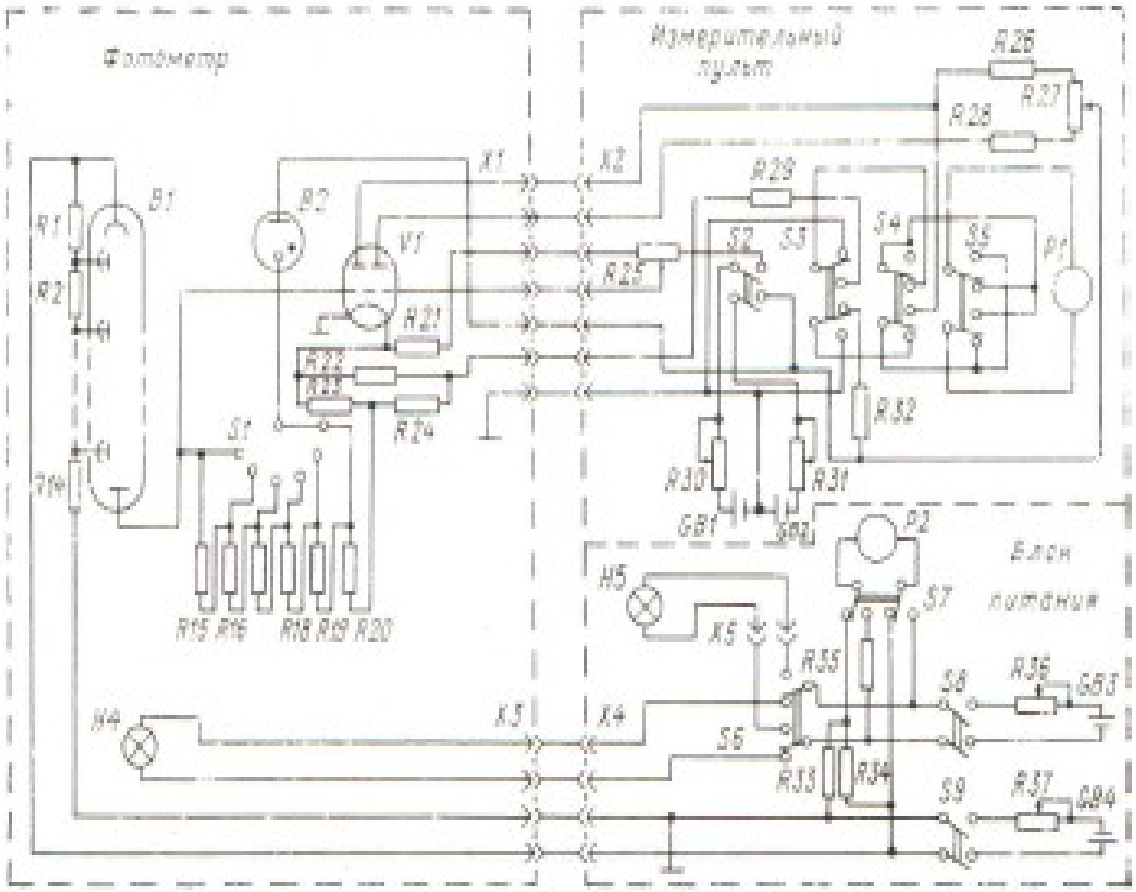


Рис.10.3 Електрична схема озонометра М-83.

Блок живлення містить батареї $GB3$ і $GB4$ для живлення фотомножника і ламп $H1$ (розташованою всередині фотометра) і $H2$ (зовнішньої), підключеної через гніздо $X5$. За допомогою тумблерів $S6$ - $S8$ робиться увімкнення живлення і замикання вимірювальних ланцюгів.

Мікроамперметр $P2$ служить для контроля напруги живлення і проведення вимірювань. Напруга живлення регулюється реостатами $R36$ і $R37$.

Вимірювальний пульт і блок живлення змонтовані в металевих корпусах з верхніми лицьовими панелями, які закриваються кришками (рис.10.2). На панелі пульту знаходяться мікроамперметр, годинник і

рукоятки чотирьох тумблерів і двох потенціометрів, призначення яких вказують надписи на панелі.

На панелі блоку живлення знаходяться мікроамперметр і рукоятки тумблерів, і потенціометрів для увімкнення живлення контролю напруги та його регулювання. На панелі біля рукояток є надписи, що вказують їхнє призначення.

На задніх стінках пульту і блоку живлення закріплені штепсельні гнізда для підключення з'єднувальних кабелів.

Вимірювання озону проводиться щогодини, при висотах Сонця і Місяця не менше 10°.

Вимірювання за Сонцем проводяться в ясні дні при наявності хмар з розривами, а також коли Сонце просвічує крізь пір'ясті хмари, а за випроміненням Місяця – в ясні ночі, коли видно більше половини диску Місяця. Вимірювання не проводяться при метеорологічній дальності видимості менше 4 км, при опадах і при швидкостях вітру більше 15 м/с.

При вимірюваннях по черзі визначаються показання приладу з фільтрами в смузі поглинання озону I_1 і з фільтром поза смуги поглинання I (кожне значення визначається як середнє з трьох вимірювань).

Обробка даних вимірювань робиться за допомогою спеціальних номограм за обчисленими значеннями $\frac{I_1}{I}K$ і по висоті Сонця (Місяця). K - коефіцієнт, що визначається при градуюванні озонометра і залежить від температури озонометра (його значення наводяться в паспорті озонометра).

Систематично (чотири рази на місяць) проводяться контрольні вимірювання. Для цієї мети використовуються лампочки $H4$ і $H5$ (рис.10.3). Внутрішня лампа $H1$ закрита ковпачком, що має два отвори. Через менший можна освітлити фотомножник, а через більший - фотоелемент. Зовнішня лампа змонтована в тубусі 1, який вставляється в тубус 2 (попередньо з тубусу вигвинчується діафрагма). За допомогою зовнішньої лампи проводиться контроль всього озонометра. Контрольні вимірювання проводять у приміщенні з стійким температурним режимом не раніше ніж після двохгодинного перебування в ньому озонометра.

Повторні повірки озонометра повинні проводитися не рідше ніж один раз в 2 роки.

10.3 Озонозонди.

Одним з основних методів вимірювання озону в атмосфері є метод радіозондів. Як, правило, озонозонди являють собою приставки до

мережевих радіозондів, виконаних у вигляді сукупності вимірювального перетворювача і вимірювальної схеми, призначеної для його сполучення з мережевим радіозондом. Перевага такого принципу побудови радіозондів є те, що одночасно з вимірюваннями параметрів озонного шару виходить інформація про вертикальний профіль метеорологічних елементів.

В залежності від принципу роботи вимірювальних перетворювачів озону зараз розрізняють оптичні, електрохімічні і хемілюмінесцентні озонозонди.

Оптичні озонозонди. Принцип дії оптичних озонозондів оснований на вимірюванні поглинання озоном ультрафіолетової сонячної радіації. Оптичні озонозонди вимірюють загальну кількість озону, який знаходиться в момент вимірювання в стовпі атмосфери над зондом. В процесі польоту оптичного озонозонда виходить вертикальний профіль загальної кількості озону $x(H)$. Шляхом чисельного диференціювання профілю $x(H)$ може бути обчислена густина озону, а отже, і її вертикальний профіль.

Оптичний озонозонд являє собою двоканальний автоматичний ультрафіолетовий фотометр, який приймає сонячну радіацію в смузі поглинання озону на хвилі 0,310 мкм і поза цієї смуги на хвилі 0,369 мкм. Він складається з світлоприймача, виконаного з кварцового скла і оснащеного спеціальним осесиметричним екраном, який забезпечує постійність радіаційного потоку на приймач випромінення незалежно від кута падіння сонячних променів, світлофільтру, що відсікає видиму частину спектра сонячного випромінення, блоку змінних світлофільтрів, модулятора радіаційного потоку, приймача випромінення і мініатюрного електродвигуна, який приводить до дії механізм переключення експозицій і обертання лиску модулятора.

Монохроматична радіація, що виділяється відповідними світлофільтрами, попадає на приймач випромінення (як, правило, фоторезистор, чутливий до ультрафіолетової радіації). Приймач випромінення через вимірювальну схему (узгоджувальний пристрій) і комутатор, що є частиною часового механізму мережного радіозонду, з яким використовується озонозонд, підключається до вимірювального генератора цього радіозонда, викликаючи зміну частоти проходження від'ємних імпульсів. Оптичні озонозонди виконуються у вигляді приставки до мережевого радіозонду типу РКЗ-5, який використовується спільно з радіозондувальним комплексом «Метеорит-2».

Електрохімічні озонозонди. Принцип дії електрохімічних озонозондів оснований на використанні хімічної реакції між солями лужних металів (наприклад, KJ), озоном і водою:

$$2\,KJ + O_3 + H_2O = 2\,KOH + J_2 + O_2\ ,$$

в результаті якої з йодистого калію озон виділяє вільний йод. Якщо при цьому в розчин йодистого калію заглибити два електроди, до яких прикладена невелика (порядку десятих часток вольта) напруга, то при відсутності озону йоду в розчині не буде і струм в ланцюгу буде відсутній. З появою йоду струм в ланцюзі буде пропорційний кількості озону, що реагує з розчином йодистого калію.

Істотним недоліком електрохімічних озонозондів є необхідність строгого контролю кількості повітря, яка протікає над електролітом, що являє дуже важку задачу.

За описаним принципом побудовані, зокрема, американські озонозонди (осередки), які використовуються спільно зі стандартними радіозондами.

Хемілюмінесцентні озонозонди. Принцип дії хемілюмінесцентних озонозондів оснований на використанні люмінесценції (свічення) деяких речовин, наприклад, люміналу, родаміна та ін. під впливом озону. При цьому люмінесценція вказаних речовин тим сильніша, чим вища концентрація озону в атмосфері. Хемілюмінесцентні озонозонди, як і озонозонди інших типів, конструктивно виконуються у вигляді приставок до мережевих радіозондів. Вони являють собою первинний вимірювальний перетворювач, який перетворює озон у світловий потік. Основою хемілюмінесцентного озонозонда є люмінофор, що випускає світловий потік при контакті з досліджуваною атмосферою, приймач світлового випромінення, який приймає світловий потік, випромінений люмінофором, і насос, що прокачує повітря по поверхні люмінофора. При практичній реалізації такого озонозонда застосовуються спеціальні заходи з виключення контакту з поверхнями деталей і змазкою насосу з тим, щоб не змінити озонний склад повітря, яке прокачується. Прокачування повітря робиться з частотою в декілька герц, одночасно з цим з виходу приймача світлового випромінення вихідний сигнал подається на кодувальний пристрій мережевого зонду і далі передається звичайним порядком.

Чутлива речовина, зокрема родамін, виготовлюється шляхом змішування водного розчину родаміна *B* з силікагелем і потім з гуміарабіком при температурі 200°С. Отриманий таким чином родамін має люмінесцентне випромінення, яке не залежить від вологості повітря, великий час живучості (не виявляє утоми при тривалих експозиціях). Такий родамін нелетучий, інтенсивність його люмінесценції лінійно залежить від кількості озону у повітряному потоці, що проходить. Крім того, він має відносно малий час інерції, тобто швидко реагує на зміну концентрації озону, а також є нечутливим до інших градієнтів атмосферного повітря (NO_2, SO_2, Cl та ін.).

Перед випуском озонозонд проходить калібрування у повітрі, що містить певну кількість озону. У зв'язку з малою частотою прокачування повітря вздовж поверхні люмінофора (декілька циклів за хвилину) вимірювання озону в процесі піднімання зонду проводяться дискретно з малою частотою, що відповідає декільком вимірюванням на 1 км траєкторії зонду.

Контрольні запитання:

1. Що являє собою озон ?
2. Які атмосферні гази його поглинають, а які пропускають ?
3. На якій висоті знаходиться основний шар озону ?
4. В яких одиницях вимірюється озон ?
5. Яким приладом можна виміряти кількість озону ?
6. Що являє собою універсальний озонометр М-83 ?
7. Які довжини хвиль мають світлофільтри ?
8. Що таке озонозонд ?
9. Яких видів бувають озонозонди ?
10. В чому полягає принцип дії оптичного озонозонда ?
11. В чому полягає принцип дії електрохімічного озонозонда ?
12. В чому полягає принцип дії хемілюмінесцентного озонозонда ?

11. ВИМІРЮВАННЯ РАДІОАКТИВНОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ, ВОДИ І СНІГОВОГО ПОКРИВУ

11.1 Основи теорії радіоактивних вимірювань.

Природні радіоактивні речовини зустрічаються в атмосфері, в ґрунті, в воді морів та океанів, річок і озер в дуже малих кількостях. Підвищення вмісту радіоактивних ізотопів або зміна їх якісного складу несприятливо впливає на життєві процеси, які протікають в природі. Тому контроль ступеню радіоактивної забрудненості зовнішнього середовища має наукове і практичне значення.

Важливими характеристиками хімічного елементу є його порядковий номер в таблиці Менделєєва і маса атома. Порядковий номер елемента в таблиці Менделєєва показує число протонів в ядрі атома і відповідно кількість електронів, які обертаються навколо нього.

Майже вся маса атома зосереджена в ядрі і близька до суми мас, які складають ядро протонів і нейтронів. Тому кількість протонів і нейтронів в ядрі прийнято називати масовим числом A. Більшість атомів окремих елементів (простих речовин), маючи один і той же порядковий номер, можуть мати різні масові числа, через те, що кількість нейтронів в ядрі атомів цих елементів різна. Такі атоми називають ізотопами.

Більшість природних хімічних елементів являє собою суміш двох і більше ізотопів. Наприклад, природний кисень складається з ізотопів з масовим числом 16, 17 і 18.

В ядерній фізиці різні ізотопи одного і того ж хімічного елемента позначають символом елемента з вказівкою порядкового номеру і масового числа. Наприклад, ізотопи водню – водень, дейтерій і тритій – позначають ^{1}H, ^{2}H і ^{3}H.

Радіоактивність. Ізотопи елементів бувають стійкими і нестійкими – радіоактивними. Ядра радіоактивних ізотопів протягом часу мимовільно розпадаються (радіоактивний розпад) і перетворюються в ядра ізотопів інших елементів. Радіоактивний розпад супроводжується

радіоактивними випромінюваннями - вильотом з ядра заряджених частинок і квантів (порцій) енергії.

Розрізняють природні і штучні радіоактивні ізотопи. В природі зустрічаються природні ізотопи: $^{40}_{19}K$, $^{87}_{37}Rb$, $^{238}_{32}U$ та ін.

Радіоактивні ізотопи отримують в атомних реакторах в результаті опромінення стабільних ізотопів нейтронами або в результаті поділу важких атомів урану, плутонію. Ізотопи можуть бути отримані за допомогою прискорювачів різних типів.

Експериментальні вибухи термоядерних пристроїв являються також джерелами великої кількості радіоактивних ізотопів.

Радіоактивне випромінення. Радіоактивне випромінення у більшості випадків випускається ядрами атомів в момент їх мимовільного перебудування. Ці випромінювання складаються з α - і β - частинок і γ - квантів. Енергію α - і β - частинок і γ - квантів вимірюють у електрон-вольтах (еВ). Електрон-вольт – це така кількість енергії, яку отримує електрон в прискореному електричному полі, проходячи різницю потенціалів в 1 В.

Альфа-частинка являє собою ядро атома гелію, яке складається з двох протонів і двох нейтронів, має заряд, що дорівнює двом одиницям додатної електрики, і масове число, яке дорівнює чотирьом.

Проходячи через речовину, α - частинки, володіючи відносно великим електричним зарядом ($Z = 2$), взаємодіють з електронами атомів середовища, викликаючи їх іонізацію (втрату електронів). Альфа-випромінення володіє великою іонізуючою, але малою проникною здатністю.

Випромінення β - частинок – це потік електронів. Проходячи через речовину, β - частинка взаємодіє з електронами оболонок атома. Бета-частинка володіє значно меншою, в порівнянні з альфа-частинкою, іонізуючою, але більшою проникною здатністю.

Гамма-промені – короткохвильове електромагнітне випромінення з великою проникною здатністю. Активність радіоактивної речовини характеризується кількістю розпаду ядер даної речовини за одиницю часу.

Для характеристики іонізуючих випромінювань вводиться поняття дози, під якою розуміють кількість енергії, поглиненої одиницею об'єму опроміненого середовища за весь час опромінення (поглинена доза), або кількість енергії, яку створює певний електричний заряд в одиниці об'єму опроміненого середовища за весь час опромінення (доза опромінення).

Одиницею дози опромінення є доза в 1 Р (рентген), при якій в 1 см ^{3} сухого повітря при 0°С і нормальному тиску утворюється $2{,}08 \cdot 10^9$ пар

іонів, які володіють однією електростатичною одиницею заряду кожного знаку (1 CGS).

Доза, яка віднесена до одиниці часу, називається ***потужністю дози опромінення*** або ***потужністю дози***. Потужність дози виражається в рентгенах за одиницю часу.

Іноді для вимірювання інтенсивності гамма-випромінення застосовується одиниця міліграм-еквівалент радію. Під міліграм-еквівалентом радію розуміють активність радіоактивного препарату, гамма-випромінення якого за однакових умов вимірювання створює ту ж потужність дози, що і гамма-випромінення 1 мг радію (разом з продуктами розпаду) державного еталону радію при платиновому фільтрі 0,5 мм.

Зв'язок між потужністю дози від точкового джерела і його активністю визначається виразом

$$P = \frac{8{,}4\ M}{1000\ R^2},$$

де M - активність, мг-екв радію;

P - потужність дози, Р/год;

R - відстань від джерела до місця опромінення, м.

Зв'язок між потужністю дози і активністю точкового джерела може бути представлений виразом

$$p = \frac{Q\,K}{1000\ R^2},$$

де Q - активність джерела, мКи;

K - повна гамма-стала даного ізотопу (з таблиць).

Найбільше масове радіоактивне забруднення природних середовищ відбувається в результаті проведення випробувань ядерної зброї в атмосфері.

Радіоактивні випадання на поверхню ґрунту нерівномірні. Добова активність випадань, визначена за пробами, які відібрані двома рядом розташованими планшетами, може відрізнятися одна від одної. Проте середні значення, отримані для великої кількості проб, характеризують рівень випадань у обстежуваному районі.

Відносний просторовий розподіл глобальних випадань (випадань радіоактивних продуктів, які спочатку попали в стратосферу) виявляється достатньо стабільною величиною. Так, якщо рівень річних випадань в будь-якому районі даної півкулі прийняти за одиницю, то відносні рівні річних випадань в інших районах даної півкулі в різні роки будуть змінюватися незначно.

Протягом року рівні випадань не постійні. Максимум спостерігається у весняно-літній період, а мінімум - в зимовий.

Поведінка радіоактивних продуктів, які попали в природні середовища в результаті роботи підприємств, інша, ніж радіоактивних продуктів, утворених в результаті ядерних вибухів. Як правило, радіоактивні продукти, які попали в природне середовище в результаті роботи підприємств, не досягають стратосфери і залишаються в нижній тропосфері. В результаті цього надходження найбільш крупні аерозолі осідають на ґрунт в безпосередній близькості від підприємства. Більш дрібні аерозолі можуть бути перенесені вітром на значні відстані.

Крім радіоактивних аерозолів, при роботі атомних електростанцій в атмосферу можуть поступати радіоактивні шляхетні гази. Завдяки великому періоду піврозпаду криптон-85 накопичується в атмосфері.

11.2 Методи відбору проб повітря, випадань, води.

Безпосереднє визначення вмісту радіоактивних продуктів у повітрі, воді і ґрунті становить значні труднощі. Вимірювання ж відібраних проб в лабораторних умовах може бути проведене з більш високою точністю і меншими зусиллями. Існує декілька мотків відбору проб. Застосування кожного методу обумовлюється технічними можливостями.

Проби аерозолів. Фільтровентиляційна установка (рис.11.1). Найбільш надійно проби радіоактивних аерозолів в приземному шарі атмосфери можуть бути відібрані шляхом фільтрації повітря через спеціальні фільтри. Широке розповсюдження отримала фільтровентиляційна установка (ФВУ), яка складається з електромотору 1 з вентилятором 2, фільтротримачем 3 з фільтром 4 і повітревідводу з пристроєм для визначення витрати повітря.

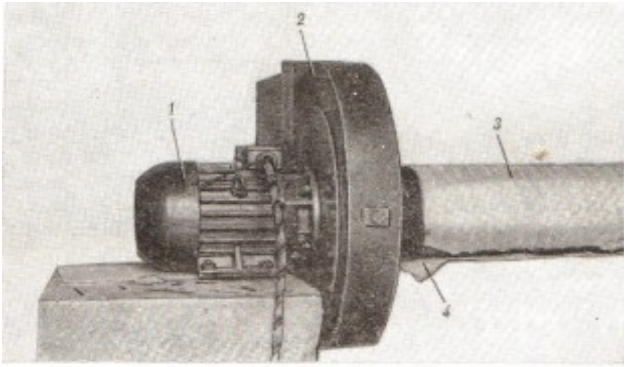


Рис.11.1 Фільтровентиляційна установка: 1 – мотор; 2 – вентилятор; 3 – фільтротримач; 4 – фільтрувальна тканина.

Оптимальна продуктивність установки може бути отримана тільки при правильному узгодженні потужності мотору і площі фільтру.

Площа фільтра може бути знайдена з виразу

$$S = \frac{qK}{H},$$

де S - площа фільтра, м ^{2};

q - потік повітря, м ^{3}/с;

K - коефіцієнт опору фільтра, мм вод.ст./(м/с);

H - перепад тиску , мм.вод.ст.

Для установки 19ЦС-48 максимальний перепад тиску при потужності 4,5 кВт складає 475 мм.вод.ст., коефіцієнт опору фільтру ФПП-15 дорівнює 200 мм.вод.ст./(м/с), потік повітря 0,53 м ^{3}/с. Звідки розрахункова площа фільтру дорівнює 0,224 м ^{2}.

Для вимірювання об'єму прокатаного повітря використовується трубка ЦАГІ, жорстко установлена у повітревідводі. Трубка ЦАГІ складається з двох зчеплених трубок. Кінець однієї трубки відігнутий в сторону напрямку повітряного потоку, а інший - в протилежну сторону. Завдяки такому розташуванню в потоці повітря на протилежних кінцях трубок виникає різниця тиску, яка і вимірюється спеціально відградуйованим манометром типу УС. Показання манометру відградуйовані в швидкостях повітряного потоку.

Щоб по швидкості потоку визначити об'єм прокатаного повітря, установку необхідно відградуювати. Градуювання установки необхідне тому, що трубка ЦАГІ дозволяє визначати швидкість повітряного потоку в місці розташування цієї трубки. Проте швидкість повітряного потоку по перерізу повітревідводу неоднакова. Тому для визначення кількості прокатаного повітря за швидкістю повітряного потоку в центрі повітревідводу і часу експозиції необхідно провести вимірювання загальної кількості прокатаного повітря. Для проведення цих вимірювань на фільтротримач з фільтром одягається спеціальна вимірювальна насадка з каліброваним соплом (рис.11.2).

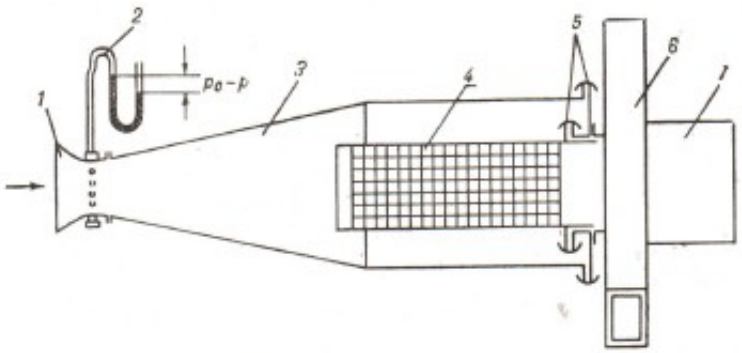


Рис.11.2 Вимірювальна насадка: 1 – сопло вимірювальне; 2 – манометр; 3 – кожух; 4 – фільтротримач; 5 – гумові кільця; 6 – вентилятор; 7 – мотор.

Форма і розміри цього сопла виготовляються у відповідності з спеціальними розрахунками, і за показаннями манометра, який підключений до сопла, можна судити про кількість повітря, яке пройшло через сопло за час прокачування.

Швидкість потоку повітря в насадці визначається за формулою

$$V = \sqrt{\frac{2\,\Delta P g}{\rho}} \quad ,$$

де ΔP - перепад тиску в насадці відносно атмосфери;

g - прискорення вільного падіння;

ρ - густина повітря.

Витрачання повітря Q за час t через переріз насадки S буде

$$Q = S V t \, .$$

Отриманий за формулою об'єм повітря потрібно привести до нормальних умов.

Фільтровентиляційна установка розміщується в спеціальній будці з жалюзями, яку установлюють на цегляний фундамент на рівній відкритій площадці в місцях з найменшою запиленістю. Повітревідвід установлюється в напрямку пануючих вітрів, щоб знизити ймовірність повторного проходження одних і тих же мас повітря через фільтр.

При установці фільтру на фільтротримач необхідно слідкувати за тим, щоб не було щілин, через які могло б проходити повітря, минаючи фільтрувальну тканину.

Строк роботи установки розбивається на два періоди по шість годин: з 7 год 30 хв до 13 год 30 хв і з 19 год 30 хв до 1 год 30 хв за місцевим часом. Фільтр змінюється один раз на добу, в 7 год 30 хв.

Швидкість повітря вимірюється тричі на добу: в 7 год 30 хв, 13 год 30 хв і 1 год 30 хв, і за отриманими даними розраховується середнє значення швидкості.

Після експозиції фільтрувальна тканина бережно знімається, щоб не струсити пил, який осів на зовнішню частину фільтру, складається зовнішньою частиною всередину, упаковується в поліетиленовий пакет і направляється в лабораторію.

Більш удосконалена фільтровентиляційна установка – установка «Тайфун». В ній замість циліндричного фільтротримача використовується касетний блок з чотирма касетами з фільтром ФПП-15-1,5. Фільтрувальна тканина вставляється в касету рівно, без зморшок і щілин, марлею вниз, ворсистою стороною в сторону повітря, яке набігає.

Для вимірювання швидкості повітря, яке прокачується, до касетного блока закріплюється патрубок з вимірювальним соплом.

Швидкість прокатаного повітря вимірюється за допомогою вказівника швидкості, з'єднаного з вимірювальним соплом, аналогічно тому, як це робиться при градуюванні фільтровентиляційної установки. Патрубок з вимірювальним соплом закритий захисним жалюзійним кожухом, який захищає фільтр від попадання на нього дощу. Після фільтрації повітря викидається через повітревідвід, довжина якого в 10 раз більше його поперечних розмірів.

Вертикальний екран (рис.11.3). Для якісного визначення вмісту в повітрі радіоактивних аерозолів може бути використаний вертикальний екран, який складається з вибіленої марлі, натягнутої на вертикальний каркас.

Фільтрація повітря через марлю відбувається під дією сили вітру. Щоб площина екрану була перпендикулярна до напрямку вітру, екран прикріплюється до флюгерки, яка установлюється на стояку так, щоб екран з флюгеркою могли вільно повертатися. Рамка з марлею установлюється на висоті 1,5 м над поверхнею ґрунту.

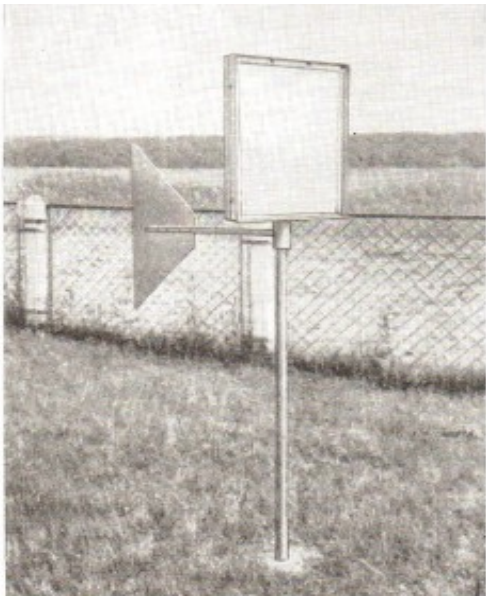


Рис.11.3 Вертикальний екран.

Через те, що ефективність уловлювання аерозолів вертикальним екраном залежить від швидкості вітру і вологості повітря, то точність

визначення концентрацій радіоактивних аерозолів за допомогою вертикального екрану виявляється гірше, ніж за допомогою фільтровентиляційної установки.

Середній ефективний об'єм повітря Q, що пройшов крізь вертикальний екран, можна оцінити за формулою

$$Q = S V t f,$$

де V - середня швидкість повітряного потоку, який пройшов крізь екран, отримана шляхом осереднення даних чотирьох вимірювань за добу;

t - час експозиції марлі (час фільтрації повітря через марлю);

f - коефіцієнт ефективності уловлення аерозолів марлею ($\cong 0{,}45$);

S - площа фільтра.

Після експозиції марля знімається і направляється в лабораторію.

Проби радіоактивних випадань. Бак-збірник. При відборі проб випадань використовується бак-збірник місячних випадань, який являє собою бак прямокутної форми, виготовлений з матеріалів, стійких проти корозії. Висота стінок баку приблизно 1 м. Верхній край баку установлюється від поверхні землі на висоті 1 м. Площа баку звичайно приблизно 0,5 м ^{2}. В літній період на дно баку наливається шар води 1-2 см, в який добавляються солі стронцію, цезію і церію. Наявність цих солей різко скорочує адсорбцію радіоактивних ізотопів на стінки баку, забезпечуючи тим самим високу ефективність уловлення радіоактивних випадань.

Після місячної експозиції вміст баку, будь то сніг чи дощова вода, переноситься в емальоване відро. Якщо в зимовий період на внутрішніх станках баку утворився шар льоду, то бак необхідно перенести в тепле приміщення або відігріти. Потім воду зливають, а бак промивають дистильованою водою і протирають марлевим тампоном, змоченим слабким розчином азотної кислоти, щоб зібрати радіоактивні аерозолі, які осіли на стінках баку. Протирати бак необхідно і у тому випадку, якщо протягом місяця не було опадів.

Вся вода або розтоплений сніг, зібрані баком, і вода, якою промивали бак, фільтрується і пропускається крізь колонку, що містить іонообміні смоли КУ-2 і ЕДЕ-10П. Швидкість фільтрації не повинна перевищувати 2 л/год. Після закінчення фільтрації посудина, в якій знаходилась вода, обмивається дистильованою водою. Ця вода також пропускається через колонку.

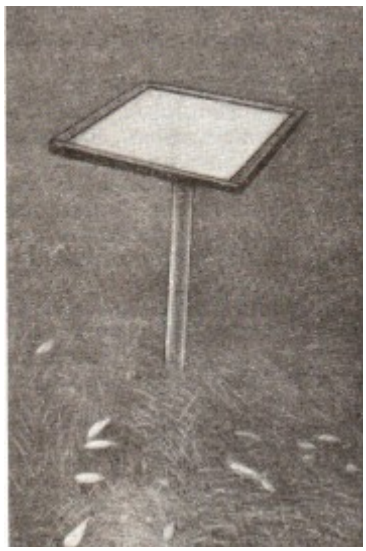
Після фільтрації іонообмінна смола, фільтр з осадком і марлевий тампон, яким протирався бак, направляються до лабораторії.

Перевага бака-збірника полягає в тому, що налита в нього вода запобігає видуванню радіоактивних аерозолів, які попали в

пробовідбірник. З іншої сторони, високі стінки захищають від попадання в бак радіоактивних аерозолів, перенесених безпосередньо біля поверхні землі. Густина таких аерозолів може бути трохи вище, ніж на висоті 1 м, за рахунок радіоактивних аерозолів, які відскакують від підстилаючої поверхні (викривлення їх траєкторії руху).

Планшет горизонтальний (рис.11.4). Для відбору проб щоденних випадань використовується горизонтальний планшет, що складається з металевого квадратного столика, на якому розміщується вибілена медична марля площею 0,3 м ^{2}. Поверхня столика розташовується на висоті 1 м над поверхнею ґрунту. Під час снігових заносів висоту столика потрібно збільшити, установлюючи його на відстані 1 м над поверхнею снігу.

Планшет установлюється так, щоб на нього не здувався пил з найближчих будов і щоб він не знаходився у вітровій тіні цих будов. Ефективність уловлення планшета в сухі дні пояснюється затримкою аерозолів ворсинками марлі, а в дні з опадами адсорбцією аерозолів поверхнею марлі. Потрібно відмітити, що такою здатністю володіє тільки вибілена марля. Адсорбційна ж здатність інших сортів марлі значно нижче.



Після добової експозиції марля знімається, поверхня планшету протирається знятою марлею. При цьому необхідно слідкувати за тим, щоб не струсити пил, що осів на марлі. Марля складається так, щоб верхня сторона виявилася всередині. Якщо марля волога, то її потрібно просушити. Якщо на марлі скопився сніг, його необхідно перекласти в емальоване відро, розтопити, добавити 1-2 краплі азотної кислоти, перемішати і перелити в емальовану каструлю для випаровування.

Рис.11.4 Горизонтальний планшет.

Після упарювання залишком води просочують марлю, яку потім висушують і відправляють до лабораторії.

Порівняння ефективності відбору випадань горизонтальним планшетом з ефективністю відбору баком-збірником місячних випадань показало, що ефективність відбору горизонтальним планшетом можна прийняти рівним 0,7. Отримане значення справедливе тільки у тому випадку, якщо експозиція планшету (час зміни марлі) дорівнює 1 добі. При більш тривалій експозиції ефективність уловлення падає. Це можна

пояснити як здуванням вже захоплених аерозолів, так і зниженням ефективності за рахунок запиленості поверхні марлі.

Збірник опадів служить для відбору проб опадів і являє собою поліетиленовий бак з герметичною кришкою, установлений так, щоб верхній край знаходився на висоті 2 м від поверхні землі. Щоб виключити випаровування води і зменшити забруднення пилом бак-збірник опадів виставляють безпосередньо на початку дощу або снігопаду, попередньо сполоснувши дистильованою водою. Якщо опади йдуть з переривами, то в перервах бак закривається кришкою.

Після закінчення випадання опадів пробу зливають у поліетиленову бутель, яку ретельно закупорюють і маркірують. Якщо випав сніг, то бак переносять до лабораторії. Після танення снігу вміст баку переливають у бутель.

Проби води з водойм. Проби води з річок, озер і водосховищ для визначення радіоактивності беруться в залежності від особливостей гідрологічного режиму водойм. Особливий інтерес являють проби, відібрані в період паводка або затяжних зливових дощів, коли відбувається змив поверхневого шару ґрунту, а також при стаціонарному режимі водойм.

На річках проби беруться на стромовині з глибини 0,2-0,5 м. На озерах і водосховищах проби води беруться з верхнього шару рейдової вертикалі, а в зимовий період і в період літньої межені, крім того, і з придонного шару (на 0,5 м вище дна).

При невисокій мінералізації (з вмістом кальцію менше 20 мг/л) проби води пропускаються крізь іонообмінну смолу. Якщо у воді солей кальцію більше ніж 20 мг/л, воду оброблюють методом осадження. Для цього в пробу води об’ємом 20 л вносять 12 г вуглекислого амонію і добіляють розчин аміаку. В результаті взаємодії в осадок випадають карбонати кальцію і частково магнію, а разом з ними і солі стронцію.

Проби морської води відбираються об’ємом 10 і 0,5 л. Проба об’ємом 0,5 л упаковується в поліетиленову пляшку. Відбір такої проби необхідний для контролю повноти виділення солей стронцію з морської води. В пробу об’ємом 10 л добавляється 120 г безводної соди. Після відстоювання протягом декількох діб проба зливається, а осадок або фільтрується і висушується, або переливається в поліетиленову пляшку об’ємом 1 л. Всі відібрані проби води пересилаються до лабораторії.

11.3 Лабораторні методи вимірювання радіоактивного забруднення природних середовищ.

Проби, які надійшли до лабораторії, проходять спочатку попередню обробку. Ця обробка полягає в тім, що пробу переводять в стан, при якому ефективність вимірювання радіоактивних продуктів, які в ній містяться, виявиться найбільшою. З цією метою марля планшетів, вертикального екрану і фільтр установок ФВУ підлягають озоленню. Для озолення марля або фільтр укладаються в тігель. Потім тігель закривається кришкою і ставиться на електроплитку для попереднього обвуглювання. Під час обвуглювання необхідно слідкувати за тим, щоб не відбувалося запалення, тому що при горінні відбувається інтенсивне виділення газів, разом з якими може улетучиватися частина радіоактивних продуктів. Після обвуглювання тігли без кришок поміщають в муфельну піч. Озолення у муфельній печі проводиться при температурі не більше 450°С. Перевищення температури може привести до улетучення таких радіоактивних ізотопів, як цезій-137, рутеній-106 та ін.. Після озолення зола з тигля переноситься на спеціальну підложку стандартних розмірів, спресовується і закривається тонкою плівкою.

Кількість золи, отримана в результаті озолення проби, залежить від запиленості марлі або фільтра і може коливатися від 30 (чистий фільтр) до 300 мг. Калібрувальні препарати приготовляються з 200 мг золи. Через те, що в препаратах міститься різна кількість золи, то ефективність вимірювань бета-випромінення (відношення зареєстрованих бета-частинок до випущених) для калібрувального і отриманих препаратів різна (табл..11.1).

Таблиця 11.1 Відношення ефективності вимірювання бета-випромінення проби до бета-випромінення калібрувального препарату (суміш стронцію з ітрієм-90) для радіоактивних аерозолів і випадань.

Маса проби, мг	Час між утворенням і вимірюванням радіоактивних аерозолів, роки				
	0,41	1	2	4	10
30	1	1,3	1,4	1,4	1,6
300	0,6	1	1	0,9	0,9

Як видно з даних табл.11.1, використання як калібрувального препарату суміші стронцію з ітрієм-90 масою 200 мг дозволяє визначити активність проби з помилкою, що не перевищує 60 %.

Для вимірювання радіоактивного випромінення використовують властивості цього випромінення взаємодіяти з речовиною. Частіше за все така взаємодія приводить до іонізації молекул речовини.

Детектор радіоактивного випромінення – лічильник Гейгера оснований на використанні ефекту іонізації молекул газу радіоактивним випроміненням. Лічильник звичайно являє собою провідний циліндр, поміщений всередину герметичної оболонки, наповненої сумішшю спеціальних газів. По осі циліндру натягнутий тонкий металевий дріт, до якого прикладена висока додатна напруга відносно циліндру. Альфа-частинки попадають всередину лічильника через тонке вікно, а бета-частинки і гамма-кванти можуть попасти всередину лічильника, проходячи крізь його стінки.

Проходячи через лічильник, радіоактивне випромінення іонізує газ лічильника або вибиває електрони з стінок лічильника, які, в свою чергу, також іонізують газ лічильника. Прикладений до нитки лічильника високий потенціал притягує вибиті з атомів газу електрони. Тиск газової суміші і напруга на нитці лічильника вибираються такими, щоб електрони, які до них притягуються, на своєму шляху могли знову іонізувати атоми газу лічильника. В результаті такої багатократної іонізації в лічильнику утворюється лавина електронів, яку збирає нитка. Додатні іони, що залишилися, притягуються від'ємно зарядженим циліндром лічильника. В результаті розглянутого процесу на нитці лічильника виникає електричний імпульс, який і реєструється спеціальними електронними пристроями.

Крім газових лічильників, для реєстрації радіоактивного випромінення використовуються ***сцинтиляційні детектори***. Проходячи через такий детектор, радіоактивне випромінення збуджує або іонізує атоми речовини детектора. Повертаючись до нормального стану, атоми детектора висвітлюють передану їм енергію у вигляді ультрафіолетового випромінення. В детекторі ультрафіолетове випромінення перетворюється у видиме світло, яке, попадаючи на фотокатод фотоелектронного множника, перетворюється в електричний імпульс, що реєструється електронними пристроями.

Все більш широке застосування знаходять ***напівпровідні детектори***. Принцип дії такого детектора оснований на тому, що в матеріалі детектора вибиті радіоактивним випроміненням електрони не повертаються до нормального стану, а притягуються до обкладки детектора. В нормальному стані детектор є ізолятором, і струм через нього не йде, незважаючи на прикладену до нього напругу. Виникаючий при взаємодії випромінення з речовиною детектора імпульс струму і реєструється відповідними електронними пристроями.

Для реєстрації електричних імпульсів, які виникають в детекторах випромінення, можуть бути використані стандартні лічильні установки типу ДП-100, ПП-16 та ін.. Ці установки складаються з детектора, поміщеного в свинцевий захисний будиночок, і реєстратора електричних

імпульсів. Свинцевий будиночок захищає детектор від випромінення радіоактивних продуктів природного походження і космічного випромінення.

Електричний імпульс, утворений в детекторі, підсилюється спеціальним підсилювачем і потім надходить на перерахівний пристрій. Досліджуваний препарат поміщується в захисний будиночок рядом з детектором. Положення препарату відносно детектора повинне бути строго фіксоване, тому що ефективність реєстрації випромінення, що випущене препаратом, залежить від взаємного розташування препарату і детектора. Якщо використовується торцевий лічильник Гейгера, то препарат розміщується проти «вікна» лічильника.

Вимірювання препарату полягає у визначенні кількості імпульсів, зареєстрованих від детектора за одиницю часу, з відніманням фонових імпульсів. Кількість фонових імпульсів визначається вимірюванням чистої підложки. Фонові імпульси викликані тим, що як в матеріалі захисного будиночка, так і в матеріалі конструкції установки міститься деяка кількість радіоактивних ізотопів природного походження, а також космічного випромінювання. Кількість імпульсів, зареєстрованих при вимірюванні препарату, порівнюється з кількістю імпульсів, зареєстрованих при вимірюванні калібрувальних зразків, активність яких відома. Таким чином, активність препарату розраховується за формулою

$$A_n = A_o \frac{N_n}{t_n} \cdot \frac{t_o}{N_o},$$

де A_n - активність препарату;

A_o - активність калібрувального зразка;

N_n - кількість імпульсів, зареєстрованих при вимірюванні препарату, з відніманням фонових імпульсів:

N_o - кількість імпульсів, зареєстрованих при вимірюванні калібрувального зразка, з відніманням фонових імпульсів;

t_n - час вимірювання препарату;

t_o - час вимірювання калібрувального зразка.

Перевірка стабільності роботи установки (відтворюваності результатів). Особливістю радіоактивного випромінення є те, що кількість випущених за одиницю часу бета-частинок або гамма-квантів не є постійною величиною. Тому правильність роботи установки можна визначити тільки провівши декілька вимірювань одного і того ж препарату. Для визначення критерію правильної роботи установки проводять десять вимірювань калібрувального зразка, тривалість кожного вимірювання – 3 хв. Критерій стабільності χ^2 розраховується за формулою

$$\chi^2 = t\,\frac{\Sigma N^2 - n N_{cp}^2}{N_{cp}},$$

де t - час кожного вимірювання (з хв);

n - кількість вимірювань (10 вимірювань);

ΣN^2 - сума квадратів окремих значень швидкості рахування імпульсів за 1 хв;

N_{cp} - середнє арифметичне значення швидкості рахування за десятьма вимірюваннями.

Для правильно працюючої установки $\chi^2 \leq 28$.

Контрольні запитання:

1. Дайте поняття радіоактивності.
2. На які види діляться радіоактивні ізотопи ?
3. З чого складається радіоактивне випромінення ?
4. Що являє собою альфа-частинка ?
5. Що являє собою бета-частинка ?
6. Що являє собою гамма-квант ?
7. В яких одиницях вимірюється опромінення ?
8. В чому виражається потужність дози опромінення ?
9. Що розуміють під міліграм-еквівалентом радію ?
10. При яких обставинах відбувається масове радіоактивне забруднення природних середовищ ?
11. Для чого призначена фільтровентиляційна установка ?
12. Скільки разів на добу проводиться вимірювання швидкості повітря, що проходить через фільтр ?
13. Що являє собою вертикальний екран ?
14. Яким приладом чи установкою користуються під час відбору проби радіоактивного випадання ?
15. На якій висоті установлюється бак-збірник ?
16. Для чого призначений горизонтальний планшет ?
17. Як можна перевірити воду з водойм на радіоактивне забруднення ?
18. Чому дорівнює гранична кількість солей кальцію, що знаходиться в воді ?
19. На чому оснований лічильник Гейгера ?
20. Чим ще можна зареєструвати радіоактивне випромінення, крім лічильника Гейгера ?
21. Яким приладом можна зареєструвати електричні імпульси ?
22. Як можна перевірити стабільність роботи установки ?

12. ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ

12.1 Загальні відомості.

Розвиток промисловості і транспорту приводить до збільшення надходження шкідливих речовин в атмосферу. Діючими засобами захисту атмосферного повітря від забруднення є скорочення шкідливих викидів в атмосферу шляхом впровадження безвідходних технологічних процесів, застосування ефективних засобів очищення технологічних газів і деякі інші.

Значне зниження рівня забруднення атмосфери може бути досягнуто спеціальними засобами, які проводяться в періоди несприятливих для розсіювання домішок метеорологічних умов (наприклад, часове зниження об'ємів технологічних газів, які викидаються в атмосферу, використання резервного палива з меншим вмістом шкідливих речовин та ін.). Ефективність застосування різних методів захисту атмосфери від забруднення в значній мірі залежить від оперативності отримання даних про рівень забруднення атмосфери різними домішками.

Шкідливі речовини, які надходять в атмосферу в результаті людської діяльності, можна умовно розділити на основні й специфічні. До основних домішок відносяться: двоокис сірки або сірчистий газ (SO_2), окис вуглецю (CO), двоокис азоту (NO_2) і пил. За оцінками фахівців, щорічно в атмосферу надходить приблизно 150 млн.тонн SO_2 (в основному від спалювання палива), 200-400 млн.тонн CO (приблизно 80 % за рахунок викидів автотранспорту), приблизно 40 млн. тонн окислів азоту тільки за рахунок спалювання палива, приблизно 45 млн. тонн пилу від викидів підприємств і спалювання палива.

До специфічних домішок відносяться сірководень і сірковуглець (викиди підприємств штучного волокна), фтористий водень (алюмінієва промисловість) і деякі інші.

Критерієм оцінки рівня забруднення атмосфери є гранично допустимі концентрації (ГДК), затверджені Міністерством здоровоохорони України. Правила контролю якості повітря населених пунктів визначені ДОСТом.

Мережа служби контролю забруднення атмосфери складається з стаціонарних і рухливих лабораторій.

Стаціонарна лабораторія базується в одному пункті, утворюючи стаціонарний пост, який розміщується в типовому спорудженні (павільйоні) і оснащений апаратурою для відбору проб повітря, вимірювання і реєстрації вмісту певних домішок в атмосфері, а також апаратурою для проведення необхідних метеорологічних вимірювань.

Пересувна лабораторія призначена для забезпечення роботи рухливих постів, які проводять періодичні вимірювання в окремих пунктах, розташованих вздовж певного маршруту (маршрутні вимірювання) і під факелами труб, через які роблять промислові викиди (підфакельні вимірювання). Обладнання рухливих лабораторій забезпечує проведення вимірювань в такому ж об'ємі, як стаціонарні.

Кількість стаціонарних постів в кожному місті (населеному пункті) визначається з врахуванням чисельності населення, площі, рельєфу, розвитку промисловості і транспорту. В крупних містах вони розміщуються з розрахунку один пост на площі приблизно 10-20 км ^{2}, а при складному рельєфі 5-10 км ^{2}. Для кожного поста складається за певною формою описання, яке включає адресу поста, висоту над рівнем моря, характеристику оточуючого району, відстань від найближчих джерел забруднення атмосфери та інші дані

Систематичні спостереження за забрудненням атмосфери основними шкідливими речовинами і специфічними речовинами, які характерні для промислових викидів даного населеного пункту (району) проводяться в 01, 07, 13 і 19 годин декретного часу.

Програма вимірювань установлюється для кожного пункту окремо в залежності від його призначення, місцевих умов і стану забруднення атмосфери.

12.2 Види вимірювань і обладнання.

Стаціонарні вимірювання проводяться стаціонарною лабораторією, обладнаною вимірювальним комплексом «Пост-І», який розміщується в спеціальному павільйоні. Павільйон комплексу «Пост-І» (рис.12.1) складається з металевого каркасу, стінок з термоізольованих матеріалів, що облицьовані з внутрішньої сторони пластиком, а із зовнішньої - декоративними дюралюмінієвими осередками, дерев'яної підлоги,

плоского даху, на якій установлюється щогла з датчиком вітру. Апаратура лабораторії знаходиться всередині павільйону.

Через дах павільйону пропущений повітряний дріт із захисним ковпачком, з'єднаний з розподільною гребінкою всередині павільйону для відбору проб на газові домішки. Відбір проб повітря проводиться на висоті 3-4 м. Всі елементи повітряного дроту і розподільної гребінки виконані з матеріалу, нейтрального до аналізованих домішок. В двох (протилежних) кутах павільйону, на висоті 1,5 м від поверхні землі, є чотири люки, які закриваються кришками. В один з них, в залежності від напрямку вітру, вставляється блок відбору проб на пил і сажу.

В блоці вмонтована труба. Один кінець її, на який одягається фільтротримач з фільтром, виставляється назовні, а інший (всередині павільйону) закінчується гнучким шлангом, який з'єднується через камеру підігрівання з ротаметром. При від'ємних температурах повітря підігрівається в камері підігрівання і підтримується за допомогою терморегулятора при постійній температурі +1°С.

Витрата повітря (л/хв) визначається за рівнем верхнього зрізу поплавка за шкалою ротаметра за допомогою повіркового графіку. У верхній частині ротаметру є муфта, поворотом якої частково або повністю перекривається отвір повітроводу і регулюється витрата повітря у пиловому каналі. Побудником витрати повітря служить пилосос.

Рис.12.1 Вимірювальний комплекс «Пост-І»: 1 - повітрозабірник; 2 – ДПВ; 3 – отвір для забору проб запиленості повітря; 4 – ДТВ.

Реєстрація концентрацій SO_2 і CO проводиться газоаналізаторами. Газоаналізатори приєднуються до розподільної гребінки за допомоги фторопластових трубок.

Вимірювання метеорологічних величин проводяться станцією М-49, пульт керування якої розташовується всередині павільйону.

Датчик швидкості і напрямку вітру станції установлюється на спеціальній щоглі. З'єднувальний кабель від датчика швидкості і напрямку вітру пропущений всередині щогли і проходить через дах павільйону до пульту станції.

Датчики температури і вологості повітря змонтовані на каретці. В неробочому стані датчики розміщені в камері, яка знаходиться на боковій стінці павільйону. Камера теплоізольована від внутрішньої частини павільйону, а зовні має жалюзійні дверці. При вимірюваннях оператор відкриває дверці і висуває каретку з датчиком на 1,5 м від

стінки. Після вимірювань датчики повертаються в початкове положення, а дверці камери зачиняються на засувку за допомогою стального тросика. Температуру і вологість повітря можна також виміряти і за допомогою аспіраційного психрометра, закріпленого горизонтально на спеціальному тримачі на рівні датчиків температури і вологості повітря.

Атмосферний тиск вимірюється барометром-анероїдом МД-49-А.

Електропостачання комплексу «Пост-І», включаючи обігрівання, здійснюється від електромережі напругою 220 В.

Перед початком спостережень (за 5-10 хв до строку) спостерігач (оператор) установлює метеорологічні прилади, скляні поглиначі, фільтри на сажу і пил. При проведенні вимірювань після увімкнення пилососу і електроаспіратора спостерігач регулює швидкість аспірації на кожний інгредієнт. Всі результати вимірювань на стаціонарних постах записують в книжку спостережень.

Маршрутні і підфакельні спостереження проводяться пересувною лабораторією «Атмосфера-ІІ», яка розміщена на автомашині (рис.12.2).

Рис.12.2 Пересувна лабораторія «Атмосфера-ІІ».

Її обладнання аналогічне обладнанню «Пост-І», але розраховане на роботу від автономних джерел живлення і дозволяє розгорнути декілька виносних постів.

Маршрутні спостереження проводять у тих випадках, коли в місті стаціонарних постів недостатньо, або при необхідності більш детального вивчення якого-небудь району міста. Пересувна лабораторія може провести 8-10 відборів проб за одну 8-годинну робочу зміну (звичайно в 4-5 пунктах, по два рази). Враховуючи, що вимірювання на постах

проводяться не одночасно, порядок об'їзду по маршруту періодично (звичайно кожний місяць) змінюється, з тим, щоб забезпечити відбір проб на кожному посту в різні години доби. Порядок і методика вимірювань на маршрутних пунктах аналогічні виконанню їх на стаціонарних пунктах.

Підфакельні вимірювання організовуються при обстеженні окремих промислових підприємств (ГРЕС, ТЕЦ, заводів та ін.) поблизу димових або газових факелів цих підприємств. Мета цих вимірювань – визначити можливі максимальні концентрації і зону розповсюдження домішок від даного промислового джерела. Вимірювання проводяться штатом хімічних лабораторій. Відбір проб повітря робиться послідовно за напрямком вітру на різних відстанях від джерела викидів: 0,2-0,5; 1; 2; 3; 4; 6; 8; 10; 15 і 20 км. Для контролю вимірювань робиться відбір проби і з навітряної сторони на деякій відстані від джерела. Найбільш важливими є вимірювання на відстанях, що дорівнюють 10-40 висотам труб, де потрібно чекати максимальних концентрацій домішок. В цій зоні відбирають 50-60 проб повітря за кожним інгредієнтом. Підфакельні вимірювання проводять у всі сезони року і при різних погодних умовах.

При виконанні під факельних вимірювань дуже важливо установити напрямок розповсюдження факелу і відповідно цього розставити пости. Напрямок факелу визначається візуально за обрисами диму, а якщо факел не видно, то за напрямком вітру (бажано на висоті труб) або за запахом характерного інгредієнту. Відбір проб здійснюється на висоті 1,5 м протягом 20-30 хв, з інтервалом між відборами 10 хв.

При проведенні вимірювань на території міста вибираються 3-5 основних, найбільш потужних джерела і, в залежності від напрямку вітру і зручності розташування пунктів в даний день, обстежується один з них. Відстань від місця відбору проб до джерела викидів визначається по карті або за допомогою дальномірних приладів.

До комплекту обладнання «Атмосфери-II» входять: аспіратор з акумулятором для його живлення, автомобільні аспіратори з реометрами і патронами (2 комплекти), тринога для їх установки, бензоелектроагрегат на шасі, побутовий пилосос та інше допоміжне обладнання. До комплекту лабораторії входять автоматичні газоаналізатори.

Салон автофургона, розділений на два відсіки: приладний і допоміжний. В приладному відсіку розміщені обладнання, прилади для відбору проб повітря і газоаналізатори. У допоміжному відсіку розміщені розподільний щит, кабельні котушки, акумуляторні батареї, тримач патронів для відбору на пил і сажу та інше обладнання.

Прилади і обладнання для відбору проб розміщені на стенді з лівого борту автомашини і в допоміжному відсіку. З'єднувальні трубопроводи газового і пилового каналів через стінки і допоміжний

відсік виводяться через відчинену під час відборів повітря задні дверці. Для відбору вони установлюються на спеціальну раму. Відбір проб на газові домішки може проводитися за двома каналами: вертикальному і горизонтальному. Обидва канали мають загальний обігрівач (для зимового часу).

«Атмосфера-ІІ» має станцію М-49. Датчик швидкості і напрямку вітру монтується на щоглі, яка при вимірюванні установлюється вертикально, а під час руху знаходиться в горизонтальному положенні на даху автолабораторії і датчик вітру убирається в укладальний ящик; датчики температури і вологості повітря монтуються на висувній штанзі. Пульт станції М-49 установлений в салоні.

Прилади і обладнання виносних пунктів (електроаспіратори, акумулятори, газоаналізатори, штативи та ін.) під час роботи установлюються на виносних столиках.

Електроживлення лабораторії забезпечується автономним джерелом живлення (бензоелектричним агрегатом) або від мережі 220 В. Бензоагрегат установлюється на одноосному причепі. При підключенні до лабораторії під час вимірювань він розташовується на відстані 30-40 м від автомашини.

12.3 Відбір проб повітря, опадів і аерозолів.

Кількісний аналіз шкідливих домішок, які присутні в атмосфері, проводиться після їх попереднього концентрування. Для газових домі шків і парів це здійснюється протяганням аналізованого повітря через поглинальні прилади різних конструкцій, наповненні розчинами відповідних реактивів, за допомогою електроаспіраторів. Відбір проб пилу і сажі проводиться на фільтруючі матеріали, закріплені в спеціальних патронах. Для визначення хімічного складу атмосферних опадів проводиться збір опадів, що випали, (окремих або сумарних) за допомогою спеціальних установок.

Об’єм повітря, необхідний для аналізу, залежить від гранично допустимої концентрації даної речовини і чутливості використовуваного методу аналізу.

Для відбору проб на газові інгредієнти використовуються різні поглинальні прилади (рис.12.3). Поглинальні прилади, заповнені відповідними розчинами, за допомогою гумових шлангів приєднують до електроаспіратора (рис.12.4). Для захисту ротаметрів електроаспіратора 1 від бризків розчину з поглинача до вхідних штуцерів електроаспіратора приєднують патрони 4, заповнені силікагелем. Вхідні трубки поглинальних приладів з’єднують з розподільною гребінкою повітряного

каналу відбору проб. При від'ємних температурах повітря в одному з каналів між ротаметром і захисним патроном вставляють трійник 3 з термометром 2 і вмикають обігрівання підвідної трубки.

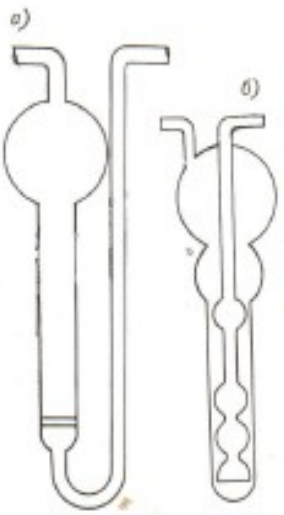


Рис.12.3 Скляні поглинальні прилади: а - U -подібний поглинач з пористою скляною пластинкою; б – прилад Ріхтера.

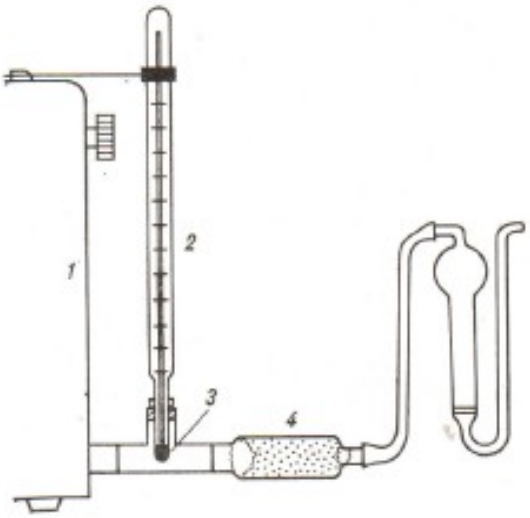


Рис.12.4 Вимірювання температури при відборі проб: 1 – аспіратор; 2 - термометр; 3 – трійник; 4 – патрон захисний.

При увімкненні електроаспіратора установлюють швидкість відбору проби на кожному каналі в залежності від визначуваного інгредієнта (табл.12.1) і вмикають секундомір. В ході відбору необхідно слідкувати за тим, щоб швидкість відбору зберігалася в заданих межах, регулюючи її за допомогою кранів, розташованих під відповідними ротаметрами. По закінченні потрібного часу відбору вимикають електроаспіратори, від'єднують поглиначі, закривають їх заглушками і поміщають в ящик для транспортування.

В деяких випадках промислові аерозолі, що знаходяться в атмосферному повітрі, заважають визначенню окремих газових інгредієнтів. Для очищення повітря від аерозолів перед поглинальним приладом установлюється фільтр (АФА ВП-10 або з тканини ФПП), закріплений в пластмасовому фільтротримачі.

Відбір проб на окис вуглецю робиться в газові піпетки або в газові камери. При відборі один з кінців газової піпетки приєднують до розподільної гребінки, інший – до електроаспіратора. Швидкість протягання повітря повинна забезпечити за час відбору 10-кратну зміну в піпетці. Після відбору кінці піпетки закривають пробками. Відбір проб в

гумові камери проводять поза павільйону. Камеру накачують приблизно до діаметру 20 см, а потім закривають затискачем.

Таблиця 12.1 Характеристики відбору проб на газові інгредієнти

Визначальна речовина	Поглинальний прилад	Швид-кість відбору проби, л/хв	Трива-лість відбору, хв	Діапазон визначальних концентрацій	Строк зберігання, діб
Двоокис сірки	*U* - подібний з 4 %-ним розчином хлорату калію	2 - 4	20	0,1 – 2,5	3 - 5
Двоокис азоту	*U* - подібний з 8 %-ним розчином іодіду калію	0,25	20	0,02 – 0,4	1 - 2
Окис вуглецю	Газова піпетка; Гумова камера	0,25	20	3 – 400	3 - 5 1 - 2
Пил	Фільтр; тканина ФПП-15	250	20	0,1 - 50	Необмеже-ний

Для відбору проб на газові домішки використовуються різні типи електроаспіраторів ПРУ-4, М-114М, ЕА-1, ЕА-2 та ін. Принцип їх дії оснований на прокачуванні атмосферного повітря з певною швидкістю, що перевіряється ротаметрами і регулюється вентилями. Вузли аспіраторів (електродвигун, повітродувка ротаційного типу, шланги гумові для з'єднання ротаметрів) звичайно змонтовані на металевому шасі і поміщені в корпус. На передній панелі корпусу аспіраторів розташовані ротаметри (скляні трубки з поплавками), ручки вентилів ротаметрів (для регулювання витрати повітря), штуцери для приєднання гумових трубок із запобіжними патронами або поглиначами, запобіжний клапан для запобігання перевантаження електродвигуна при відборі проб повітря з малими швидкостями (ПРУ-4 його не має), тумблер увімкнення приладу, запобіжник, вхідна колодка для увімкнення приладу в мережу.

Добрі якості має розроблений в НДІ ГМП аспіратор АЖН2.840.000 ПС (М-114), який складається з водозабірника з реометром або манометром, фільтротримач, двох блоків реометрів по чотири канали в кожному і пилососу. Універсальний повітрозбірник

виконаний з двох взаємно перпендикулярних труб різного діаметра для одночасного відбору проб на газові інгредієнти і пил. В трубі меншого діаметра з однієї сторони установлений ежектор, який створює необхідне розрідження в газових каналах. Регулювання проходження повітря в пиловому каналі здійснюється за допомогою повороту втулки ежектора. В трубі великого діаметра, з протилежного ежектору кінця установлюється фільтротримач. В передньому перерізі труби є вимірювальна діафрагма, по обидві сторони якої знаходяться два штуцери для вимірювання перепаду тиску за допомогою диференційних манометрів. Об'ємна швидкість повітря в газових каналах визначається за допомогою восьми ротаметрів, розташованих в двох блоках.

Ротаметри повинні бути повірені й мати повірочне свідоцтво, але при експлуатації їх регулярно перевіряють й регулюють. Для цього використовується лабораторна установка (рис.12.5).

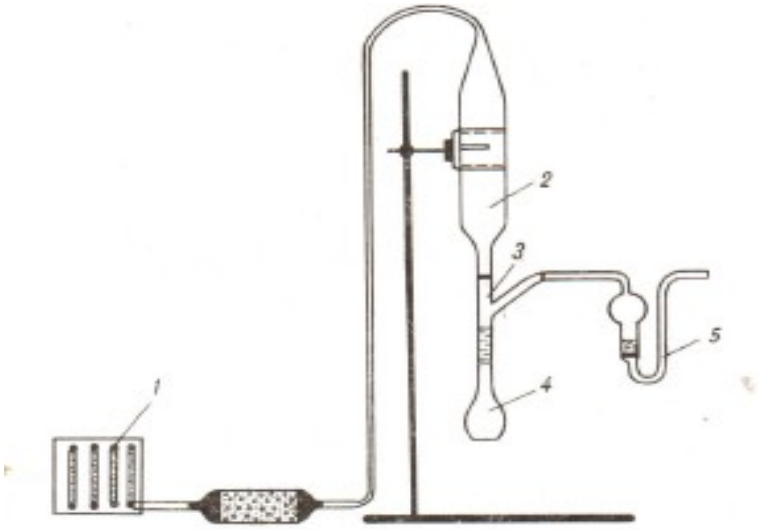


Рис.12.5 Установка для повірки шкал ротаметрів електроаспіраторів: 1 – електроаспіратори; 2 – калібрувальна газова піпетка; 3 – трійник; 4 – гумова груша; 5 – поглинальний прилад.

В поглинальний прилад 5 наливають 6 мл дистильованої води, приєднують його до трійника 3, вмикають електроаспіратор 1 і стискаючи грушу 4, видавлюють трохи розчину (5-10 %-ний розчин будь-якої миючої речовини) до рівня розгалуження трійника. Утворені мильні плівки затягуються повітряним потоком в піпетку 2. Газова піпетка в установці відкалібрована і на ній нанесені мітки 0,05 і 1,0 л. На перевіреному ротаметрі установлюють потрібну швидкість і по секундоміру відмічають час проходження мильної плівки від мітки до

мітки. При цьому витрати на інших ротаметрах за цей час повинні відповідати приблизно двом третинам їхніх шкал. Перевірку в залежності від меж шкали ротаметрів бажано провести за точками близькими до вказаних в табл.12.2. За отриманими даними складають градуйовану таблицю. Якщо дані цієї таблиці відрізняються від даних перевірочної, ротаметр потрібно промити і знову перевірити.

Таблиця 12.2

Межі шкали, л/хв	Основні провірені точки, л/хв			
0 – 1	0,25	0,5	1,0	-
0 – 2	0,25	0,5	1,0	2,0
0 – 3	0,5	1,0	2,0	3,0
0 – 5	1,0	2,0	3,0	4,0

Відбір середньодобових проб повітря проводиться на одному з стаціонарних постів в місті або при лабораторії. Установка для відбору складається з поглинального приладу газового лічильника або автоматичного регулятора швидкості протягування повітря і побудника проходження, розрахованого на безперервну роботу (рис.12.6).

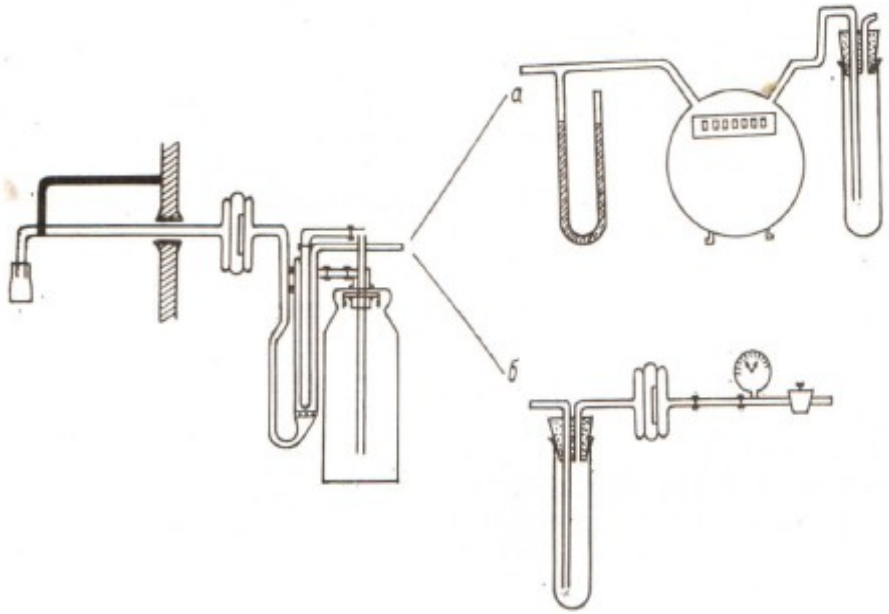


Рис.12.6 Установка для відбору середньодобових проб з газовим лічильником (а) і з критичним соплом (б).

Поглинальний прилад через перехідник приєднується до газового лічильника ГСБ-400, до вихідного отвору якого приєднується бризкоуловлювач і побудник витрати (водоструменевий насос, типу ПР-7 або мікрокомпресор). Установку можна зібрати також з використанням так званого критичного сопла як регулятора витрати повітря (б). Стабілізація швидкості повітряного потоку у цьому випадку відбувається автоматично за допомогою сопла з товстостінних капілярних трубок або медичних голок, що працюють в критичному режимі, який створюється після капіляру при вакуумі більше 0,6 атм. за допомогою вакуумного насосу. Для контролю вирішення служить вакуумметр (будь-якої марки). Перед капіляром установлюється система очищення (бризкоуловлювач і фільтр АФА-В-10). Проходження повітря через критичні сопла залежить від їх діаметру і довжини. Перед використанням кожне сопло калібрують за допомогою газового лічильника ГСБ-400 при швидкостях 0,35-5,00 л/хв або плівкового витратоміра при швидкостях 0,02-2,00 л/хв.

Для відбору середньодобової проби поглинальний прилад приєднують до штуцера повітрозбірного пристрою на 24 години. Через 24 години установку вмикають, поглинальний прилад закривають заглушками і відправляють в хімічну лабораторію на аналіз.

Відбір проб для визначення концентрацій аерозолів проводиться на спеціальні фільтруючі матеріали, які закріплені у фільтротримачах. Протягування повітря крізь фільтр робиться зі швидкістю до 280 л/хв при опорі фільтру і повітроводу до 1100 мм вод.ст. За наявності електроживлення використовуються побутові пилососи. В польових умовах використовується автомобільний аспіратор.

Автомобільний аспіратор складається з Т-подібної трубки, реометру, фільтротримача і насадки (рис.12.7).

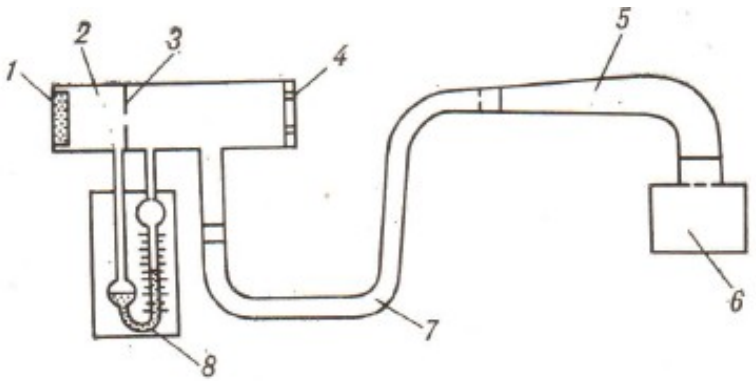


Рис.12.7 Автомобільний аспіратор: 1 – втулка; 2 – Т-подібна трубка; 3 – діафрагма; 4 – засувка; 5 – косинець; 6 – карбюратор; 7 – шланг; 8 – реометр.

На передньому кінці Т-подібної трубки є втулка для установки фільтротримача. На протилежному кінці – два отвори і рухлива засувка, які служать для регулювання проходження повітря через фільтр. В середній частині трубки є два штуцери для приєднання реометра. Всередині трубки між штуцерами установлена діафрагма для створення перепаду тиску. До повітряного насосу аспіратор підключається за допомогою конічного патрубка.

За допомогою реометра вимірюється швидкість втягнення повітря (л/хв). Конструктивно реометр складається з дерев'яного футляру, скляної U - подібної трубки і шкали. Реометри таруються і використовуються тільки в парі з аспіратором. Фільтротримач складається з корпусу, притискного кільця, сітки, зовнішньої гайки і гумової прокладки. Для визначення концентрацій пилу використовується два типи фільтротримачів - для фільтрів з робочою площею 37 см ^{2} (фільтри з тканини ФПП) і 40 см ^{2}.

Для зменшення впливу вітру на швидкість втягнення повітря на фільтротримач одягається насадка. Вона складається з чотирьох конусів (з діаметрами вхідних отворів 55, 45, 35 і 25 мм), які вставляються послідовно.

При відборі аерозолів необхідно забезпечити чистоту робочого місця і всіх деталей, які мають контакт з фільтром, особливо при визначенні хімічного складу аерозолів.

Перед відбором проб попередньо зважений в лабораторії фільтр закріплюють у фільтротримачі з насадкою діаметром вхідного отвору в залежності від швидкості вітру і відбору проб (табл.12.3).

Таблиця 12.3 Діаметр (мм) вхідного отвору конусної насадки при різних значеннях швидкості вітру і відбору проб

Швидкість відбору повітря, л/хв	Швидкість вітру, м/с					
	1,0-1,9	2,0-2,9	3,0-3,9	4,0-4,9	5,0-5,9	6,0-6,9
280*	55	55	45	35	35	25
250**	55	45	35	35	35	25
200	55	45	35	35	25	25
150	45	35	35	25	25	25

Далі вмикають пилосос і секундомір, і установлюють необхідну швидкість аспірації (яка контролюється і за необхідності регулюється). Через 20 хв вимикають пилосос, вилучають фільтр, складають його

вчетверо запиленою поверхнею всередину і поміщають в занумерований пакет.

При визначенні хімічного складу аерозолів користуються пресованими фільтрами з тканини ФПП-15.

Збір проб атмосферних опадів. Вміст розчинених речовин в опадах невеликий (порядку міліграма і навіть частки міліграма на літр води). У зв'язку з цим пред'являються особливі вимоги до збору, зберігання і визначенню хімічного складу опадів.

Хімічний склад атмосферних опадів визначають звичайно в хімічній лабораторії. Основними визначальними компонентами є: сульфати, хлориди, нітрати й аміак, метали (кальцій, магній, натрій, калій), лужність (або кислотність), електропровідність і pH.

На метеорологічних станціях проводять тільки збір атмосферних опадів, а на аналіз їх пересилають в хімічну лабораторію. В залежності від установленої програми збираються сумарні місячні проби (що включають всі опади, які випали протягом місяця) і одиничні проби опадів (окремі дощі і снігопади). Звичайно на гідрометеорологічній мережі збираються сумарні проби.

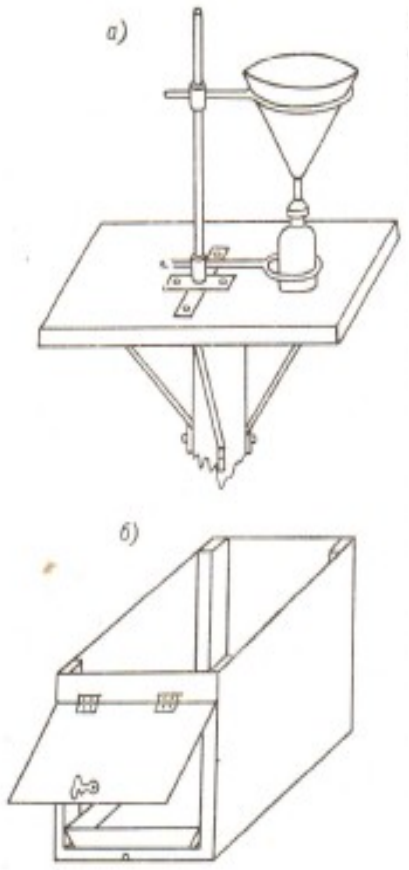
При зборі, зберіганні і транспортуванні проб атмосферних опадів потрібно виключити можливість забруднення.

Збір проб рідких опадів здійснюється за допомогою емальованих, скляних або поліетиленових лійок в поліетиленові колби, які доставляють на станцію з хімічної лабораторії закритими і пронумерованими. На лійку одягають захисну кришку, що перешкоджає попаданню опадів, які стікають по зовнішній стороні лійки, в колбу. Лійка входить в колбу, а захисна кришка прикриває її горловину. Колби установлюються на дошці, закріпленій на стовпчику (рис.12.8, а) за допомогою спеціального штатива. На станціях, де проводиться збір сумарних і одиноких проб опадів, установлюють дві лійки різного діаметру і дві поліетиленові колби.

На початку випадання рідких опадів спостерігач швидко виносить лійку в поліетиленовому мішку і колбу для збору опадів на метеорологічну площадку і установлює їх на весь період випадання дощу. Після закінчення дощу колбу і лійку забирають з площадки і переносять до приміщення. Лійку обполіскують дистильованою водою, закривають кришкою, укладають в чистий поліетиленовий мішок і убирають в шафу. Зібрані опади переливають в колбу ємністю 500 мл або 1000 мл, призначену для зберігання сумарних місячних проб.

Для збору проб твердих і змішаних опадів застосовуються емальовані або пластмасові кювети розміром 30×40 см і висотою 3-5 см, що присилаються на станцію в хімічно чистих поліетиленових мішках, в яких вони і зберігаються на станції. При зборі твердих опадів замість

штативів на дошці стовпа установлюють вітровий захист (рис.12.8, б), - ящик без кришки з боковою стінкою, що відчиняється (у вигляді дверцят на петлях).



При випаданні твердих опадів дверці відчиняють і всередину на дно ящика ставлять кювету для збору опадів. При одночасному зборі сумарних і одиноких проб установлюють дві кювети (для сумарних і одиноких проб). Після закінчення випадання снігу кювету, закривши кришкою, переносять до приміщення. Після танення снігу воду з кювети переливають в колбу.

Для транспортування, зберігання чистої посуди і зібраних проб застосовуються спеціальні ящики, в яких передбачене місце для шести колб ємністю 500 мл або для чотирьох колб ємністю 1000 мл.

Рис.12.8 Установка для збору проб атмосферних опадів в теплий (а) і холодний (б) періоди.

Метеорологічні спостереження. При відборі проб повітря вимірюють швидкість і напрямок вітру, температуру і вологість повітря, атмосферний тиск (тільки в лабораторії «Пост-І»), відмічають атмосферні явища.

Також проводяться спостереження за формою димового факела і оцінюється прозорість диму. Форма факела відмічається шифром (табл.12.4).

Прозорість диму оцінюється за шкалою, яка складається з шести квадратів різної «чорноти»: від № 5 – самий чорний до № 1 – самий світлий (0 - біле поле), що відповідає 0, 20, 40, 60, 80 і 100 % прозорості.

Утримуючи шкалу на витягнутій руці, спостерігач вибирає квадрат найбільше відповідає ступеню чорноти диму на виході з труби.

Таблиця 12.4 Характеристика форми факела

Шифр	Форма факела	Характеристика факела
1		Факел має хвилеподібну форму з нестійкими обрисами. Клуби диму то високо піднімаються вверх, то опускаються до землі. Зустрічається вдень при додатному градієнті температури і помірній швидкості вітру.
2		Факел горизонтальний поверхні, незначно розширюється мірою віддалення від труби. Характерний для вечірнього часу при градієнті температури, близькому до нульового, і помірній швидкості вітру.
3		Дим піднімається вертикально вверх і майже рівномірно розтікається у всі сторони. Характерний для літнього сезону вдень при слабкій швидкості вітру.
4		Факел має Г-подібну форму: дим спочатку піднімається вертикально, а потім зміщується горизонтально за вітром. Характерний для нульового або від'ємного градієнту температури при штилі.
5		Факел спочатку направлений під кутом до горизонту, а потім зміщується горизонтально за вітром. Характерний для нульового або від'ємного градієнту температури при слабкій швидкості вітру.

12.4 Реєстрація концентрацій забруднювачів атмосфери.

Описані методи відбору і аналізу проб повітря не дозволяють організувати оперативний контроль забруднення атмосфери, оскільки інформація про концентрації домішок виходить через 12 – 24 год після відбору проб. Крім того, вони зв'язані з великими затратами праці і не завжди дають об'єктивні дані.

Автоматичні безперервно діючі газоаналізатори дозволяють безперервно отримувати більш достовірну інформацію, яка зразу ж може бути передана зацікавленим організаціям.

Застосовується декілька типів газоаналізаторів, що реєструють.

***Газоаналізатор* ГКП-1** складається з датчика, пульту і реєстратора, і служить для безперервної реєстрації концентрацій SO_2 в атмосферному повітрі (рис.12.9). Оснований на полярографічному принципі.

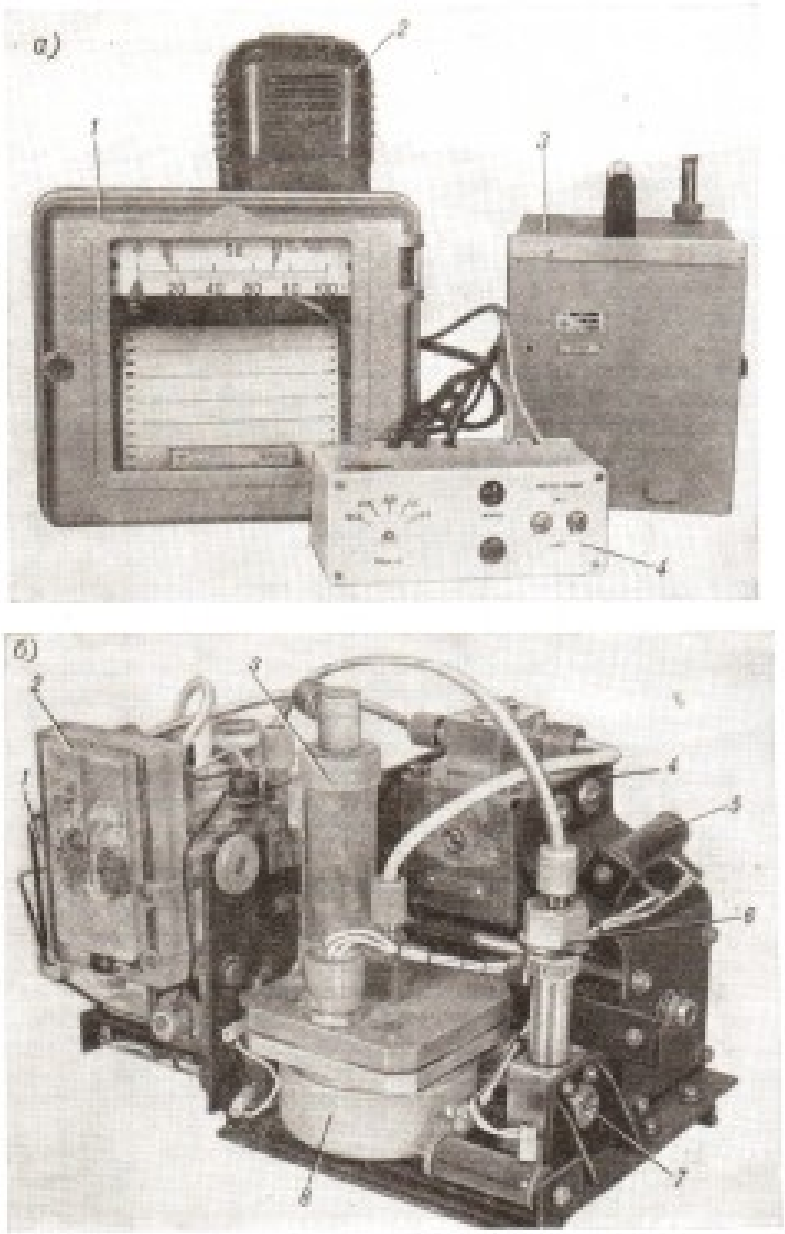


Рис.12.9 Газоаналізатор на сірчистий газ ГКП-1: а – комплект : 1 – реєстратор; 2 – стабілізатор; 3 – датчик; 4 – пульт; б – датчик без кожуха : 1 – осередок; 2 і 3 – фільтри грубої і тонкої очистки; 4 – насос; 5 – обігрівач; 6 – газовий фільтр ФГ-6; 7 – вхід; 8 – регулятор витрати газу.

Визначення концентрації SO_2 основане на вимірюванні сили струму, який виникає при окисленні на платиновому електроді йодистого водню. Останній утворюється при взаємодії сірчистого газу з йодом:

$$SO_2 + I_2 + H_2O \xrightarrow{2e} 2\,HI + SO_3 .$$

Реакція відбувається у вимірювальній камері електрохімічного осередку, який містить кристалічний йод, через який проходить аналізоване повітря. Електричний струм, що протікає, при цьому по зовнішньому ланцюгу є мірою концентрації SO_2. Концентрація SO_2 безперервно реєструється на діаграмній стрічці самописного потенціометра.

Блоки газоаналізатору з'єднуються за допомогою кабелю. Забір аналізованого повітря здійснюється через забірний пристрій на кришці датчика або через зовнішню забірну лінію з скляної або фторопластової трубки діаметром 4-8 мм.

Всередині корпусу датчика розташована висувна каретка, на якій і змонтовані всі його блоки. Каретка закріплюється в корпусі двома пружними фіксаторами. Електричне єднання із зовнішніми ланцюгами здійснюється через штепсельне гніздо і дві колонки на задній стінці корпуса датчика. Датчик складається з чотирьох основних вузлів – системи забору і очищення повітря, електрохімічного осередку, системи підтримання проходження повітря і системи термостатування.

<u>Система забору і очищення повітря</u> від пилу складається із забірного пристрою, протипилового фільтру ФГ-6 і двох з'єднувальних фторопластових трубок. Стиковка забірного пристрою ФГ-6 здійснюється за допомогою штуцера. При використанні зовнішньої забірної лінії замість забірного пристрою на вхід датчика прикріплюється перехідний штуцер, що знаходиться в комплекті запасних частин до газоаналізатору. Аналізоване повітря при роботі приладу проходить послідовно забірний пристрій, фільтр ФГ-6 і по з'єднувальній трубці надходить до вимірювальної камери електрохімічного осередку.

<u>Електрохімічний осередок</u> являє собою конструкцію з органічного скла. Він має чотири камери: вимірювальну, дві порівняльні і ємність для запасного електроліту. Дві порівняльні камери відокремлені від вимірювальної іонообмінними мембранами, які пропускають тільки позитивно заряджені іони. Всередині вимірювальної камери розташований платиновий вимірювальний електрод. Він закріплюється зовні гайкою і має зверху штуцер для з'єднання з лінією, що підводить газ. Під вимірювальним електродом є порожнина, в яку засипається зовні по спеціальному каналу кристалічний йод. У вимірювальну камеру і

камеру запасного електроліту заливається 3 %-ний розчин сірчаної кислоти і засипається кристалічний йод. В камери порівняння заливається 5 %-ний розчин сірчаної кислоти і засипається електродна суміш, складена з порошків активованого піролюзиту й вугілля, взятих у співвідношення 1:4 за об'ємом.

Аналізоване повітря, яке пройшло через забірний пристрій і протипиловий фільтр, попадає до вимірювальної камери, де сірчистий газ реагує з йодом, утворюючи йодистий водень. При певній різниці потенціалів між вимірювальним і порівняльним електродами молекули йодистого водню окисляються на поверхні вимірювального електроду, і у зовнішньому ланцюгу протікає струм, пропорційний кількості сірчистого газу. З вимірювальної камери повітря проходить до камери запасного електроліту, очищується фільтрами і викидається назовні.

Система підтримання проходження повітря через прилад забезпечує безперервний забір і протягування через електрохімічний осередок постійної кількості повітря за одиницю часу (50 ± 4 л/хв). Система складається з фільтрів грубого і тонкого очищення, сигналізатору проходження газу СРГ-5, побудника проходження ПРГ-4 і схеми керування.

Фільтри грубого очищення призначені для очищення повітря, яке пройшло через осередок, від парів йоду і кислоти. Сигналізатор проходження газу СРГ-5 служить для підтримання постійного проходження повітря. Побудник проходження ПРГ-4 є газовим мембранним насосом. Проходження газу змінюється у відповідності з керованими сигналами від СРГ-5, які надходять до схеми керування роботою побудника проходження.

Система термостатування забезпечує підтримання всередині датчика постійної температури 18-20°С при роботі в холодний період. Обігрівач складається з п'яти скляних опорів. Температура контролюється терморезистором, увімкненим в одне з плечей мостової схеми.

Керування газоаналізатором здійснюється через пульт. На лицьовій панелі пульту розташовані: ручки увімкнення приладу, термостатування датчика, перемикач діапазонів вимірювання, лампочка, що сигналізує про критичне проходження газу, запобіжний і перемикач діапазонів.

Межі вимірювань газоаналізатору ГКП-1 0,15-19,0 мг/м ^{3}, але він може перемикатися для реєстрації з верхніми межами 1,25 і 10 мг/м ^{3}.

Датчик ГКП-1 працездатний при температурі навколишнього середовища від -30 до +50°С. Основна похибка вимірювань 15 %.

При тривалій роботі газоаналізатора ГКП-1 періодично перевіряють роботу окремих вузлів і контролюють градуювання. Для цієї

мети служать контрольні пристрої: фільтр для перевірки «нуля» приладу, витратомір, дозатор SO_2.

Фільтр установлюється на вхід аналізатора і служить для перевірки точки «нуля» приладу, через те, що прилад має початковий струм, який може змінитися часом. Зсув «нуля», якщо він виявляється, визначається і враховується під час розрахунку концентрації SO_2. як фільтри використовуються фільтрувальні коробки аналогічні тим, які застосовуються в протигазах (ГП-4У, ГП05, МО-14) або трубка довжиною 20-30 см, наповнена гранульованим активованим вугіллям.

Витратомір контролює проходження повітря через газоаналізатор. Він повинен мати повірочне свідоцтво.

Дозатор SO_2 перевіряє правильність показань приладу. Він являє собою джерело SO_2 постійної концентрації. Дозатори виготовляються в хімічній лабораторії і повинні мати паспорт.

Щомісячно проводиться перезарядка іонних осередків, фільтру грубого очищення, а один раз на три місяці – фільтру тонкого очищення і промивка повітрезабірних ліній.

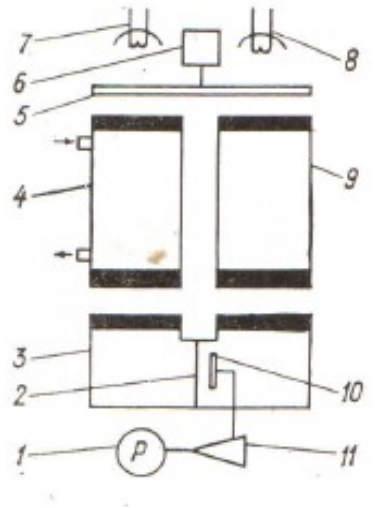
При обробці стрічок із записами концентрацій SO_2 визначають лінію «нуля», проводять розмітку часу, визначають середні значення за 20 хв і максимальні концентрації, а також час появи і тривалість вмісту у повітрі концентрації SO_2 вище ГДК. Потім вводять поправки на зміщення «нуля» і результати записують.

Реєстрація концентрації окису вуглецю в атмосферному повітрі. Для здійснення постійного контролю концентрації СО найбільш придатні спектроскопічні газоаналізатори, основані на методі якісного й кількісного аналізу СО за інтенсивністю поглинання ним інфрачервоної (ІЧ) радіації (СО поглинає в області 4660 нм). Найбільше розповсюдження мають оптико-акустичні газоаналізатори з диференційною оптичною схемою. Вони забезпечують необхідну точність вимірювань малих концентрацій, стійко працюють в процесі тривалої безперервної експлуатації і тому можуть бути застосовні як для установки в окремих контрольних пунктах, так і в широкій системі контролю рівня забруднення повітря.

Оптико-акустичні газоаналізатори з диференційною вимірювальною схемою містять два випромінювача ІЧ радіації 6, 7 (рис.12.10). Потік радіації кожного направляється по одному з двох паралельних каналів. Канали містять ідентичні кювети 4, 9 з прозорими (для ІЧ радіації) вікнами і закінчуються прозорими вікнами прийомних об’ємів оптико-акустичного перетворювача 3.

Оптико-акустичний перетворювач 3 являє собою герметичну камеру, наповнену СО і розділену мембраною 2 на дві однакові частини. Мембрана разом з нерухомою пластинкою 10 утворює конденсатор,

названий конденсаторним мікрофоном. При попаданні через вікна перетворювача ІЧ радіації СО нагрівається, поглинаючи її, в результаті цього підвищується тиск в обох частинах камери. Якщо потоки радіації через обидва вікна однакові і однакові тиски з обох сторін мембрани, то мембрана залишається нерухомою. Якщо ж потоки відрізняються за інтенсивністю і тиск по обидві сторони мембрани стає різним, то мембрана деформується пропорційно різниця тиску.



Через кювету 4, що зветься робочою, прокачується досліджуване повітря, а порівняльна кювета 9 заповнена азотом (який ІЧ радіацію не поглинає).

Рис.12.10 Схема оптико-акустичного газоаналізатору: 1 – вимірювальний прилад; 2 – мембрана; 3 – оптико-акустичний перетворювач; 4 і 9 – робоча і порівняльна кювети; 5 – диск модулятора; 6 – мотор модулятора; 7 і 8 – ІЧ випромінювачі; 10 – пластинка; 11 – підсилювач.

Якщо в аналізованому повітрі СО відсутнє, то в робочій кюветі ІЧ радіація не поглинається, і тому інтенсивність обох (модульованих) потоків радіації, що попадають до оптико-акустичного перетворювача, однакова.

Рівні і амплітуди пульсації тиску по обидві сторони мембрани, тому мембрана залишається нерухомою. Якщо ж у досліджуваному повітрі міститься СО, то потік радіації, що проходить через нього, ослабне (поглинання радіації пропорційне концентрації СО) і викликані ним пульсації тиску в камері перетворювача будуть менші, ніж пульсації, викликані неослабленим потоком, що надходить через другий канал. В результаті мембрана почне коливатися з частотою 5 Гц і амплітудою, пропорційній концентрації СО. Ці коливання за допомогою ємнісного моста перетворюються в електричні сигнали, які підсилюються, коректуються і перетворюються в напругу постійного струму, пропорційну концентрації СО. Ця напруга подається на вимірювальний і реєструючий прилади зі шкалами в одиницях концентрації СО.

У повітрі завжди є водяна пара і може міститься двоокис вуглецю, область поглинання яких співпадає з областю поглинання СО. Тому для виключення помилок вимірювання досліджуване повітря до подачі в робочу кювету пропускається крізь поглиначі водяної пари і в обох каналах установлюються фільтрові кювети, наповнені CO_2.

Серійний оптико-акустичний газоаналізатор ГМК-3 дозволяє вимірювати і реєструвати СО в трьох межах: 0-40, 0-80 і 0-400 мг/м ^{3}, з похибкою 10 % (рис.12.11).

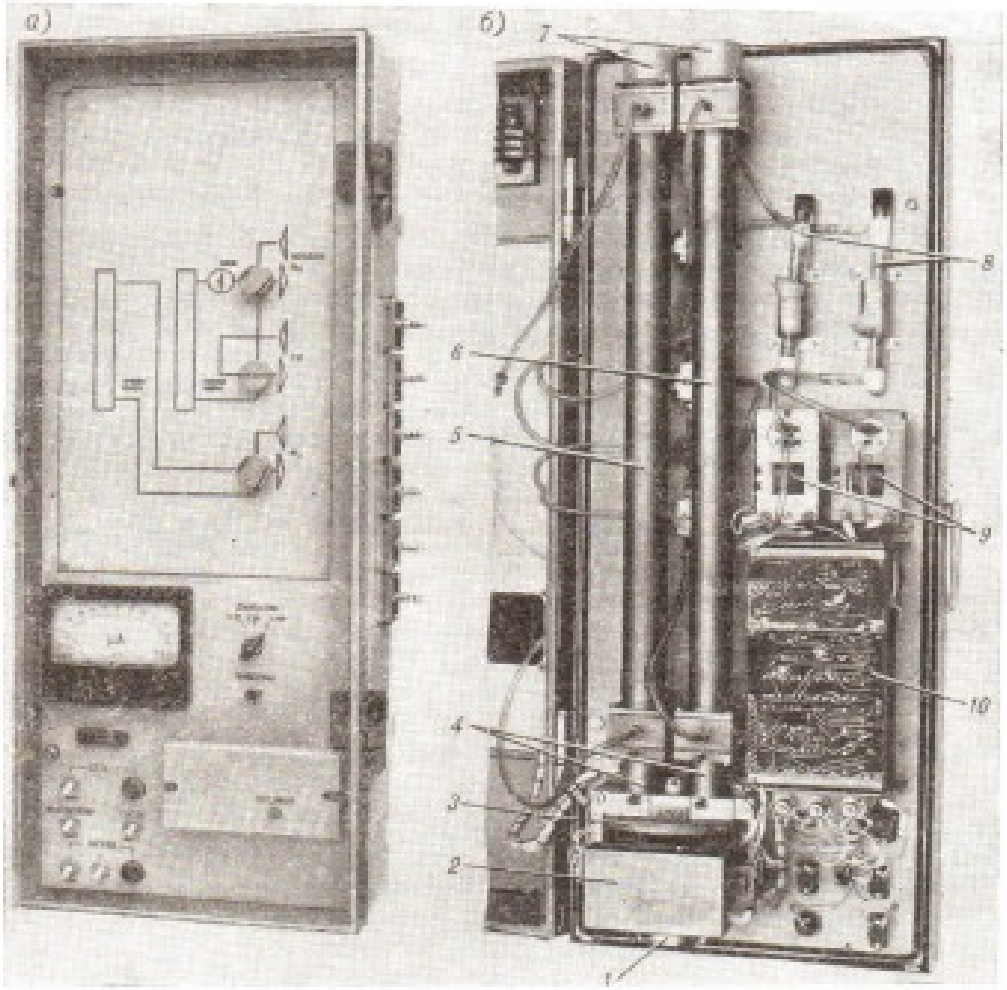
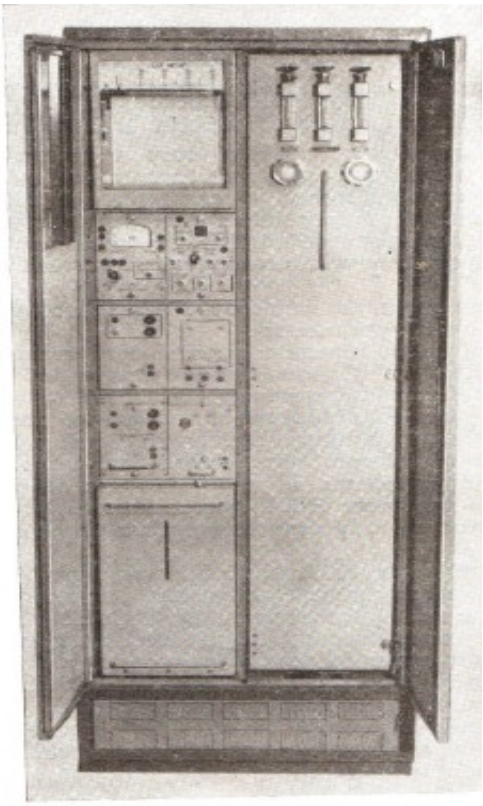


Рис.12.11 Газоаналізатор ГМК-3 на окис вуглецю: а – зовнішній вигляд; б – вузли газоаналізатору; 1 – мотор; 2 – оптико-акустичний перетворювач; 3 – диск модулятора; 4, 5 і 6 – кювети:фільтри CO_2, робоча, порівняльна; 7 – ІЧ випромінювачі; 8 – поглиначі водяної пари; 9 – насоси; 10 – блоки електроніки.

ГМК-3 змонтований в металевому корпусі. На лицьовій панелі знаходяться ручки розподільних газових кранів. Тут же на поверхні панелі нанесена схема увімкнення ланцюгів газоводів. Нижче розміщені вимірювальний прилад, рукоятки керування (переключення діапазонів, регулювання чутливості, увімкнення насосів, систем обігрівання). На правій боковій стінці розташовані штуцери вводу і виводу аналізованого

повітря, азоту і окису вуглецю. На внутрішній стороні лицьової панелі (рис.12.11, б) змонтовані основні вузли аналізатору, всередині корпусу знаходиться вентилятор з електронагрівачем, який вмикається термоконтактором при зниженні температури нижче норми. Реєстрація концентрації СО робиться автоматичним потенціометром, який підключається до аналізатора. ГМК-3 потребує частого регулювання.

Більш удосконаленим газоаналізатором є ГІАМ (рис.12.12).



Це достатньо складна установка, що забезпечує вимірювання концентрації СО в діапазонах 0-40, 0-80, 0-400 мг/м ^{3} з похибкою 5 %. Вона змонтована в металевій шафі (стояку). Маса установки складає 250 кг.

ГІАМ містить блоки автоматичного настроювання, корекції показань, видачі і прийому команд, автоматичного керування і реєстрації. Досвід експлуатації ГІАМ ще недостатній для повної оцінки його якостей.

Рис.12.12 Газоаналізатор ГІАМ.

Автоматизація контролю рівня забруднення повітря. Система окремих постів, які вимірюють шкідливий вміст домішок у повітрі, не може повністю задовольнити вимоги служби контролю забруднення особливо у великих містах. Тому розроблюються і створюються автоматизовані системи контролю забруднення повітря – АСКЗП, які забезпечать оперативне отримання даних про забруднення з необхідної кількості пунктів, збір і аналіз цих даних, прийняття рішень і, у випадку необхідності, видачу рекомендацій про міри із зниження рівня забруднення, а також контроль виконання рекомендацій і оцінку ефективності їх проведення. Проектування АСКЗП для деяких крупних міст і промислових центрів знаходяться на стадії завершення.

АСКЗП за структурою аналогічна іншим автоматичним системам контролю і керування.

АСКЗП крупного міста складається з мережі контрольно-вимірювальних станцій (КВС), зв'язаних з центром збору, обробки і розповсюдження інформації (ЦЗОРІ). Лінії зв'язку системи базуються на основі ліній телефонної мережі.

КВС містить датчики шкідливих домішок і деяких метеорологічних величин, перетворювачі, деякі прийомо-керувальні пристрої і пристрої передачі інформації.

ЦЗОРІ – містить ЕВМ, клерувальні пристрої, пристрої прийому і розповсюдження, реєстрації і зберігання інформації.

АСКЗП працює за заданою програмою, автоматично варіруємою в залежності від рівня забруднення повітря і метеорологічної обстановки. В АСКЗП передбачена можливість вводу даних, отриманих рухливими контрольними лабораторіями (в результаті маршрутних і під факельних вимірювань). Надалі АСКЗП буде зв'язана з територіальним центром обробки і аналізу інформації про рівні забруднення по регіону. Видимо, ці територіальні центри будуть складовою частиною територіальних і регіональних обчислювальних центрів.

Контрольні запитання:

1. Дайте поняття ГДК.
2. Що відносять до специфічних домішок ?
3. З чого складається мережа служби контролю забруднення атмосфери ?
4. Для чого призначена пересувна лабораторія ?
5. Яким розрахунком користуються під час розміщення постів ?
6. Як проводяться стаціонарні вимірювання ?
7. Яким приладом вимірюють метеорологічні величини ?
8. Де установлюється датчик швидкості і напрямку вітру ?
9. Яким приладом вимірюють атмосферний тиск ?
10. Що являє собою пересувна лабораторія «Атмосфера –II» ?
11. У яких випадках проводять маршрутні спостереження ?
12. Коли проводять підфакельні вимірювання ?
13. Що входить до комплекту обладнання «Атмосфери –II» ?
14. Чим користуються під час відбору проб на газові інгредієнти ?
15. На чому оснований принцип дії електроаспіраторів ?
16. Як проводиться відбір проб для визначення концентрацій аерозолів ?
17. Як на метеостанціях проводять збір атмосферних опадів ?
18. Для чого призначений газоаналізатор ГКП-1 ?
19. Як працює оптико-акустичний газоаналізатор ?
20. В яких межах ГМК-3 вимірює і реєструє СО ?

13. ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ АТМОСФЕРИ ЗА ДОПОМОГОЮ ДИСТАНЦІЙНИХ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СТАНЦІЙ.

13.1 Загальні відомості про дистанційні методи вимірювань метеорологічних елементів.

Дистанційні метеорологічні станції (ДМС) і автоматичні метеорологічні станції (АМС) широко застосовуються для отримання метеорологічної інформації.

ДМС - це установка (можливо і система), що забезпечує вимірювання метеорологічних величин, формування і розповсюдження метеорологічної інформації головним чином за допомогою дистанційних способів вимірювання і керування, в об'ємі, необхідному для даного інформаційного осередку (станції, поста і т.д.). Таким чином, ДМС, як і нині діючі станції, які використовують прилади місцевої дії, повинні бути різних типів і розрядів.

В існуючих ДМС кількість вимірюваних величин обмежено головним чином, через відсутність первинних перетворювачів, придатних для створення відповідних датчиків дистанційної дії. Окремі величини (наприклад, атмосферний тиск) не потребує дистанційного вимірювання. Тому інформація від ДМС часто поповнюється інформацією, що отримується за допомогою інших вимірювальних засобів або за візуальними спостереженнями. Незалежно від останніх обставин формування інформації за допомогою ДМС та її розповсюдження завжди здійснюються за допомогою оператора (спостерігача). Тому ДМС є ергономічною системою (системою, одним з осередків якої є людина).

ДМС дозволяє значно прискорити процес вимірювань метеорологічних величин в службовому приміщенні, вивільнюючи оператора від обов'язкового виконання багатьох простих операцій безпосередньо в точках вимірювань (на метеорологічній площадці). Таким чином, ДМС підвищує оперативність інформаційного осередку метеорологічної служби і покращує умови праці. Крім того, при використанні ДМС спрощується контроль єдності вимірювань в часі, через те, що всі вимірювання виконуються практично одночасно (протягом 1-2 хв).

Зараз є два типи ДМС – наземна М-49, що отримала вельми широке розповсюдження, і ГМ-6, що установлюється на судах. Обидві станції розроблені в 50-х роках і не зазнавали серйозної модернізації. Кількість вимірюваних ними величин обмежена.

АМС – це метеорологічна вимірювально-інформаційна система. Випущені АМС за характером використовуваних ліній зв'язку можна розділити на дві групи: з радіозв'язком і дротовими лініями зв'язку.

Автоматична радіометеорологічна станція **(АРМС)** призначена для передачі інформації про метеорологічну обстановку в місці, де станція установлена, по радіо і застосовується в ГМС ще з 30-х років. Починаючи з перших зразків ці станції будувалися, виходячи з вимог забезпечення їх автоматичної роботи (без обслуговування) протягом тривалого часу (біля року). Вони установлювалися у важкодоступних районах – в Арктиці, високо гірських пунктах і т.д.

АРМС працюють по заздалегідь заданою програмою в установлені часи. Були виготовлені декілька АРМС, які діяли і за радіозв'язком. На цей час є АРМС різного призначення і розряду (з різним об'ємом виданої інформації): наземна станція М-106; льодяна станція, що установлюється на дрейфуючих льодах; радіовітромір, установлений на заякореному буйку на водоймах та ін.. Прийом інформації, що передає АРМС, проводиться радистом за допомогою радіоприймача на слух або реєструючи ми пристроями; прийнята інформація оброблюється і передається споживачам, так же як і інформація від інших станцій.

АМС з дротовими лініями зв'язку почали застосовуватися в 60-ті роки. На цей час є АМС декількох видів і різного походження. АМС автоматично проводить вимірювання багатьох величин, обробку результатів цих вимірювань, формують і передають інформацію у зручному для споживачів вигляді.

АМС - достатньо складні телеметричні системи з дротовими лініями зв'язку; деякі з них містять спеціальні обчислювальні пристрої. АМС обслуговуються оператором. Він контролює інформацію, при необхідності проводить контрольні вимірювання, періодично запускає контрольні тести для перевірки справності дії АМС і здійснює загальний контроль за робочою станцією. АМС – система ергономічна, і при оцінці її якості її ергономічні характеристики (зручність експлуатації, зручність використання виданої інформації та ін.) відіграють велику роль.

Вимірювання АМС всіх метеорологічних величин, незважаючи на велику кількість датчиків (більше 20), значно віддалених від центрального пункту (до 10 км), займає всього приблизно 1 хв. Тому порядок вимірювання величин з точки зору єдності вимірювань не має значення, тому що всі вимірювання практично проводяться одночасно.

В подальшому удосконалення ДМС, АРМС і АМС повинне бути направлене на збільшення кількості вимірюваних ними величин. Удосконалення ДМС повинне бути також направлене на значне покращення їх ергономічних характеристик за рахунок автоматизації

процесу вимірювань; необхідно також забезпечити реєстрацію результатів їх вимірювань у вигляді, придатному для машинної обробки. При успішному завершенні цих робіт пропонується широко впровадити ДМС на гідрометеорологічній мережі.

В подальшому АРМС будуть застосовуватися для освітлення метеорологічної обстановки в деяких районах країни, а АМС, головним чином, на станціях, де потрібно оперативно отримати великий об'єм метеорологічної інформації за значними площами (наприклад, на АМСГ).

13.2 Дистанційна метеорологічна станція М-49.

Дистанційна метеорологічна станція М-49 призначена для дистанційного вимірювання температури і вологості повітря, швидкості і напрямку вітру (рис.13.1).

Станція складається з блоку датчиків швидкості і напрямку вітру 2, блоку датчиків температури і вологості повітря 3, керувально-вимірювального пульту 1 і з'єднувальних кабелів. Вимірювальний пульт зібраний в прямокутному корпусі. На передній його панелі розміщені вказівні прилади і рукоятки керування, на боковій – є гнізда для підключення кабелів від датчиків.

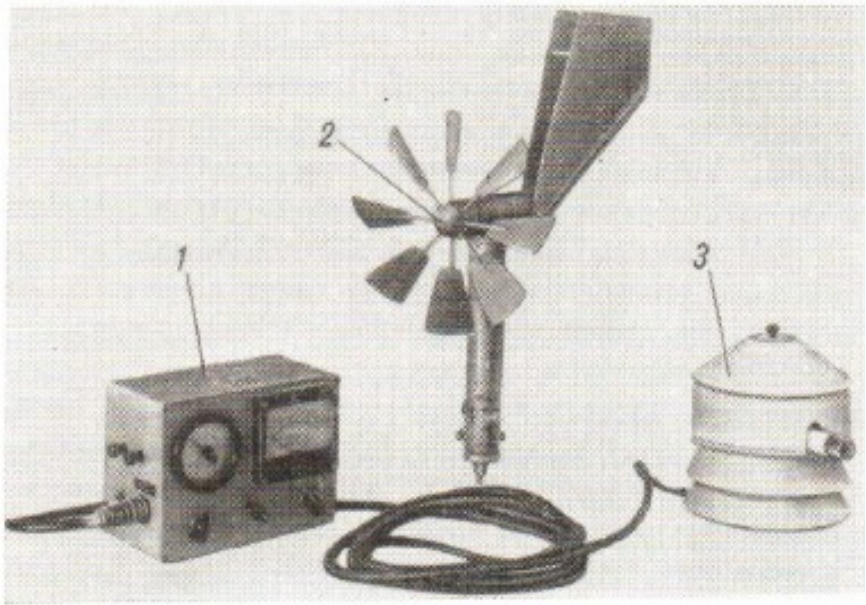


Рис.13.1 Дистанційна метеорологічна станція М-49: 1 – пульт керувально-вимірювальний; 2 – датчик швидкості напрямку вітру; 3 – датчик температури і вологості повітря.

Блок датчиків температури і вологості повітря наведений на рис.13.2.

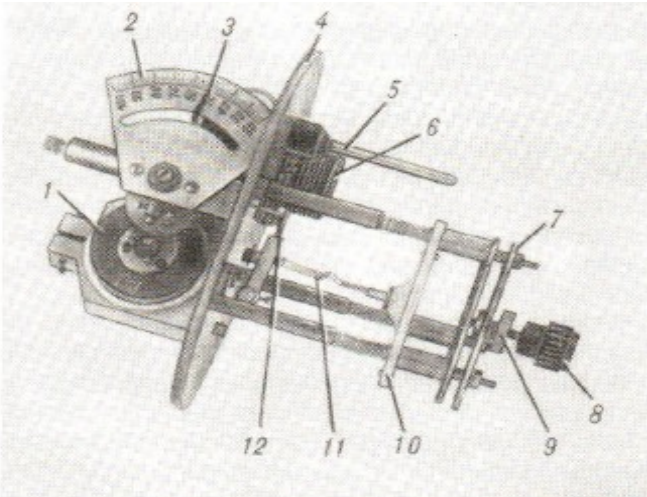


Рис.13.2 Блок датчиків температури і вологості без захисного кожуха: 1 – сельсин; 2 – шкала гігрометру; 3 – стрілка; 4 – плата; 5 – термодатчик; 6 – гніздо; 7 – кільце; 8 і 9 – гайки; 10 – вологочутлива мембрана; 11 – тяга; 12 – важіль.

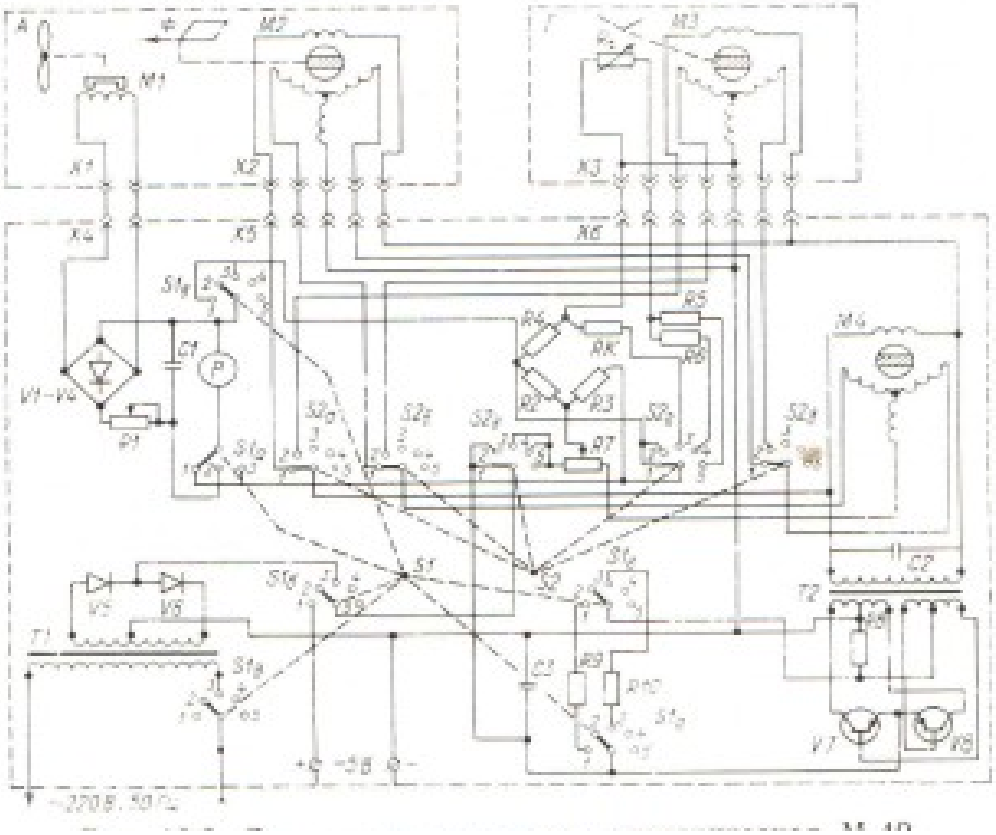
Як чутливий елемент датчика температури в станції використовується мідний терморезистор. Як чутливий елемент датчика вологості використовується мембрана з тваринної плівки. Мембрана механічно зв'язана з ротором безконтактного сельсину, який відіграє роль вихідного перетворювача датчика вологості. Датчики з'єднуються з вимірювальним пультом за допомогою двох кабелів зі штепсельними гніздами.

На рис.13.3 наведена електрична схема М-49.

В пульті зосереджені вимірювальні пристрої й блок живлення. Вимірювальні пристрої швидкості і напрямку вітру запозичені з анеморумбометра М-47. Станція може живитися від мережі змінного струму 220 В, 50 Гц або від джерела постійного струму. Джерело живлення забезпечує постійним струмом нерівномірний міст термометра опору і змінним струмом частотою 400 Гц сельсини синхронного зв'язку датчиків напрямку $M2$ і вологості повітря $M3$ і загальний для них сельсин-приймач $M4$.

Прилад для вимірювання напрямку вітру і вологості повітря має дві шкали - в градусах (для напрямку) і в процентах (для відносної вологості). Стрілка цього приладу насаджена на вісь ротора сельсину $M4$ (рис.13.3). Прилад для вимірювання швидкості вітру і температури повітря має три шкали - одну в метрах за секунду і дві в градусах для вимірювання температури повітря в двох діапазонах.

Під вимірювальними приладами розташовані рукоятки перемикачів $S1$ і $S2$, і рукоятка реостату $R7$, який регулює напругу моста термометру опору.



ис.13.3 Принципова електрична схема М-49.

Перемикач $S1$ в положенні 1 вмикає живлення від джерела постійного струму, в положенні 2 замикає вимірювальний ланцюг швидкості вітру, а в положенні 3 вмикає живлення від мережі змінного струму. При вимірюванні вологості і напрямку вітру перемикач $S1$ повинен знаходитися в положенні 3. При цьому, коли перемикач $S2$ знаходиться в положенні 1, до сельсину-приймача $M4$ підключається сельсин $M2$ датчика напрямку і на них подається живлення - вимірюється напрямок. Коли перемикач $S2$ установлюється в положення 2, до сельсину $M4$ підключається сельсин $M3$ датчика вологості і на них подається живлення – відбувається вимірювання вологості.

При вимірюванні температури повітря перемикач $S1$ установлюється в положення 1. При цьому, якщо перемикач $S2$ установлений в положення 3, до моста опору $R2$, $R3$, $R4$ і RK підключається вимірювальний прилад P і вмикається живлення моста. Опір RK відіграє роль еталонного (контрольного) опору. При його

увімкненні стрілка приладу повинна установитися на контрольній поділці шкали температури, в протилежному випадку її підводять до цієї поділки за допомогою рукоятки потенціометру $R7$, що регулює напругу живлення моста. При установці перемикача в положення 4 або 5 замість опору RK як четверте плече моста вмикається терморезистор R_t (послідовно з опором $R5$ або $R6$) - відбувається вимірювання температури в першому або в другому діапазоні.

Установка станції М-49 повинна проводитися у відповідності з інструкцією, зо прикладається до станції М-49, і з врахуванням загальних вказівок Настанови.

13.3 Автоматична аеродромна метеорологічна станція АМАС АВІА-1, призначення, склад, принцип дії, експлуатація.

Призначення комплексу АМАС Авіа-1. Комплекс АМАС Авіа-1 - це комплекс технічних програмних засобів для автоматизованої метеорологічної аеродромної станції.

Комплекс АМАС Авіа-1 призначений для:

- перетворення і обробки вимірювальної інформації, яка надходить від первинних перетворювачів метеовеличин: напрямку і швидкості вітру, метеорологічної дальності видимості, висоти нижньої межі хмар, атмосферного тиску, температури і відносної вологості повітря;
- вимірювання поточного часу;
- відображення вимірюваних метеорологічних величин і метеорологічної інформації;
- формування регулярних і спеціальних метеозведень в кодах METAR, SPESI, KH-1 (SINOP);
- архівування і виводу на друк метеорологічної інформації.

Комплекс застосовується в автоматичних метеорологічних аеродромних станціях (АМАС), які використовуються на аеродромах Цивільної Авіації і забезпечують зліт і посадку повітряних судів за категоріями I, II, IIIA ІКАО.

Конструкція комплексу забезпечує роботу в безперервному режимі.

Умови експлуатації технічних засобів комплексу такі:

1) діапазон робочих температур навколишнього повітря $+5 \div +40\ ^\circ Ñ$;

2) верхнє значення відносної вологості 75 % при $30\ ^\circ Ñ$ і більш низьких температурах, без конденсації вологи;

3) атмосферний тиск в діапазоні від 840 до 1067 гПа.

Склад комплексу. До складу комплексу входять такі складові частини:

- автоматизоване робоче місце спостерігача;
- автоматизоване робоче місце синоптика;
- погодний дисплей (ПД).

Технічні дані і характеристики. До основних функцій, які виконує комплекс АМАС Авіа-1 входить:

- збирання даних від засобів вимірювання метеорологічних величин;
- перетворення і обробка вимірювальної інформації, яка надходить від засобів вимірювань метеовеличин, а саме:

➢ метеорологічної дальності видимості (МДВ),
➢ напрямку і швидкості вітру,
➢ висоти нижньої межі хмар (ВНМХ),
➢ атмосферного тиску,
➢ температури повітря,
➢ відносної вологості повітря,

- вимірювання поточного часу;
- відображення виміряних і розрахованих метеорологічних величин і метеорологічної інформації;
- формування регулярних і спеціальних метеозведень в кодах METAR, SPESI, КН-1 (SINOP);
- формування архіву інформації;
- реєстрування метеоінформації.

Крім того, комплекс забезпечує виконання додаткових функцій:

- ручне введення значень метеорологічних величин;
- діагностику прийнятої вимірювальної інформації;
- перевірку працездатності пристрою комплексу;
- перевірку ліній зв'язку;
- передачу метеозведень на вузол зв'язку АМСГ.

Комплекс забезпечує можливість резервування функції ручного формування і редактування тексту прогнозу зміни погоди (TREND) оператору АРМН, якщо АРМС несправна або відсутня в комплекті постачання АРМС.

Засоби відображення комплексу забезпечують відображення метеорологічної інформації на екранах відеомоніторів АРМН, АРМС і ПД. На екран відеомонітору АРМН виводиться така інформація:

- **в автоматичному режимі**

- дата і час спостереження;
- робочий курс;
- значення виміряних метеовеличин;
- значення введених вручну і розрахованих метеовеличин, данних візуального спостереження;
- регулярне метеозведення METAR;

- спеціальне метеозведення SPESI,
- регулярне метеозведення КН-01;
- попереджувальні повідомлення при помилковому значенні метеовеличин;
- попереджувальні повідомлення при відмовленні вимірювачів метеовеличин;
- попереджувальні повідомлення при втраті зв'язку з АРМС.

- **по запитуванні оператора**

- спеціальне метеозведення SPESI;
- панель ручного керування стану вимірювачів;
- архівні значення виміряних, розрахованих і введених вручну метеовеличин в графічному і табличному вигляді;
- журнал відправлених метеозведень (поточний або архівний);
- журнал роботи комплексу (поточний або архівний).

На екран відеомонітору АРМС виводиться така інформація:

- **в автоматичному режимі**

- дата і час спостереження;
- робочий курс;
- значення виміряних метеовеличин;
- значення введених вручну і розрахованих метеовеличин, данних візуального спостереження;
- останнє сформоване метеоповідомлення;
- повідомлення метеоспостерігача – додаткова інформація;
- повідомлення при втраті зв'язку з АРМН.

- **по запитуванні оператора**

- архівні значення виміряних, розрахованих і введених метеовеличин в графічному вигляді;
- журнал сформованих і відправлених метеозведень.

На екран відеомонітору ПД виводиться така інформація:

- **в автоматичному режимі**

- дата і час спостереження;
- робочий курс;
- значення виміряних метеовеличин;
- значення введених вручну і розрахованих метеовеличин, даних візуального спостереження;
- останнє сформоване метеоповідомлення;
- повідомлення метеоспостерігача – додаткова інформація;
- повідомлення при втраті зв'язку з АРМН.

Комплекс забезпечує ведення журналу роботи комплексу в об’ємі за період не менше 31 доби. В журналі роботи в автоматичному режимі фіксуються:

- всі передані метеозведення із зазначенням часу передачі до однієї секунди;
- всі дії оператора АРМН і оператора АРМС по ручному втручанню в роботу комплексу із зазначенням часу до однієї секунди.

Комплекс забезпечує занесення в архівний файл АРМН всіх поточних (виміряних, розрахованих і введених вручну) метеовеличин з інтервалом в одну хвилину. В архівному файлі АРМН інформація зберігається в об'ємі за період 31 добу.

Комплекс забезпечує можливість перегляду оператором АРМН архівних значень метеовеличини в графічному або табличному вигляді:
- 3-х годинного графіку з інтервалом вирішення 1 хв;
- добового графіку з інтервалом вирішення 1 год;
- таблиці метеовеличин - щохвилинні значення;
- таблиці значень метеовеличин – 10-хвилинні значення на кінець години.

Комплекс забезпечує реєстрацію метеорологічної інформації на принтері по команді оператора АРМН у вигляді:
- таблиці поточних або архівних значень метеовеличин;
- поточного або архівного журналу (або його частини) відправлених метеозведень;
- поточного або архівного журналу (або його частини) роботи комплексу.

Комплекс забезпечує перевірку працездатності пристроїв комплексу, діагностику інформації, яка надходить від вимірювачів і формує попереджувальні повідомлення при порушеннях їх працездатності.

Будова комплексу. До складу комплексу входять окремі конструктивно закінченні автоматизовані робочі місця (АРМ): спостерігача (АМРН), синоптика (АМРС) і диспетчера (ПД). Кожне АРМ складається з технічних і програмних засобів.

<u>Технічні засоби комплекса</u> складаються з технічних засобів складових частин АРМН, АРМС і ПД. Так, до складу технічних засобів АРМН входить:
- засоби обчислювальної техніки (обчислювальні компоненти) із резервуванням;
- пристрої відображення інформації;
- комунікаційне обладнання (пристрої електричного сполучення для підключення засобів вимірювань, пристрої інтерфейсного сполучення, комутаційні пристрої, розширювачі інтерфейсних ліній);
- пристрій реєстрації.

Як обчислювальні компоненти технічних засобів АРМН застосовуються системні блоки ПЕОМ в промисловому виконанні.

Для відображення вихідної метеорологічної інформації в АРМН використовуються кольорові відеомонітори SVGA.

Комунікаційне обладнання АРМН складається з:

- пристрій перетворення, який забезпечує електричне сполучення при підключенні комплексу до існуючих на аеродромі вимірювачів метеовеличин (ФИ-1, ИВО-1, з приставкою ДВ-1, М63-1М з пультом МВ1-2-1-М1). Це електричне сполучення виконане на базі модулів серії ISP 7000, які мають гальванічне розв'язування по ланцюгам живлення та інтерфейса RS-485, програмну установку параметрів (адрес) і командний протокол ASCII;
- модем, який забезпечує апаратну підтримку обміну даними по магістральній двохпровідній лінії зв'язку на середні відстані до 8 км між пристроями комплексу, що мають послідовний канал зв'язку RS-232;
- розширювач послідовних портів, який має від 8 до 16 асинхронних каналів зв'язку. Він забезпечує розширення інтерфейсних ліній для підключення до пристроїв, які мають послідовний канал зв'язку RS-232. При цьому вимірювачі, які підключаються, розташовані на віддалених відстанях (більше 10 км), комплектуються модемами, що забезпечують апаратну підтримку обміну даними по виділеній двохпровідній лінії зв'язку.

Як реєструючий пристрій використовується принтер.

АРМС і ПД виконані на базі стандартної ПЕОМ в офісному виконанні. Для відображення метеорологічної інформації в АРМС і ПД використовуються кольорові відеомонітори SVGA. Як комунікаційне обладнання в АРМС і ПД використовуються аналогічні модеми, які забезпечують апаратну підтримку обміну даними по магістральній двохпровідній лінії зв'язку на середні відстані до 8 км.

Програмні засоби комплексу виконані у вигляді спеціалізованого прикладного забезпечення для складових частин АРМН, АРМС і ПД. Спеціалізовані прикладні програми комплексу функціонують в оперативному середовищі WINDOWS NT 4.0.

Програмне забезпечення (ПЗ) складових частин комплексу функціонують в режимі реального часу.

Спеціалізовані прикладні програми комплексу забезпечують:

- роботу в діалоговому режимі з комплексом;
- керування вимірювальними перетворювачами;
- обмін вимірювальною інформацією з вимірювальними перетворювачами;
- формування метеорологічної інформації;
- відображення інформації;
- архівування і реєстрація метеорологічної інформації.

Комплект програмних засобів інсталюється на жорсткому диску кожного АРМ і надходить в установленому вигляді, а також у вигляді інсталяційних CD-ROM дисків і супроводжується експлуатаційною документацією по ДОСТу 19.001.

Метрологічне забезпечення вимірювальних каналів комплексу здійснюється згідно вимогам, які діють в Україні НД (ДОСТ 8.438) перевірки засобів вимірювальної техніки по елементам (частинам). Об'єктом метрологічного забезпечення комплексу є:

- канали перетворення вимірюваних величин;
- обчислювальні компоненти комплексу.

Метрологічне забезпечення комплексу складається з:

- нормативної і технічної документації;
- засоби вимірювальної техніки;
- комплект програмних засобів, які необхідні для реалізації функцій вимірювачів (програмні імітатори).

Метрологічне забезпечення комплексу забезпечує виконання прямих і побічних вимірювань метеовеличин в діапазонах і з похибками згідно вимогам НГЕА, здійснює представлення результатів вимірювань в формах, які установлені в технічній документації на комплекс. Обробка, обчислення і видача метеоінформації в служби аеродрому, яка надходить з аеродромних вимірювачів метеовеличин, забезпечується програмними засобами комплексу із потрібною точністю згідно ТУ У 16308549.001-99 і установленому регламенту НГЕА.

Канали перетворення комплексу представлені як:

- канали перетворення для аналогових сигналів первинних перетворювачів, які підлягають перевірці, згідно методики;
- канали перетворення для сигналів цифрового коду первинних перетворювачів, які оцінюють при випуску з виробництва.

Інформаційне забезпечення комплексу є достатнім для виконання всіх автоматизованих функцій в процесі збирання, обробки, передачі і представлення даних, і забезпечує сумісність із засобами вимірювання по способу обміну інформацією, а також сумісність з іншими системами, які використовуються в аеропорту, по змісту, системі кодування і формі представлення інформації.

В комплексі забезпечується контроль даних, які приймаються, і обновлення даних в інформаційних масивах, формування бази даних та її зберігання в заданому об'ємі. В комплексі забезпечується відновлення бази даних після відмовлення технічних засобів (основної ПЕОМ АРМН) під час використання резервного обладнання (резервної ПЕОМ).

В комплексі забезпечується захист даних від руйнування при аваріях і збоях електроживлення при використанні пристрою безперервного живлення.

Обробка вимірювальної інформації і обчислення значень метеовеличин здійснюється у відповідності з алгоритмами і розрахунковими співвідношеннями.

Для інформаційного зв'язку комплексу із засобами вимірювання метеовеличин, як вхідні і вихідні сигнали, застосовуються електричні сигнали: аналогові безперервні, у вигляді постійного струму і напруги постійного струму, аналогові дискретні із змінною амплітудою двоїстого сигналу, а також кодовані – цифрові коди (параметри вхідних і вихідних сигналів відповідають технічним характеристикам).

Інформаційний обмін між компонентами комплексу здійснюється інформаційними кодованими повідомленнями у вигляді частотно-маніпульованих сигналів звукового діапазону (швидкість передачі 1200 бит/с) з рівнями, які сумісні з телефонною мережею.

Форми документів, які створюються комплексом, а саме, метеорологічні зведення, відповідають діючим вимогам ІКАО і ВМО та форматам кодів: METAR, SPESI, SYNOP (КН-1). Значення вимірюваних величин виводяться на екран засобів відображення в одиницях вимірювання метеовеличин. Представлення вихідної метеорологічної інформації здійснюється на засобах відображення (відеомоніторах ПЕОМ) у формі готової для використання службами УВС на аеродромі і забезпечується такими способами:

- результати обробки вимірювальної інформації – десятинні числа, одиниці вимірювання і розрядність згідно технічних характеристик;
- значення даних візуального спостереження – код згідно вимогам ВМО та ІКАО, розрядність згідно технічних характеристик;
- метеозведення – код, згідно вимогам ВМО та ІКАО для форматів кодів;
- повідомлення оператору – текст згідно алгоритмам роботи.

Об’єм метеоінформації, що представляється, достатній для експлуатації аеропортів категорій I, II, IIIA ІКАО згідно діючим вимогам НГЕА.

Принцип роботи. Комплекс АМАС Авіа-1 в залежності від комплекту поставки може використовуватися для оснащення аеродромів, які обладнані по I, II, IIIA категоріям. Функції комплексу, що виконуються, розподілені між окремими територіально розосередженими пристроями. Обмін інформацією між функціональними частинами комплексу АРМН, АРМС і ПД організований у вигляді повідомлень по послідовному каналу RS-232. Швидкість обміну інформацією 1200 біт/с. Функціональні частини комплексу взаємодіють в асинхронному режимі обміну даними. Для реалізації обміну між АРМН, АРМС і ПД використовується магістральний канал зв'язку. Зв’язок АРМН з

віддаленими на відстань більше 10 м АРМС і ПД забезпечується за допомогою зовнішніх модемів.

Створення автоматичної метеорологічної аеродромної станції (АМАС) на основі комплексу здійснюється шляхом приєднання до входів каналів перетворення комплексу вимірювачів метеовеличин з електричними вихідними сигналами. При цьому комплекс забезпечує перетворення і обробку аналогових і цифрових сигналів, які надходять від первинних вимірювальних перетворювачів, а також керування режимом вимірювання і відображення метеоданих в режимі реального часу. Вимірювання поточного часу робиться комплексом за Грінвичем (МСВ).

Об'єднання комплексу і вимірювачів на аеродромі в автоматизовану метеорологічну станцію здійснюється за допомогою центрального пристрою (ПЕОМ АРМН) і каналу зв'язку.

Центральний пристрій (ПЕОМ АРМН) керує процесом вимірювання і приймання вхідних сигналів, які надходять від вимірювачів по каналу зв'язку, виконує обробку метеоінформації, складає повідомлення службам УВС, формує метеозведення і передає метеоінформацію на засоби відображення (відеомонітори), а також забезпечує виведення архівної інформації на пристрій реєстрації (принтер). Центральний пристрій працює в фоновому режимі, тобто використовується багатозадачний режим виконання заданих функцій.

В комплексі передбачено резервування центрального пристрою. Резервна ПЕОМ АРМН забезпечує резервування (дублювання) бази даних, а також швидке відновлення працездатності комплексу у випадку відмови основної ПЕОМ.

Організація каналу зв'язку забезпечується при використанні прокладених на аеродромі кабелів (пара скруток) і реалізується за допомогою розширювача послідовних портів, який складається з 16 (при необхідності від 8 до 24) конфігурованих асинхронних каналів зв'язку (RS-232).

<u>У складі АМАС комплекс функціонує таким чином.</u>

Вимірювачі метеовеличин автоматично роблять вимірювання і перетворення фізичних одиниць, формують електричні вихідні сигнали і по запитанню комплексу передають їх в центральний пристрій (ПЕОМ АРМН). Збирання даних від вимірювачів метеовеличин здійснює основна ПЕОМ АРМН також в автоматичному режимі.

ПЕОМ АРМН збирає вихідну інформацію від вимірювачів, яка доповнюється інформацією, що зібрав спостерігач візуально і введену вручну. Можливість взаємодії оператора (спостерігача) з АРМН забезпечується технічними засобами: відеомонітор і маніпулятор "миша", а порядок взаємодії в діалоговому режимі реалізується за допомогою програмних засобів: спеціалізованого програмного забезпечення АРМН.

В процесі запитання вимірювачів АРМН виконує перевірку:

- наявності зв'язку з вимірювачем і при виявленні порушень або відсутності зв'язку формує аварійне повідомлення і виводить на екран відеомонітору АРМН;
- інформації про стан вимірювачів (включений або виключений даний вимірювач);
- достовірності прийнятих від вимірювачів і введених вручну оператором (спостерігачем) даних.

При цьому здійснюється контроль якості і не заперечливості, виміряних і введених даних, і , якщо величина не попадає в установлені межі (уставки), формується аварійне повідомлення, яке виводиться на екран відеомонітору АРМН.

Крім перевірки вимірювачів АРМН виконує перевірку працездатності пристроїв комплексу і тестування ліній зв'язку з ними (наявність зв'язку). При виявленні порушень або відсутності зв'язку з пристроями комплексу формується аварійне повідомлення, яке виводиться на екрани відеомоніторів АРМН, АРМС і ПД.

Вхідні сигнали, які надходять від первинних вимірювальних перетворювачів в аналоговій або кодованій формі, підлягають перетворенню і обробці. В результаті обробки вхідних сигналів комплекс забезпечує приведення виміряних кодів до фізичних величин, а також відображення вихідної інформації на екранах відеомоніторів (АРМН, АРМС і ПД) в одиницях вимірювання метеовеличин.

Формування кодів при вводі даних візуального спостереження оператором (спостерігачем) в діалоговому режимі здійснюється автоматично. Значення даних візуального спостереження виводяться на екран в коді METAR / SPESI.

Одержані дані підлягають обробці і розрахункам програмними засобами АРМН. Обробка даних і розрахунок метеовеличин, на основі виміряних і введених вручну значень, робиться в АРМН згідно алгоритмам і розрахунковим співвідношенням.

Після обробки даних АРМН автоматично передає поточну метеоінформацію на АРМС і ПД. Час передачі метеоінформації для відображення на екранах відеомоніторів АРМС і ПД, після закінчення обробки вимірювань (спостерігань), складає не більше 12 с.

Форма представлення метеоінформації на екранах відеомоніторів АРМН, АРМС і ПД реалізується спеціалізованими програмними засобами комплексу.

Оновлення інформації на екрані відеомонітору АРМН здійснюється з періодичністю запитання первинних вимірювальних перетворювачів, яка задається в конфігураційному файлі.

Оновлення інформації на екранах АРМС і ПД здійснюється з періодичністю 12 сек.

Інформація про небезпечні явища на аеродромі, які утруднюють або виключають взліт, захід на посадку або посадку повітряних судів, і сигнал тривоги з'являються на екрані відеомонітору АРМН не пізніше, ніж через 15 сек після їх виникнення.

Всі виведені на екран поточні значення метеовеличин, які одержані від відповідних вимірювачів, осереднюються по миттєвим значенням за інтервал в 1 хвилину. Значення всіх осереднених за одну хвилину метеовеличин записуються в архів хвилинних значень, який використовується для виводу графіка часової залежності.

Осереднення швидкості і напрямку вітру за 2-х хвилинні і 10-ти хвилинні періоди виконуються шляхом змінного векторного осереднення. При цьому 2-х хвилинні середні значення оновлюються на екрані кожні 3 с, а 10-ти хвилинні середні значення оновлюються кожну хвилину.

Інформація про фактичну погоду на аеродромі заноситься в базу даних центрального пристрію (ПЕОМ АРМН). На основі одержаної метеоінформації в АРМН автоматично формуються метеозведення в кодах METAR, SPESI, SYNOP (КН-01). Формування метеозведень забезпечується в наступні строки згідно вимогам ВМО.

Метеозведення в кодах METAR, SPESI, SYNOP (КН-01) відображаються на екрані відеомонітору АРМН.

Метеозведення в кодах METAR, SPESI відображаються на екранах відеомоніторів АРМС і ПД.

Метеозведення в кодах METAR, SPESI, SYNOP (КН-01) передаються по модемній лінії на зв’язкову ПЕОМ вузла зв’язку АМСГ.

<u>Формування метеозведень</u> комплексом автоматизовано і здійснюється у відповідності з діючими вимогами стандартів ВМО/ІКАО.

Комплекс автоматично формує заготовки текстів метеозведень METAR, SPESI, SYNOP і забезпечує можливість їх уточнення і редагування оператором (спостерігачем) в інтерактивному режимі.

При формуванні метеозведень використовуються поточні метеодані, які одержані в результаті автоматичного вимірювання і введені оператором (спостерігачем) вручну, після їх обробки і обчислення.

<u>Формування регулярного метеозведення METAR</u>.

Комплекс формує регулярне метеозведення METAR, яке має короткостроковий прогноз погоди, кожні 30 хвилин згідно діючим правилам. Заготовка тексту поточного METAR формується комплексом автоматично кожні 30 хв за дві хвилини до початку чергового строку. До початку чергового строку протягом двох хвилин комплекс забезпечує можливість оператору (спостерігачу) редагувати текст зведення, що формується.

Рівно в строк (00 хв або 30 хв) комплекс забезпечує можливість по команді оператору (спостерігача) відправити зведення на вузол зв'язку АМСГ і на робочі місця синоптика і диспетчера (АРМС і ПД). Після початку строку протягом 2 хв комплекс забезпечує можливість оператору (спостерігачу) вручну відредагувати текст METAR. При цьому, поточні дані автоматичних вимірювань метеовеличин в телеграму заносяться автоматично точно в строк.

Можливість повторної передачі сформованого в строк метеозведення зберігається до формування телеграми наступного строку.

Метеоспостерігач одержує автоматично прогноз TREND відправлений синоптиком з АРМС. Прогноз TREND передається метеоспостерігачу заздалегідь до початку строку і автоматично вставляється в заготовку тексту метеозведення METAR. Дані для складення короткострокового прогнозу вводяться тільки вручну синоптиком з АРМС. Час останнього редагування прогнозу TREND відмічається автоматично. Час розповсюдження поточного метеозведення складає 30 хвилин.

Якщо TREND не надходить від синоптика, наприклад, при непрацездатності АРМС (АРМС виключений) або при порушенні зв'язку, то при формуванні поточного регулярного зведення за 5 хв до початку строку з’являється повідомлення на екрані АРМН, яке супроводжується звуковим сигналом. Це означає, що метеоспостерігачу необхідно самому сформувати TREND вручну.

Формування вибіркового спеціального метеозведення SPESI.

Комплекс формує вибіркове спеціальне метеозведення SPESI згідно діючим правилам. Формування заготовки тексту вибіркового спеціального метеозведення SPESI здійснюється автоматично при досягненні установлених критеріїв для автоматичного формування або в будь-який момент часу по команді оператора (спостерігача). При цьому оператору (спостерігачу) АРМН забезпечується можливість ручного редагування тексту метеозведення до відправлення телеграми на вузол зв’язку АМСГ.

Значення установлених критеріїв для метеовеличин, які визначають пороги автоматичного формування спеціального метеозведення, що розповсюджується на аеродромі в форматі SPESI вводяться при конфігурації програмного забезпечення і можуть редагуватися оператором (спостерігачем) при необхідності в процесі роботи.

Пороги автоматичного регулювання SPESI бувають:

- поріг на зміну;
- поріг на погіршення;
- поріг на покращення.

Поріг на зміну установлює критерії, по яким повинно відбуватися формування SPESI при різкій зміні напрямку вітру, тобто при зміні середнього напрямку вітру, в порівнянні із значенням, яке вказане в останньому зведенні METAR/SPESI, на 60° при швидкості вітру, що більше 6 м/с.

Поріг на погіршення установлює критерії, по яким повинно відбуватися формування SPESI на погіршення по таким метеовеличинам:

- середня або максимальна швидкість вітру досягла або перевищила граничне значення (V вітру $\Rightarrow$);
- метеорологічна дальність видимості стала менше граничного значення (МДВ (м) <);
- дальність видимості на ВПП стала менше граничного значення (RVR(м)<);
- висота нижньої межі хмар стала менше граничного значення (НМХ<).

Поріг на покращення установлює критерії, по яким повинно відбуватися формування SPESI на покращення по таким метеовеличинам:

- середня або максимальна швидкість вітру стала менше граничного значення (V вітру <);
- метеорологічна дальність видимості досягла або перевищила граничне значення (МДВ (м) $\Rightarrow$);
- дальність видимості на ВПП видимості досягла або перевищила граничне значення (RVR (м) $\Rightarrow$);
- висота нижньої межі хмар досягла або перевищила граничне значення (НМХ $\Rightarrow$).

Комплекс відображає причину формування SPESI.

Комплекс автоматично формує текст вибіркового спеціального метеозведення SPESI при досягненні таких критеріїв:

на погіршення, якщо

- напрямок вітру змінився на 60° або більше при середній швидкості 6 м/с або більше відносно значень вказаних в попередньому зведенні METAR/SPESI;
- максимальна швидкість вітру досягла або перевищила 15 м/с або більше, і при подальшому підсиленні через 5 м/с пороги вибираються із врахуванням значень, які вказані в попередньому зведенні з ряду 20 м/с, 25 м/с ……. 60 м/с;
- метеорологічна дальність видимості менше: 3000, 1500, 800 м;
- дальність видимості на ВПП менше: 800, 600, 350, 150 м;
- висота нижньої межі хмар менше: 300, 150, 60 м.

на покращення (текст SPESI на покращення автоматично формується, якщо покращення по елементу погоди протрималось 10 хв), якщо:

- максимальна швидкість вітру менше 15 м/с або менше значень, по яким випускалося зведення на погіршення;
- метеорологічна дальність видимості досягла або перевищила: 800, 1500, 3000 м;
- дальність видимості на ВПП досягла або перевищила: 150, 350, 600, 800 м;
- висота нижньої межі хмар досягла або перевищила: 30, 60, 150, 300 м.

Формування метеозведення SPESI супроводжується звуковим сигналом.

Формування спеціального метеозведення SPECIAL, яке розповсюджується на аеродромі, здійснюється в коді SPESI.

Формування синоптичного зведення SYNOP.

Комплекс формує регулярно метеозведення в коді КН-01 (національний варіант міжнародного коду FM 12-IX SYNOP) згідно діючим правилам.

Формування заготовки тексту регулярного метеозведення SYNOP здійснюється автоматично в синоптичні строки кожні 3 години. При цьому забезпечується можливість ручного редагування оператором (спостерігачем) АРМН тексту метеозведення до відправлення телеграми на вузол зв'язку. Групи коду SYNOP формуються рівно в строк по виміряним поточним значенням метеовеличин.

Комплекс в процесі роботи автоматично проводить щохвилинний і погодинний архіви всіх виміряних і введених вручну метеовеличин і журнал роботи АМАС в цілому, в якому фіксуються всі повідомлення АМАС і всі дії операторів (спостерігача, синоптика і диспетчера керування польотами).

Перегляд архівної інформації здійснюється в діалоговому режимі по запитанню оператора на відеомоніторах АРМН і АРМС. Архів, який формується на жорсткому диску АРМН на основі виміряних даних і проведених спостережень, містить таку інформацію:

- таблиць годинних значень вимірюваних і введених вручну метеовеличин;
- журнал роботи АМАС;
- журнал відправлених повідомлень.

На робочому місці спостерігача, забезпечується перегляд архівних значень будь-якої метеовеличини на всю глибину ведення архіву в графічному або табличному представленні. Оператор (спостерігач) вибирає вид інформації і період, за який він може переглянути архів.

Архів, що формується на жорсткому диску АРМС на основі даних, які приймаються від АРМН, містить таку інформацію:

- архів виміряних і розрахованих значень метеорологічних величин в графічному вигляді;

- журнал прийнятих метеозведень в кодах METAR, SPESI.

Крім автоматичного режиму вимірювань в АМАС комплекс забезпечує можливість роботи в режимі ручного вводу. Якщо в складі АМАС відсутні вимірювачі або при їх відключенні оператор (спостерігач) може вводити значення метеовеличин вручну, які відразу інтерпретуються як середні і їх значення присвоюється кожному відповідному вимірювачу для передачі на всі підключені ПД, АРМС, а також для використання при автоматизованому формуванні заготовок метеозведень.

Оператор (спостерігач) при вводі даних візуального спостереження може заздалегідь підготовити дані по видимості, хмарам, погоді, а також додаткову трендову інформацію, щоб забезпечити в строк передачу регулярних зведень погоди.

Оператор (спостерігач) може редагувати автоматично сформовані SPESI, METAR, SYNOP, повторювати і видавати повідомлення по запитанням, установити час редактування METAR і затримку до його відправлення в лінію зв'язку на зв'язкову ПЕОМ.

При необхідності, оператор (спостерігач) може оперативно керувати режимами роботи з вимірювачами в АМАС, тобто

- оперативно виключати і включати вимірювачі при їх недоцільності використання, наприклад, ВНМХ типу ЛВВХ-1 (джерела випромінювання у вимірювачах);

- при появі аварійних повідомлень, які формуються при відмовленні або збою будь-якого вимірювача, виконати підключення резервного вимірювача і відключити непрацездатний на даний момент вимірювач.

Оператор (спостерігач) може також керувати характером відображаємої інформації на екрані відеомонітору АРМН, тобто переглядати значення вибраної метеовеличини в графічному або табличному вигляді в діалоговому режимі:

- трьох годинного графіку з інтервалом вирішення 1 хв;
- добового графіку з інтервалом вирішення 1 год;
- таблиці метеовеличин, щогодинні значення.

Оператор (спостерігач) може вручну формувати додаткову інформацію. Наприклад, повідомлення про грозонебезпечні осередки, вітер на висотах і т.д., та передавати їх операторам (синоптику і диспетчеру) на АРМС і ПД.

Оператор (спостерігач) по команді одержаній від диспетчера може переключити курс робочого старту. Зміна курсу робочого старту здійснюється вручну в діалоговому режимі. При цьому, оператор

(спостерігач) ПД може проконтролювати правильність установки курсу, оскільки установлений курс робочого старту відображається на екрані ПД.

Параметри освітленості ВПП, які необхідні для обчислення значень RVR, при відсутності в складі вимірювача яскравості фону, вводяться вручну оператором (спостерігачем) по узгодженню з диспетчером. Час реакції комплексу при зміні курсу або параметрів освітленості із перерахуванням метеовеличин для заново введених значень і передачею їх на всі робочі місця (АРМН, АРМС і ПД) складає не більше 12 сек.

Комплекс при цьому, автоматично веде журнал роботи, в який заносяться всі дії операторів (спостерігача, синоптика, диспетчера) при ручному втручанні в роботу комплексу і АМАС в цілому, з вказівкою часу до однієї секунди.

Реєстрація метеорологічної інформації, яка одержана в строки спостереження, як поточної, так і архівної робиться по команді оператора (спостерігача) на принтері.

При експлуатації комплексу суворо додержуватися засобів застереження:

- пам'ятати, що в пристроях є ланцюги високої напруги 220 В для небезпечні для життя;
- перед підключенням пристроїв впевнитися в справності кабелів і роз'ємних з'єднувачів;
- підключення і відключення пристроїв виконувати тільки при вимкнутому живленні;
- ремонтні роботи проводити тільки при вимкнутих кабелях живлення;
- заземляти корпуса всіх пристроїв, живлення яких здійснюється від мережі однофазного змінного струму напругою 220 В при частоті 50 Гц.

При експлуатації уникайте пошкоджень кабелів і електричних ланцюгів, не торкайтеся їх.

Перед першим включенням комплексу необхідно:

- уважно перевірити цілісність кабелів живлення;
- перевірити цілісність захисного заземлення;
- перевірити справність з'єднання між пристроями.

Контрольні запитання:

1. Дайте поняття ДМС ?
2. Дайте поняття АМС ?
3. Для чого призначена АРМС ?
4. В чому полягає принцип роботи АМС ?
5. Для чого призначена станція дистанційна метеорологічна М-49 ?

6. Які режими роботи передбачені для вимірювання температури повітря, вологості та інших метеовеличин ?

7. Як робиться відображення виміряних і розрахованих метеовеличин ?

8. Яка інформація виводиться на екран відеомонітору АРМН в автоматичному режимі ?

9. За який період комплекс забезпечує ведення журналу роботи ?

10.Яка метеоінформація фіксується у журналі в автоматичному режимі ?

11. Які метеовеличини заносяться в архівний файл АРМН ?

12. Які архівні значення метеовеличин в графічному або табличному вигляді можуть бути переглянуті оператором АРМН ?

13.Яка метеорологічна інформація реєструється на принтері по команді оператору АРМН і в якому вигляді ?

14. Які функції виконує АМАС Авіа-1 ?

15. Які функції спостереження за метеовеличинами забезпечують спеціалізовані програми комплексу ?

16. Як здійснюється формування метеозведень вимірювальним комплексом ?

17. Чи може оператор оперативно керувати режимами роботи із вимірювачами в АМАС Авіа-1 ?

18. Чи може оператор керувати характером інформації, яка відображається, на екрані відеомонітору АРМН ?

19. Як робиться реєстрація поточної або архівної метеорологічної інформації, що одержана в строки спостережень ?

14. ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІЛЬНОЇ АТМОСФЕРИ

14.1 Загальні відомості.

Системи радіозондування призначені для дистанційного вимірювання метеорологічних елементів вільної атмосфери і являють собою сукупність радіотелеметричної і радіолокаційної (радіопеленгаційної) систем. Радіотелеметрична система служить для вимірювання метеорологічних елементів і передачі результатів вимірювань на відстані за допомогою радіохвиль, а призначенням радіолокаційної (радіопеленгаційної) системи є визначення координат вимірювального приладу в момент вимірювань. Вимірювання метеорологічних елементів атмосфери і передача результатів здійснюється за допомогою радіозонду, який являє собою сукупність відповідних вимірювальних перетворювачів і радіопередавача.

Положення радіозонду в просторі визначається трьома координатами, які залежать від використаної системи координат. Так, якщо використовується циліндрична система, то такими координатами є кут в горизонтальній площині (азимутальний кут) α, кут у вертикальній площині (кут місця) β і висота H. При використанні сферичної системи координатами є: азимутальний кут α, кут місця β і похила дальність R.

Розрізняють два типи систем радіозондування: радіопеленгаційні (радіотеодоліти) і радіолокаційні (радіолокаційні метеорологічні станції).

В радіотеодолітах вимірюються тільки кутові координати радіозондів, при цьому азимут α і кут місця β визначаються, як правило, методом порівняння (рівносигнальної зони), а третя координата – висота H - обчислюється за виміряним тиском. Прикладом системи радіозондування на основі радіо теодоліту є система «Малахіт», в якій зондування здійснюється радіозондом типу А-22 спільно з радіопередавачем ПРБ-1,5, А-36 і А-43. В процесі експлуатації радіо теодоліт «Малахіт» був перетворений в радіолокаційну метеорологічну станцію шляхом введення до його складу дальномірної приставки.

В системах зондування на основі радіолокаційної станції використовується сферична система координат, і всі три координати вимірюються радіолокаційним способом: кутові координати (азимут α і кут місця β) – методом порівняння (рівносигнальної зони), а дальність – імпульсним методом з активним формуванням відповідного сигналу.

Радіозонд, призначений для використання в такі системі, в принципі повинен містити два радіопередавача і один радіоприймач:

один передавач - для передачі радіотелеметричної інформації, приймач – для прийому імпульсних сигналів запиту, другий радіопередавач - для випромінення сигналів на прийняті запитні сигнали. В сучасних радіолокаційних системах зондування роль передавача радіотелеметричного каналу, приймача сигналів запиту і передавача сигналів відповіді виконує один пристрій – над регенеративний прийомопередавач. За цим принципом улаштовані такі системи зондування, як «Малахіт» з дальномірною приставкою, що працює спільно з радіозондом типу А-22 і над регенеративним прийомопередавачем типу А-35-1П, «Метеор» («Метеорит»), який працює з радіозондом типу РКЗ-2, і «Метеорит-2», який працює з радіозондом типу РКЗ-5.

14.2 **Принцип побудови систем радіозондування.**

Система зондування «Метеор» («Метеорит») належить до другого покоління радіозондувальних комплексів, які прийшли на зміну комплексу «Малахіт». У цьому комплексі врахований досвід проектування і експлуатації радіозондувального комплексу першого покоління. В порівнянні з комплексом «Малахіт» система «Метеор» володіє більш високими точностями вимірювання кутових координат радіозондів, що обумовлено переходом в більш короткохвильовий діапазон хвиль (дециметровий, при довжині хвилі близько 17 см), великою максимальною дальністю дії за рахунок збільшення потужності передавача і збільшення чутливості прийомного пристрою, а також за рахунок збільшення направлених властивостей антенної системи. Крім того, в даній системі повністю автоматизований процес вимірювання координат радіозонду і супроводження радіозонду за кутовими координатами і дальністю, а також процес реєстрації радіотелеметричної і радіолокаційної інформації.

Потрібно вказати, що комплекс «Метеор» відрізняється також від комплексу «Малахіт» високим ступенем автоматизації керування. Дана система зондування випускалася промисловістю в двох варіантах: рухливому («Метеор») і стаціонарному («Метеорит»), які конструктивно один від одного не відрізнялися. Система може працювати в двох режимах: в режимі радіозонду і в режимі кутового відбивача. В режимі радіозонду комплекс працює як система комплексного температурно-вітрового зондування. В режимі кутового відбивача комплекс працює як система радіо вітрових вимірювань шляхом простежування змін поточних координат кутового відбивача, прикріпленого до оболонки.

Система «Метеор» («Метеоит») має такі технічні характеристики:

- діапазон частот - 1770 – 1795 МГц, що відповідає довжині хвилі близько 17 см;
- дальність автоматичного супроводження радіозонду з реєстрацією даних 150 км;
- дальність супроводження відбивача – приблизно 25 км;
- середня помилка визначення кутів в режимі автоматичного супроводження 7,2 м;
- середня помилка визначення дальності радіозонду в режимі автоматичного супроводження 40 м;
- точність реєстрації даних за кутовими координатами 3,6´;
- точність реєстрації даних за дальністю 10 м;
- точність реєстрації даних за частотою вимірювального сигналу радіозонду 1 Гц;
- напруга живильної мережі 220/380 В;
- споживча потужність 13,5 кВА.

Система «Метеор» може живитися від промислової мережі через перетворювальний агрегат 218 С, а за відсутністю промислової мережі – від власної дизельної електростанції типу ЕСД-20-ВЛ/230/Ч/400. Система «Метеор» («Метеорит») працює спільно з радіозондом типу РКЗ-2.

Радіозонд **РКЗ-2**. Радіозонд типу РКЗ-2 є однією з останніх модифікацій радіозондів даного типу, призначених для використання з радіозондувальним комплексом «Метеор» («Метеорит)». Він являє собою аерологічний вимірювальний радіотелеметричний прилад з часовим розділенням каналів і частотно-імпульсним кодуванням вимірювальної інформації. Радіозонд складається з вимірювальних перетворювачів температури і вологості, пристрою, що кодує, (у вигляді вимірювального генератору), часового механізму, над регенеративного прийомопередавача з переривчастою генерацією, генератора допоміжної напруги суперізації, а також високо стабільного резистора-еталона.

Вимірювальна інформація про значення температури і вологості повітря передається у вигляді низькочастотних пауз несучої високої частоти, частота проходження яких визначається значеннями вимірюваних метеорологічних елементів. Сигнали радіозонду використовуються для визначення його кутових координат і автоматичного супроводження радіозонда за кутовими координатами. Вимірювання кутових координат і супроводження радіозонду за кутовими координатами робиться методом рівносигнальної зони з конічним розгортанням. Вимірювання дальності до радіозонду здійснюється імпульсним методом з використанням активної відповіді. Відповідний сигнал випромінюється над регенеративним

прийомопередавачем за отриманням запитного імпульсу від наземного радіозондувального комплексу.

Як вимірювальний перетворювач температури використовується напівпровідниковий терморезистор, вимірювальним перетворювачем вологості є плівковий перетворювач. Тиск в радіозонді РКЗ-2 не вимірюється. З метою усунення похибок вимірювань, обумовлених зміною параметрів елементів зонду в процесі польоту, до складу вимірювального генератора увімкнено високостабільний еталонний опір, який виконує роль еталонного вимірювального перетворювача. Принцип використання еталонного резистора для усунення похибок вимірювань, обумовлених зміною в часі параметрів радіозонду і джерела живлення, полягає в наступному.

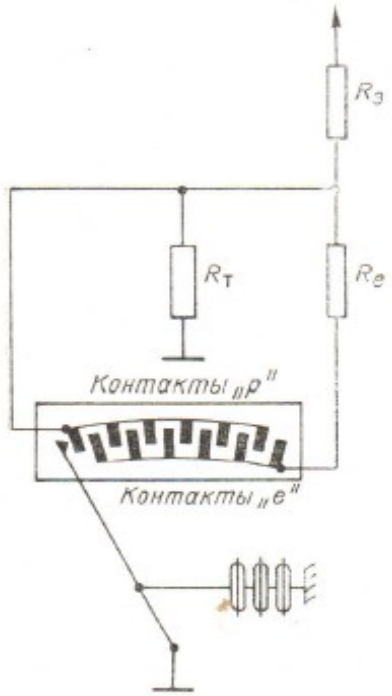
В процесі польоту радіозонду внаслідок зміни параметрів зовнішнього середовища буде змінюватися частота проходження імпульсів пристрою, що кодує. Якщо одночасно з передачею вимірювальних сигналів передавати і еталонні сигнали, то очевидно, що зміна в часі параметрів радіозонду буде однаково позначатися як на результатах передачі вимірювальних сигналів, так і на результатах передачі еталонних сигналів. Якщо на прийомній стороні при обробці результатів вимірювань брати не абсолютне значення частоти проходження, що несе вимірювальну інформацію, а відношення частот проходження вимірюваного метеорологічного елементу і еталонного резистора, то виниклі похибки вимірювань, обумовлені впливом нестабільності апаратури, взаємно компенсують один одного.

Пристроєм, що кодує, радіозонда, або вимірювальним генератором, служить генератор від'ємних імпульсів із змінною частотою проходження імпульсів, яка залежить від значення опору, підключеного до сітки генератора. Переключенням вимірювальних перетворювачів і еталонного резистора на сітку лампи генератора імпульсів керує часовий механізм, роль якого виконує бароперемикач. Бароперемикач являє собою перемикач, рухливий контакт якого зв'язаний з рухливим центром мембранного перетворювача тиску. При зміні тиску під час піднімання радіозонду стрілка бароперемикача переміщується за контактною шкалою, послідовно займаючи положення на контактах або в проміжках між ними (рис.14.1). При цьому може бути три випадки.

1. Стрілка бароперемикача знаходиться в проміжку між контактами (на непровідній ділянці шкали). У цьому випадку до сітки лампи вимірювального генератора підключені послідовно з'єднані еталонний резистор і резистор первинного вимірювального перетворювача температури. Частота повторення вихідних імпульсів пристрою, який кодує, (вимірювального генератора імпульсів) буде визначатися зміною опору терморезистора.

2. Стрілка бароперемикача знаходиться на контакті вологості. У цьому режимі до сітки вимірювального генератора послідовно з еталонним резистором виявляється підключеним опором реостату вузла вологості і частота повторення від'ємних імпульсів вимірювального генератора буде визначатися зміною опору реостата вологості.

3. Якщо стрілка бароперемикача знаходиться на верхньому контакті, то терморезистор закорочується і до сітки вимірювального генератора виявляється підключений тільки еталонний резистор. У цьому випадку вимірювальний генератор буде вироблювати послідовність від'ємних імпульсів, частота проходження яких буде визначатися тільки опором еталонного резистора.



Від'ємні імпульси з виходу вимірювального генератора керують роботою надрегенеративного каскаду прийомопередавача. Вони, надходячи до керуючої сітки лампи генератора, переривають на час своєї тривалості (від 50 до 300 мксек) генерацію передавача, утворюючи паузи у випромінені. На прийомній стороні за частотою пауз і судять про значення виміряного параметру.

Рис.14.1 До пояснення принципу роботи бароперемикача радіозонду РКЗ-2.

Надрегенеративний каскад прийомопередавача керується спеціальним модулятором, який виконує роль генератора допоміжної напруги частотою 800 кГц. Незважаючи на те, що в радіозонді РКЗ-2 тиск не вимірюється, за необхідності інформація про нього може бути отримана в результаті аналізу роботи бароперемикача за положенням його стріли, для чого бароперемикач заздалегідь тарується. На базі радіозонду РКЗ-2 виконаний передавач відповідач А-28, який містить тільки надрегенеративний блок, який використовується для радіовітрових вимірювань.

Система зондування «Метеорит-2» є на цей час основною базовою системою, призначеною для радіозондування атмосфери за допомогою радіозонду РКЗ-5, так і для здійснення ракетного зондування за допомогою метеорологічних ракет типу ММР-06. В ракетному варіанті

комплекс має найменування «Метеорит-2Р». Для забезпечення такого використання системи «Метеорит-2» в ній передбачені заходи, які приводять до збільшення швидкодії автоматики, в першу чергу каналу автоматичного супроводження радіозонду за кутовими координатами. Така вимога обумовлена тим, що в процесі ракетного зондування автоматичне супроводження ракети за кутовими координатами необхідно починати зразу після сходу ракети зі стартової установки, незважаючи на те, що вимірювання будуть проводитися тільки на низхідній ділянці траєкторії. На висхідній ділянці траєкторії, особливо на її активній ділянці, ракета рухається з великими кутовими швидкостями відносно наземної станції і для впевненого супроводження ракети апаратура повинна володіти відповідною швидкодією.

Система «Метеорит-2» володіє великою дальністю супроводження радіозонду, що досягається підвищенням потенціалу станції: за рахунок застосування антенної системи з великими направленими властивостями; за рахунок застосування в приймальному пристрої підсилювача високої частоти, що привело до підвищення чутливості приймача; за рахунок підвищення тривалості пауз вимірювального генератора радіозонду, що дозволило скоротити смугу пропускання приймача і ще більше підвищити його підсилення.

Система «Метеорит-2» на відміну від системи «Метеор» має виносний пульт керування, призначений для візуального наведення антенної системи на радіозонд перед випуском і на початковій ділянці траєкторії з наступним автоматичним супроводженням за кутовими координатами. Необхідність введення такого пульту обумовлена тим, що на ділянці траєкторії польоту безпосередньо після випуску, особливо якщо випуск зонда проводився з навітряної сторони відносно точки розташування станції, радіозонд проходить з великими кутовими швидкостями і швидкодії системи автоматичного супроводження за кутовими координатами недостатньо для того, щоб здійснювати в такому режимі автоматичне супроводження радіозонду за кутовими координатами. З цією метою на початковій ділянці траєкторії зонду робиться його ручне супроводження (візуальне), а при досягненні зондом допустимих кутових швидкостей переміщення відносно антени станції робиться передача з ручного супроводження на автоматичне.

Система «Метеорит-2» має в своєму складі два передавача: малопотужний (1 кВт) і передавач великої потужності (200 кВт). Малопотужний передавач використовується при підготовці радіозонду до випуску і в перші моменти часу після випуску, коли діаграма направленості антенної системи лежить майже горизонтально.

В процесі проведення радіозондування передавачі працюють по черзі: при супроводженні радіозонду при малих кутах місця (до 6°) –

передавач малої потужності, а при супроводженні радіозонду при великих вертикальних кутах - передавач великої потужності. Перехід від передавача малої потужності до передавача великої потужності здійснюється автоматично при досягненні антенною відповідного кутового положення.

Основні технічні характеристики системи «Метеорит-2» такі:

- діапазон частот 1772,5-1792,6 МГц, що відповідає довжині хвилі близько 17 см;
- імпульсна потужність передавачів: малопотужного 1 кВт, великої потужності – 200 кВт;
- тривалість випромінених імпульсів запиту 1,5 ± 0,3 мксек;
- частота повторення запитних імпульсів 416 Гц;
- діаметр відбивача антенної системи 2,5 м;
- ширина діаграми направленості (5 ± 1)°;
- чутливість приймача $5 \cdot 10^{-14}$ Вт;
- дальність автоматичного супроводження радіозонду з реєстрацією даних 250 км;
- дальність автоматичного супроводження стандартного кутового відбивача з стороною основи 500 мм – 50 км;
- межу обертання параболічної антени: за азимутом – необмежено, за кутом місця – від 0 до 90°;
- середня помилка визначення кутових координат 7,2′ ;
- серединна помилка визначення дальності 20 м при супроводженні радіозонду до 50 км і 40 м при супроводженні радіозонду до 150 км;
- серединна помилка визначення дальності кутового відбивача 25 м;
- точність реєстрації кутових координат 3,6′ ;
- точність реєстрації дальності 10 м;
- точність реєстрації частоти метеоелементів 1 Гц;
- споживча потужність 9 кВ·А при напрузі живлення 220 В.

Особливості радіозонду РКЗ-5. Радіозонд РКЗ-5 призначений для роботи з системою радіозондування «Метеорит-2». За своїм принципом побудови він практично не відрізняється від радіозонду типу РКЗ-2, при цьому значні відміни полягають в такому. В радіозонді РКЗ-5 на відміну від радіозонда РКЗ-2 годинниковий механізм виконаний у вигляді перемикача, що приводиться до руху мікроелектродвигуном. Перемикач являє собою круглу пластину, виконану з ізоляційного матеріалу, по зовнішній окружності якого розташовані нерухомі контакти, з’єднані з відповідними первинними вимірювальними перетворювачами. Рухливий контакт з’єднаний з ланцюгом сітки лампи вимірювального генератору.

Необхідність введення механічного перемикача замість бароперемикача обумовлена тим, що в ряді випадків радіозонд, попадаючи в зони струминних течій, зазнає значних горизонтальних зміщень без

істотного вертикального підйому, внаслідок чого при такому переміщенні не відбувається переключення вимірювальних ланцюгів, тому що не відбувається помітної зміни тиску.

Другою відмінністю радіозонда РКЗ-5 від радіозонда РКЗ-2 є велика тривалість від'ємних імпульсів вимірювального генератора, а отже, і пауз у випромінені надрегенеративного прийомопередавача. Відомо, що збільшення тривалості імпульсних сигналів приводить до звуження спектру, що дозволяє застосовувати підсилювачі з меншою смугою пропускання, а отже, і з великим коефіцієнтом підсилення. В кінцевому рахунку це приводить до збільшення потенціалу системи ы до збільшення максимальної дальності дії системи радіозондування.

Джерела живлення радіозондів. Живлення анодних, розжарю вальних і вимірювальних ланцюгів радіозондів і над регенеративних прийомопередавачів, а також мікроелектродвигунів часових механізмів здійснюється від водоналивних хімічних джерел струму. Ємність цих джерел розрахована таким чином, щоб забезпечити роботу приладів як при підготовці до польоту, так і під час польоту. При порівняно тривалому часі розряду на розрахункове навантаження (2-2,5 год) ці джерела мають незначні габарити і масу, а також задовільні експлуатаційні характеристики. Вказані джерела струму забезпечують необхідні напруги після їх попередньої заливки водою і формування на навантажувальних опорах.

Для живлення радіозонду А-22 з прийомопередавачем А-35-1П використовується батарея 80-ПМХ-2ч, до комплекту якої входять дві батареї: анодна і розжарю вальна. Анодна батарея містить три секції по 27 елементів в кожній. Розжарю вальна секція складається з трьох послідовно з'єднаних секцій. Окремий елемент складається з магнієвого катоду з хлористого свинцю і діафрагми з алігніну. Під час розряду хімічна реакція протікає з великою кількістю споживчої води. Необхідна для реакції вода накопичується діафрагмою елемента при заливанні батареї. З двох сторін на елементи наноситься паста з з поліхлорвінілу і дибутілфтолату. Паста запікається і утворює тверду масу, яка закріплює, ізолює і фіксує елементи в секції. Батареї зібрані в один блок і поміщені в картонний футляр, викладений зсередини теплоізоляційними пластинами.

Для живлення радіозондів типу РКЗ використовується батарея типу 200-ПМХМ-2ч, яка складається з трьох секцій: анодної і двох розжарювальних. Як електроди в батареї використані магній і хлорна мідь, до складу якої добавлено по 5 % графіту і сажі. В іншому вона конструктивно така ж, як і батарея 80-ПМХС-2ч. У водоналивних батарей після формування протягом перших 10-20 хв роботи напруга продовжує зростати. Останній час (до 100 хв) напруга залишається

порівняно постійною: за 2 год роботи при зміні температури навколишнього середовища від +20 до -70ºС зміна напруги складає не більше 6-7 %. В процесі роботи водоналивні батареї виділяють значну кількість тепла, що підвищує морозостійкість і створює порівняно стабільний «мікроклімат» всередині кожуха радіозонда.

14.3 Радіолокаційно-акустична система зондування.

Суть радіолокаційно-акустичного методу зондування атмосфери полягає в тому, що замість звичайного радіозонду, що випускається, в атмосферу випромінюються імпульси акустичних хвиль, швидкість і напрямок розповсюдження яких вимірюються за допомогою допплерівської РЛС. Через те, що швидкість розповсюдження акустичних хвиль в атмосфері зв'язана з її метеорологічними елементами, в першу чергу з температурою, а напрямок їх розповсюдження – з переміщенням повітряних мас, то отже, за результатами радіолокаційних вимірювань може бути отримана інформація про температуру і радіальну складову швидкості вітру.

Радіолокаційно-акустичний метод зондування атмосфери базується на двох принципах. Перший принцип полягає в тому, що акустичні хвилі, будучи за своєю природою хвилями поздовжніми, створюють в середовищі, в якій вони розповсюджуються, періодичні зміни густини, тобто періодичні зміни коефіцієнту діелектричної проникності. При падінні електромагнітної енергії на межу стрибків ущільнення середовища відбувається її розсіювання. Частина розсіяної енергії може бути прийнята приймачем РЛС і зареєстрована.

Другий принцип полягає в тому, що швидкість розповсюдження звуку в атмосфері відносно земної поверхні являє собою векторну суму:

$$v_{çâ} = v_{çâ0} \pm v_R \ ,$$

де $v_{çâ0}$ - вектор швидкості звука всередині нерухомої повітряної маси;

v_R - вектор радіальної швидкості повітряної маси, обумовлений її переміщенням.

Якщо напрямок вітру складає з вектором швидкості звука всередині нерухомої маси кут ψ, то сумарна швидкість розповсюдження звуку буде дорівнювати

$$v_{çâ} = v_{çâ0} \pm v_R \cos\psi \ .$$

Якщо заздалегідь знати (або виміряти незалежним способом) швидкість розповсюдження звука в нерухомому середовищі, то шляхом векторного віднімання її з результату вимірювань може бути визначена

складова швидкості вітру вздовж траєкторії розповсюдження радіохвиль.

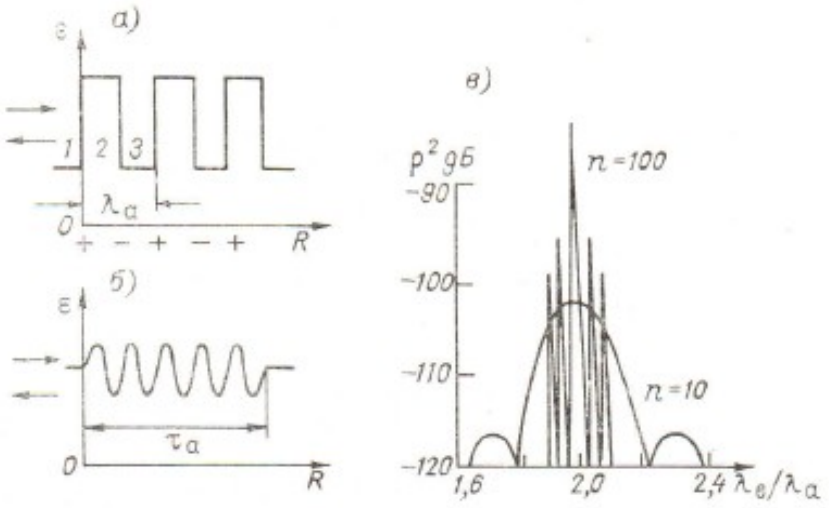


Рис.14.2 До пояснення принципу локаційно-акустичного зондування атмосфери: а – структура прямокутної хвилі, б – структура синусоїдальної хвилі; в – залежність коефіцієнту відбиття P^2 (дБ) від кількості акустичних хвиль в пакеті і від відношення $\frac{\lambda_e}{\lambda_a}$.

У випадку гіпотетичної «прямокутної» акустичної хвилі (рис.14.2, а) квадрат модуля коефіцієнту відбиття (по потужності) визначається формулою

$$P^2 = \frac{(P_{23} + P_{21})^2 + 4\,P_{23}\,P_{12}\sin^2\left(\pi\,\frac{\lambda_a}{\lambda_e}\right)}{(1 + P_{23}\,P_{12}) - 4\,P_{23}\,P_{12}\sin^2\left(\pi\,\frac{\lambda_a}{\lambda_e}\right)}\ , \qquad (14.1)$$

де λ_a - довжина акустичної хвилі;

λ_e - довжина електромагнітної хвилі;

P_{12} - коефіцієнт відбиття на межі середовищ 1 і 2;

P_{23} - коефіцієнт відбиття на межі середовищ 2 і 3.

У випадку відбиття від n поверхонь стиснення – розрядження необхідно користуватися достатньо складною методикою. Тут обмежимося тільки дослідженням формули (14.1), яка приводить до того, що максимум коефіцієнту відбиття має місце при

$$\frac{\lambda_a}{\lambda_e} = \frac{a}{2}, \qquad (14.2)$$

де a - ціле число. Таким чином, якщо виконується співвідношення (14.2), то буде мати місце акустичний резонансний відбивач, який володіє максимальним відбиттям при $a = 1$.

В реальних умовах доводиться мати справу з синусоїдальними акустичними хвилями, для яких резонансне відбиття відбувається при тому ж відношенні $\frac{\lambda_a}{\lambda_e}$, що і для прямокутної хвилі, тобто при $a = 1$ (рис.14.2, б). Для синусоїдальної акустичної хвилі коефіцієнт відбиття по потужності виражається формулою

$$P^2 = \delta n^2 \frac{I}{I_0}, \qquad (14.3)$$

де $\delta = 8{,}87 \cdot 10^{-27}$ - постійна відбиття для повітря;

n - кількість хвиль в акустичному імпульсі;

I - інтенсивність акустичної хвилі в точці відбиття;

$I_0 = 10^{-16}$ Вт/см ^{2} - еталонна інтенсивність акустичної хвилі.

Використовуючи формули (14.2) і (14.3), можна розрахувати залежність коефіцієнту відбиття по потужності від кількості хвиль в акустичному імпульсі і від відношення $\frac{\lambda_a}{\lambda_e}$ (рис.14.2, в). Аналіз (рис.14.2, в) показує, що резонансні властивості акустичного відбивача (ширина смуги) зворотно пропорційні кількості хвиль в акустичному імпульсі, а коефіцієнт відбиття по потужності пропорційний квадрату кількості хвиль. Таким чином, збільшення тривалості акустичного імпульсу збільшує рівень відбитого сигналу, але одночасно зменшує ширину смуги, утруднюючи настроювання акустичного відбивача в резонанс. Тривалість акустичного імпульсу вибирається з умови отримання потрібної дозволяючої здатності по дальності ΔR і визначається виразом

$$\tau_a = \frac{\Delta R}{v_{çâ0}}. \qquad (14.4)$$

Наведемо результати розрахунків, виконаних за формулою (14.1):

ΔR, м	2,5	5	7,5	10
τ_a, сек	$7{,}5 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-3}$	$22{,}5 \cdot 10^{-3}$	$30 \cdot 10^{-3}$
ΔR, м	15	20	30	50
τ_a, сек	$45 \cdot 10^{-3}$	$60 \cdot 10^{-3}$	$90 \cdot 10^{-3}$	$150 \cdot 10^{-3}$

Радіолокаційно-акустична система зондування атмосфери (рис.14.3) являє собою сукупність, яка складається з РЛС з безперервним випроміненням і акустичного імпульсного випромінювача. Генератор акустичних коливань має систему автоматичного підстроювання частоти, яка керується сигналами генератора високої частоти з метою виконання співвідношення (14.2). Як правило, акустичний випромінювач розміщують у фокусі дзеркальної передаючої або прийомної радіолокаційної антени.

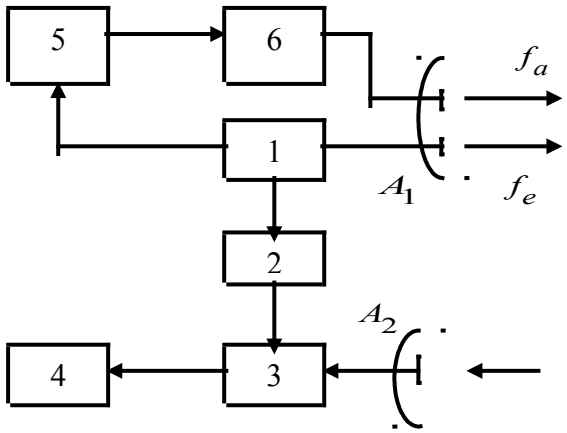


Рис.14.3 Блок-схема радіолокаційно-акустичної системи зондування атмосфери: 1 – високочастотний генератор передавача; 2 – ослаблювач; 3 – радіопередавач; 4 – смуговий фільтр і частотомір; 5 – система автоматичного підстроювання частоти акустичних коливань; 6 – генератор акустичних імпульсів.

Основне рівняння радіолокаційно-акустичної системи виражається співвідношенням

$$P_{ïð} = Ð_з \mathrm{P}^2 = Ð_з \delta n^2 \frac{I}{I_0}. \qquad (14.5)$$

Інтенсивність акустичної хвилі в точці відбиття визначається співвідношенням

$$I = I_1 \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 \cdot 10^{-0,1 \alpha_{çâ} (R_2 - R_1)}, \qquad (14.6)$$

де I_1 - інтенсивність звука при вході у відбивальний шар;

R_1 - відстань від акустичного випромінювача до передньої межі відбивального шару;

R_2 - відстань від акустичного випромінювача до задньої межі шару;

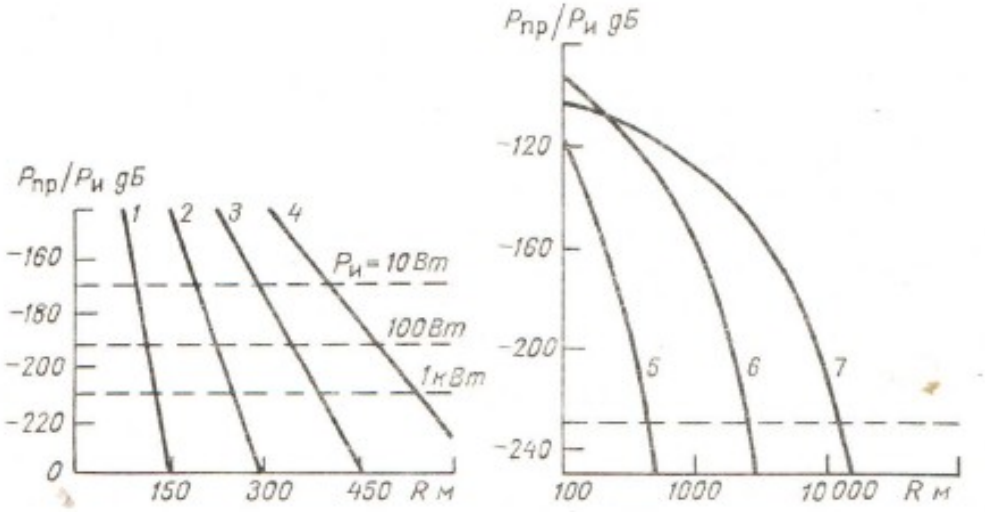
$\alpha_{çâ}$ - питомий коефіцієнт затухання акустичної хвилі.

З врахуванням співвідношення (14.6) вираз (14.5) може бути переписаний у вигляді

$$P_{пр} = P_i \, \delta \, n^2 \frac{I}{I_0} \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 \cdot 10^{-0,1 \alpha_{ça} (R_2 - R_1)} . \qquad (14.7)$$

На рис.14.4, а наведені залежності відношення $\frac{P_{пр}}{P_i}$ від відстані при різних частотах акустичної хвилі ($\tau_\alpha = 23 \cdot 10^{-3}$ сек, $I = 10^{-2}$ Вт/см ^{2}, $R_1 = 3$ м), розраховані за формулою (14.7). Пунктиром дані граничні значення $\frac{P_{пр}}{P_i}$ при різних потужностях випромінених електромагнітних хвиль і чутливості приймача 135 дБ/мВт. На рис.14.4, б наведені залежності відношення $\frac{P_{пр}}{P_i}$ від відстані при різних значеннях акустичної хвилі і $\tau_\alpha = 0,45$ сек. Пунктир відповідає граничному значенню $\frac{P_{пр}}{P_i}$ для $P_i = 10^6$ Вт і чутливості прийомного пристрою 140 дБ/мВт, які можуть бути реалізовані в сучасній апаратурі.

Аналіз залежностей на рис.14.4 показує, що при відносно малих потужностях випромінених радіохвиль дальність дії радіолокаційно-акустичної системи зондування незначна (до 1 км). Подальше збільшення дальності потребує значних збільшень потужності і тривалості акустичного імпульсу.



а б

Рис.14.4 Результати розрахунків: а – залежність $\frac{P_{пр}}{P_i}$ від відстані при різних частотах акустичної хвилі і $\tau_\alpha = 23 \cdot 10^{-3}$ сек, $I = 10^{-2}$ Вт/см ^{2}, $R_1 = 3$

м; б – залежність $\frac{P_{пр}}{P_i}$ від відстані при різних частотах акустичної хвилі і $\tau_\alpha = 0{,}45$ сек; 1 - $f_a = 22$ кГц; 2 - $f_a = 11$ кГц; 3 - $f_a = 7{,}3$ кГц; 4 - $f_a = 5{,}5$ кГц; 5 - $f_a = 11$ кГц; 6 - $f_a = 2{,}87$ кГц; 7 - $f_a = 0{,}88$ кГц;

На закінчення розглянемо деякі можливі застосування радіолокаційно-акустичних систем.

1. За допомогою радіолокаційно-акустичної системи може бути визначена радіальна швидкість вітру за значенням допплерівської частоти, яка зв'язана з радіальною швидкістю розповсюдження акустичного імпульсу співвідношенням

$$F_{ä} = \frac{2}{\lambda_e}\left(\nu_{çâ0} \pm \nu_R\right).$$

Якщо заздалегідь знати значення $\nu_{çâ0}$, то може бути отримана радіальна складова швидкості вітру. Величина $\nu_{çâ0}$ може бути обчислена за відомими значеннями метеорологічних елементів або легко виміряна за допомогою цієї ж радіолокаційно-акустичної системи. Для отримання $\nu_{çâ0}$ достатньо зробити вимірювання допплерівської частоти при акустичному зондуванні в двох протилежних напрямах. У цьому випаду

$$\nu_{çâ0} = \frac{F_{ä1} - F_{ä2}}{\lambda_{å}}. \qquad (14.8)$$

Провівши радіолокаційно-акустичне зондування в трьох напрямках під деякими кутами один до одного або одночасно декількома системами, можна отримати вектор абсолютної швидкості вітру.

2. За допомогою радіолокаційно-акустичної системи може бути отриманий профіль температури вздовж напрямку радіопроменю. Така можливість випливає з наближеного виразу, який зв'язує швидкість розповсюдження акустичної хвилі з параметрами атмосфери

$$\nu_{çâ0} = \nu_0 + 0{,}81\,Ò, \qquad (14.9)$$

де ν_0 - швидкість звука в сухому повітрі і при нормальному тиску, м/сек;

T - температура повітря, ºС.

Профіль ν_0 може бути отриманий вимірюванням $F_{ä1}$ і $F_{ä2}$ у відповідності з формулою (14.9). Профіль температури вздовж напрямку радіопроменю буде визначатися виразом

$$T = \frac{\nu_{çâ} - \nu_0}{0{,}81}.$$

3. За допомогою радіолокаційно-акустичної системи може бути отриманий профіль вологості повітря (пружності водяної пари) вздовж напрямку радіопроменю. Зв'язок швидкості розповсюдження звука з вологістю повітря визначається співвідношенням

$$e = \frac{\nu_{çâ} - \nu_0 - 0{,}6\,Ò}{0{,}07},$$

де $å$ - парціальний тиск водяної пари, мбар;

T - температура повітря, ºС.

Знаючи профіль температури за незалежними результатами вимірювань іншими засобами, наприклад, засобами температурного зондування, за результатами вимірювань $\nu_{çâ}$ (вираз 14.8) може бути визначений профіль вологості. Способи застосування радіолокаційно-акустичних систем не обмежуються викладеними можливостями і можуть служить основою ряду спеціальних задач.

Контрольні запитання:

1. Які бувають системи радіозондування ?
2. Чим визначається положення радіозонду в просторі ?
3. Які системи координат використовуються під час радіозондування атмосфери ?
4. Що відіграє роль передавача радіотелеметричного каналу в сучасних радіолокаційних системах зондування ?
5. Які технічні характеристики має система «Метеор» ?
6. На якій довжині хвилі працює система «Метеор» ?
7. В якому режимі працює система «Метеор» ?
8. Що являє собою радіозонд типу РКЗ-2 ?
9. Які метеовеличини вимірює радіозонд РКЗ-2 ?
10. Що включено до складу вимірювального генератора з метою усунення похибки вимірювання ?
11. Що являє собою система зондування «Метеорит-2» ?
12. В чому полягає відмінність системи «Метеорит-2» від системи «Метеор» ?
13. Які технічні характеристики має система «Метеорит-2» ?
14. В чому полягає відмінність радіозонду РКЗ-5 від РКЗ-2 ?
15. Що використовують для живлення радіозондів ?
16. В чому полягає суть радіолокаційно-акустичного зондування атмосфери ?
17. На чому базується радіолокаційно-акустичний метод зондування атмосфери ?

18. Чи можна розрахувати залежність коефіцієнта відбиття з потужності від кількості хвиль в акустичному імпульсі ?

19. Запишіть основне рівняння радіолокаційно-акустичної системи ?

20. З яких частин складається радіолокаційно-акустична система ?

15. РАДІОЛОКАЦІЙНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ХМАР І ОПАДІВ

15.1 Аналіз основного рівняння хмар і опадів.

Основне рівняння радіолокації метеоцілей визначає залежність потужності сигналу, прийнятого РЛС, від технічних параметрів станції, дальності до цілі, її мікрофізичної структури, умов розповсюдження радіохвиль.

Виведемо основне рівняння радіолокації метеоцілей. Для цього визначимо значення потужності сигналу, прийнятого РЛС від однієї гідрометеорної частинки.

Нехай РЛС випромінює імпульс електромагнітної енергії тривалістю τ_i та імпульсною потужністю P_i. Виділимо в метеоцілі і-ю гідрометеорну частинку A з діаметром d_i, яка знаходиться від РЛС на відстані R (рис.15.1). Визначимо потужність сигналу, відбитого до РЛС цією частинкою.

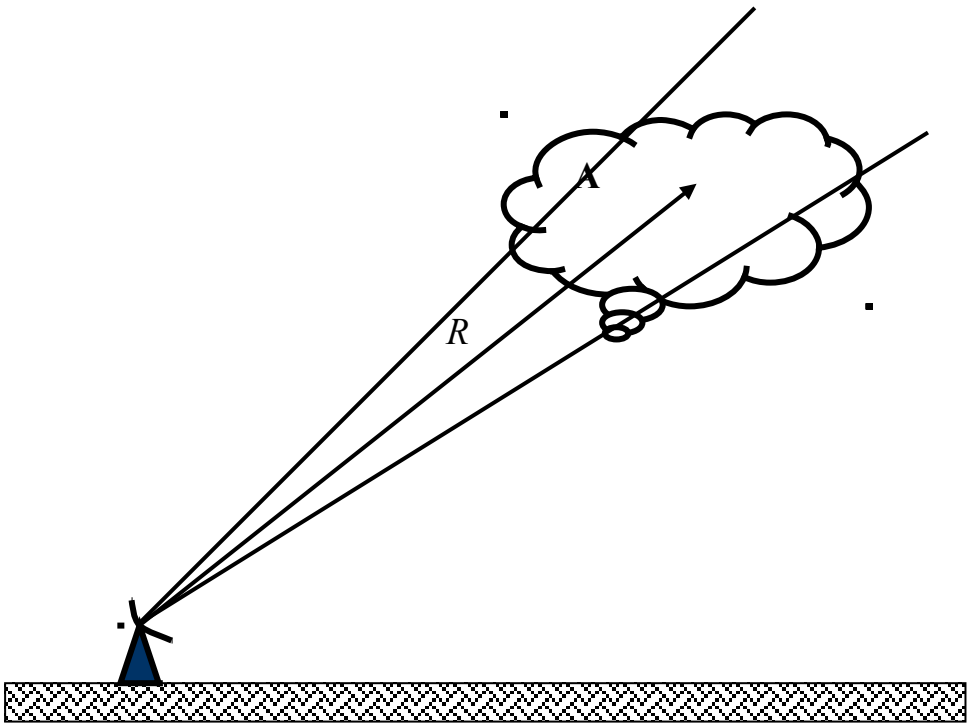


Рис.15.1. Ілюстрація до формули (15.1) потужності сигналу, відбитого гідрометеорною частинкою.

Потужність сигналу, відбитого частинкою *A*, буде дорівнювати добутку густини потоку потужності зондувального сигналу в точці *A* на ефективну площу відбиття частинки

$$P_{вд} = S\,\sigma_{oi}, \qquad (15.1)$$

де S - густина потоку потужності зондувального сигналу РЛС у точці розташування частинки;

σ_{oi} - ефективна відбивальна поверхня частинки з d_i діаметром, що розраховується за формулою

$$\sigma_{oi} = \frac{\pi^5 d_i^6}{\lambda^4}\left|\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2}\right|^2 .$$

Якби РЛС випромінювала потужність рівномірно (ізотропно) в усі сторони (рис.15.2, б), то значення S визначалося б виразом

$$S = \frac{P_i}{4\pi R^2} .$$

Оскільки антена РЛС випромінює тільки в тілесному куті, визначеному шириною діаграми направленості в кутомісцевій і азимутальній площинах (рис.15.2, *а*), то

$$S = \frac{P_i\,G}{4\pi R^2} , \qquad (15.2)$$

де G - коефіцієнт спрямованої дії антени РЛС.

З урахуванням формул (15.2) і ЕПР частинки одержимо

$$P_{вд} = \frac{P_i\,G}{4\pi R^2}\cdot\frac{\pi^5 d_i^6}{\lambda^4}\left|\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2}\right|^2 . \qquad (15.3)$$

Щоб визначити потужність сигналу, прийнятого РЛС від цієї частинки, необхідно густину потоку потужності відбитого сигналу в точці розташування РЛС помножити на ефективну площу антени (апертуру):

$$P_{пр\,i} = S_{вх}\,A ,$$

де $P_{пр\,i}$ - потужність сигналу, прийнятого РЛС від і-тієї частинки;

$S_{вх}$ - густина потоку потужності сигналу, відбитого частинкою,

на вході РЛС;

А - ефективна площа антени.

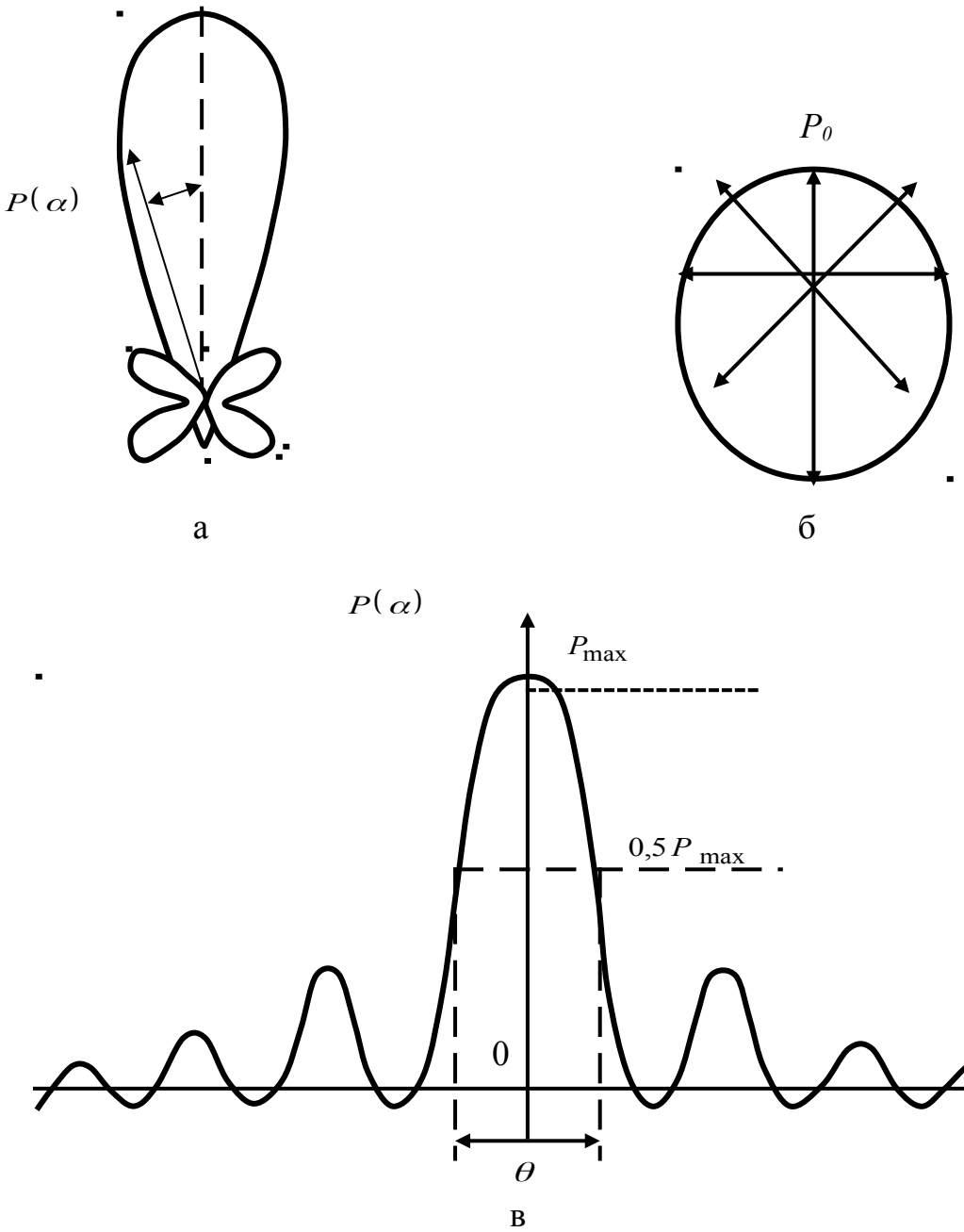


Рис.15.2 Види діаграм направленості: а – направлене випромінювання; б - рівномірне (ізотропне) випромінювання; в – діаграма направленості в декартовій системі координат.

Відповідно до визначення $S_{вх}$ визначається виразом

$$S_{вх} = \frac{P_{вд}}{4\pi R^2} .$$

З урахуванням формули (15.3) маємо

$$S_{вх} = \frac{P_i G}{16\pi^2 R^4} \cdot \frac{\pi^5 d_i^6}{\lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2, \qquad (15.4)$$

тоді

$$P_{пр\ i} = S_{вх} A = \frac{P_i G}{16\pi^2 R^4} \cdot \frac{\pi^5 d_i^6}{\lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 A .$$

Враховуючи, що $A = \frac{G \lambda^2}{4\pi}$, після найпростіших перетворень одержимо

$$P_{пр\ i} = \frac{P_i G^2}{64 R^4} \cdot \frac{\pi^5 d_i^6}{\lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 . \qquad (15.5)$$

Метеоціль складається з безлічі гідрометеорних частинок різних діаметрів, що відбивають електромагнітну енергію. Але не усі вони одночасно беруть участь у створенні відбитого сигналу. З раніше викладеного відомо, що в створенні відбитого сигналу одночасного беруть участь тільки частинки, що знаходяться усередині імпульсного (дозволяючого) об'єму РЛС. Величина цього об'єму

$$V = \frac{\pi c \tau_i}{8} R^2 \theta^2 .$$

Щоб знайти потужність сигналу, прийнятого РЛС від частинок, які знаходяться у цьому об'ємі, визначимо спочатку потужність сигналу, прийнятого від частинок одиничного об'єму метеоцілі.

Нехай в одиничному об'ємі метеоцілі існує сукупність частинок з діаметром від d_1 до d_m. Причому в цьому об'ємі є $N(d_1)$ частинок з діаметром d_1, $N(d_2)$ частинок з діаметром d_2 і так далі, тобто концентрація частинок різних діаметрів описується функцією розподілу їх по розмірах $N(d_i)$.

Потужність сигналу, прийнятого від усіх частинок даного d_i діаметра, буде дорівнює сумі потужностей сигналів, прийнятих від кожної з частинок

$$P_{пр\ N(d_i)} = N(d_i) P_{пр\ i} =$$

$$= N(d_i) \left[\frac{P_i G^2}{64 R^4} \cdot \frac{\pi^2 d_i^6}{\lambda^2} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 \right] .$$

Потужність, прийнята від усіх частинок, що містяться в одиничному об'ємі, визначиться виразом

$$P_{пр\ \Sigma N(d_i)} = \sum_{d_i} P_{пр\ N(d_i)} =$$

$$= \frac{P_i\ G^2}{64\ R^4} \cdot \frac{\pi^2}{\lambda^2} \sum_{d_i} N(d_i)\ d_i^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 . \qquad (15.6)$$

Тепер очевидно, що потужність сигналу, прийнятого РЛС від метеоцілі, може бути знайдена з наступного співвідношення:

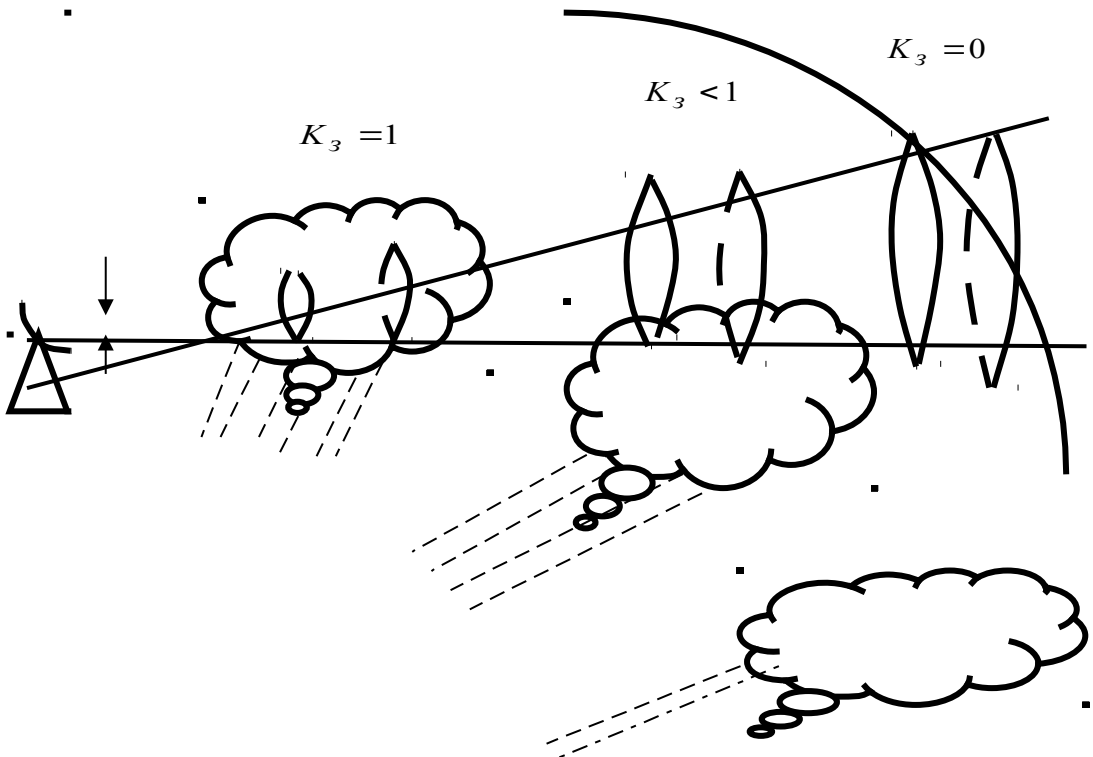
$$P_{пр} = P_{пр\ \Sigma N(d_i)}\ V .$$

Підставляючи в цей вираз значення $P_{пр\ \Sigma N(d_i)}$ і перетворюючи, одержимо

$$P_{пр} = \frac{\pi^3\ P_i\ G^2\ \theta^2\ c\ \tau_i}{512\ R^2\ \lambda^2} \sum_{d_i} N(d_i)\ d_i^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 . \qquad (15.7)$$

Отриманий вираз для потужності відбитого від метеоцілі сигналу справедливий, якщо знехтувати впливом загасання електромагнітної енергії при її розповсюдженні і вважати, що метеоціль цілком заповнює діаграму спрямованості в кутомісцевій і азимутальній площинах.

У дійсності загасання електромагнітної енергії (особливо при локації на великі відстані) може виявитися значним, а метеоціль буде заповнювати діаграму спрямованості частково (рис.15.3).



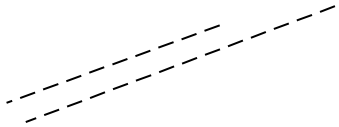


Рис.15.3 До визначення коефіцієнта заповнення $K_з$

Вплив часткового заповнення діаграми спрямованості може бути врахований коефіцієнтом заповнення $K_з$, що змінюється від 0 до 1, а вплив загасання - множником ослаблення

$$K_{осл} = 10^{-0,2\int_0^R \gamma_\Sigma(R)\,dR}.$$

З урахуванням цих коефіцієнтів основне рівняння радіолокації записується в наступному вигляді:

$$P_{пр} = \frac{\pi^3 P_i G^2 \theta^2 c\,\tau_i}{512 R^2 \lambda^2} \sum_{d_i} N(d_i)\, d_i^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 \cdot$$

$$\cdot K_з \cdot 10^{-0,2\int_0^R \gamma_\Sigma(R)\,dR}. \qquad (15.8)$$

Отримана формула показує залежність потужності прийнятого РЛС сигналу:

- від технічних параметрів станції P_i, τ_i, G, θ, λ;
- від мікрофізичної структури метеоцілі (через множник $\sum_{d_i} N(d_i)\, d_i^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2$);
- від водності хмар та інтенсивності опадів (через значення $\gamma_{хм} = \frac{0,438}{\lambda^2} w$ і $\gamma_{оп} = \beta I^\alpha$, які входять у $\gamma_\Sigma(R)$ показника ступеня коефіцієнта ослаблення).

Таким чином, при відомих технічних параметрах РЛС потужність прийнятого від метеоцілі сигналу є інформаційним параметром, що несе інформацію про мікрофізичну структуру хмар, опадів, їх водність й інтенсивність.

Основне рівняння радіолокації можна записати в більш компактній формі

$$P_{пр} = \Pi R^{-2} Z K_3 10^{-0,2\int_0^R \gamma_\Sigma(R)\, dR}, \qquad (15.9)$$

де $\Pi = \pi^3 \dfrac{P_i G^2 \theta^2 c \tau_i}{512 \lambda^2}$ - потенціал метеорологічної РЛС;

$Z = \sum_{d_i} N(d_i) d_i^6 \left| \dfrac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2$ - відбивальна здатність метеоцілі, яка визначається її мікрофізичною структурою.

Потужність прийнятого РЛС сигналу пропорційна потенціалу РЛС і відбивальній здатності метеоцілі. Відбивальна здатність метеоцілей надзвичайно сильно залежить від розмірів гідрометеорних частинок, які утворюють ціль (пропорційна шостому ступеню діаметра частинок).

Відбивальна здатність пропорційна множнику $\left| \dfrac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2$, значення якого визначає агрегатний стан (фазу) гідрометеорних частинок, які утворюють метеоціль. Множник для води дорівнює 0,96, для льодяних частинок – 0,16. Це означає, що відбивальна здатність водяних частинок у шість разів більше ніж льодяних. Але через те, що геометричні розміри льодяних частинок значно більші водяних, то може виявитися, що через це відбивальна здатність льодяних хмар буде більше. На практиці виходить, що Ci, As виявляються метеорологічними РЛС краще, ніж Ac.

Ця неоднозначна залежність Z утруднює розпізнавання типу хмарності за значенням відбивальної здатності. Тому для надійності розпізнавання необхідно залучати додаткові інформативні ознаки.

Значення потужності прийнятого сигналу сильно залежить від умов розповсюдження.

Вплив загасання радіохвиль на величину потужності прийнятого сигналу може бути значним. Візьмемо, наприклад, хвилі довжиною 0,8 см і 3 см. Коефіцієнти загасання в газах складуть:

для $\lambda = 0,8\ см$ - $\gamma_г = \gamma_к + \gamma_{вп} = 0,06$ дБ/км;
для $\lambda = 3\ см$ - $\gamma_г = \gamma_к + \gamma_{вп} = 0,01$ дБ/км.

Тоді коефіцієнти ослаблення K для цих довжин хвиль при віддаленні цілі на 50 км від РЛС складають відповідно 0,35 і 0,8.

Таким чином, ослаблення тільки за рахунок поглинання в газах складе для $\lambda = 0,8$ см - 65% і для $\lambda = 3$ см - 20 %.

Не менш сильно впливають на зменшення потужності прийнятого від метеоцілі сигналу хмари й опади, що знаходяться на трасі розповсюдження радіохвиль між РЛС і метеоціллю. Так, наприклад,

якщо довжина хмар і опадів, які екранують метеоціль, складе 50 км, а їхня водність $w = 1$ г/м^3 та інтенсивність $I = 1$ мм/год, то ослаблення в хмарах складе 78% для $\lambda = 0{,}8$ см і 11% для $\lambda = 3$ см.

Ослаблення в дощі складе 44% для $\lambda = 0{,}8$ см і 4% для $\lambda = 3$ см.

Наведені дані свідчать, що ослаблення потужності прийнятого сигналу в міліметровому діапазоні хвиль ($\lambda = 0{,}8$ см) дуже значні. Цим можна пояснити те, що, незважаючи на збільшення відбивальної здатності метеоцілей у міліметровому діапазоні хвиль δ_0 (обернено пропорційна λ^4), у метеорологічних РЛС хвилі міліметрового діапазону застосовуються для виявлення метеоцілей у ближній зоні (до 40-50 км).

15.2 Радіолокаційне вимірювання висоти нижньої і верхньої межі хмар.

Вимір висот хмар і опадів, розташованих у районі РЛС, проводиться в основному при роботі станції в режимі сканування антени по куту місця від 0 до 90° у напрямку обраного азимута, тому що при цьому забезпечується одержання вертикальних просторових розрізів хмар. Висота хмар і зон опадів визначається по ІДВ.

Для виміру висот хмар у «точці» використовується режим вертикального або похилого зондування при нерухомій антені, спрямованій вертикально вверх або під кутом місця менше 90°.

Висоти хмар визначаються на ІДВ та індикаторі типу *А*. З появою радіолуни метеорологічних цілей масштаб розгорнення на індикаторах вибирається в залежності від висоти їх верхньої і нижньої меж. З метою підвищення точності вимірів потрібно по можливості використовувати найбільш великий масштаб розгорнень.

За допомогою вертикальних розрізів на ІДВ можливі виміри висот хмар, розташованих на дальностях, де виключається вплив луно-сигналів місцевих предметів. Ці сигнали з'являються за рахунок бічних пелюстків діаграми спрямованості.

При вимірах у режимі вертикального або похилого зондування для зменшення впливу «місцевиків» варто вибирати такі азимути і кути місця антени, при яких забезпечуються мінімальні дальності їхнього виявлення.

З метою документації вимірів висот хмар, а також спостережень за грозовими і зливовими осередками, зонами опадів, а також хмарами без опадів робиться по кадрова фотозйомка екранів індикаторів. Фотографії вертикальних розмірів хмар і опадів виходять при

зйомці екрана індикатора висота-дальність. При плівці нормальної чутливості час витримки в цьому випадку дорівнює часу сканування антени по куту місця від 0 до 90°. Час витримки при зйомці індикатора типу А складає 0,5 - 1 сек. При фотографуванні зображень метеорологічних цілей на ІКО зазначений час витримки дорівнює часу одного оберту антени по азимуту.

Для одержання часових вертикальних розрізів атмосферних утворень антена РЛС повинна бути нерухомою і направленою вертикально вверх. Нерухома лінія розгорнення на індикаторі висота - дальність фотографується за допомогою фотокамери, що працює в режимі протягання плівки. При усіх видах фотографування повинні бути включені мітки дальності, зафіксований масштаб розгорнення, час і дата.

Визначення поля висот радіолуни робиться шляхом послідовних вимірювань величин H_i км в кожному осередку простору, зайнятого радіолуною, розміром 30×30 км. Для визначення H_i вимірюються максимальні кути підвищення антени ε_i в кожному осередку, за яких відмічається момент початкової появи радіолуни під час руху антени зверху вниз.

Отримання якісних картин горизонтального розподілу радіолуни і вимірювання величин ε_i виконуються таким чином:

- на екран ІКО накладається шаблон з координатною сіткою без орнаменту;
- установлюється масштаб розгортки 300 км;
- установлюється лінійний режим роботи приймача МРЛ-1, в МРЛ-2 відмикається корекція на відстань;
- вмикається режим «обертання» антени;
- установлюється на пульті керування приводом антени $\varepsilon_{\text{íïò}} = 0 \div 3^\circ$, при якому на ІКО спостерігається найбільша площа радіолуни;
- склографом робиться зовнішній контур спостережуваної на ІКО радіолуни і М:300 км.

Примітка. Часто на відстанях від 30 до 100 км при радіолуні шаруватих хмар (РШХ) контур під оптимальним кутом може занизити площу, зайняту радіолуною. У цих випадках потрібно зробити контур радіолуни так, щоб всі зафіксовані значення $\lg Z$ виявилися всередині контуру. Проведення такого контуру повинне робитися одночасно з зніманням ε_i.

Особливо ретельно повинні бути виділені найбільш близькі до центру екрану контури радіолуни при $\varepsilon = 0{,}2 \div 1^\circ$. За їхнім зміщенням надалі будуть визначаться швидкість і напрямок переміщення радіолуни. Якщо чітко видно край піднятої радіолуни, що наближається, то кут

підвищення антени ε вибирається в залежності від висоти ближнього краю і рядом з контуром робиться помітка, на якій висоті отриманий найбільш близький до центру екрана контур:

- задається такий кут підвищення антени, при якому на екрані ІКО, починаючи з 30 км, пропадає радіолуна. Всі відліки кутів підвищення повинні робитися тільки з шкал керування приводом антени.

Примітка. Установлювати кути підвищення за індикаційною шкалою на ІКО не можна. Це пояснюється низькою точністю слідкуючої системи індикаційної шкали, що дорівнює $\pm 1^\circ$. Шкала на ІКО використовується тільки для якісного контролю положення антени.

- при послідовному зменшенні кута підвищення антени на 1° в кожному осередку шаблону, де з'являється відбитий сигнал, фіксуються склографом кути ε_i (рис.15.4). На відстані від 30 до 90 км необхідно враховувати фактичну відстань, при якій відмічається ε_i, і перераховувати H по уточненій табл.15.1;

- уточнюється положення лінії контуру радіолуни.

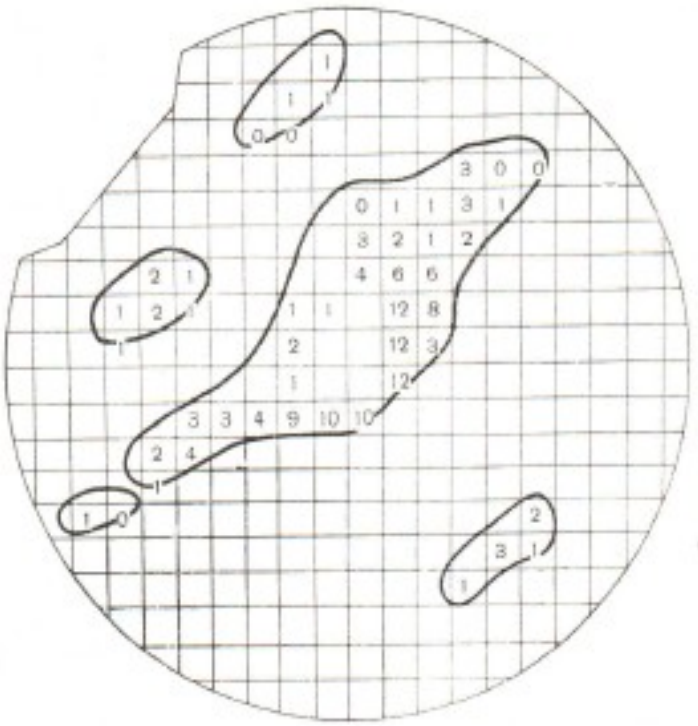


Рис.15.4 Приклад запису кутів підвищення антени ε на прозорому табло з координатною сіткою.

Визначення максимальних висот радіолуни хмарності відносно висоти розташування МРЛ в кожному осередку проводиться за табл.15.2.

Зіставлення цифрової карти висот робиться за допомогою світлового столика, на якому з шаблону без орнаменту на бланк форми № 1 переносяться відповідно для кожного осередку величини H км. Величини H пишуть в лівому куту кожного осередку, де відмічена радіолуна. Необхідно на відстанях від 150 до 300 км робити знімання кутів підвищення антени через 0,5°. Це ж рекомендується на будь-яких відстанях, коли екран ІКО заповнений радіолуною менше ніж на 1/3. Дані для розрахунку H км через 0,5° наведені в табл.15.2.

Таблиця 15.1 Визначення висоти радіолуни H (км) за кутом місця ε і відстаню до центру осередку r_i (км)

r_i	ε																	
	12′	24′	30′	42′	48′	54′	1°	1°15′	1°30′	1°45′	2°	2°15′	2°30′	2°45′	3°	3°15′	3°30′	3°45′
15	0,06	0,11	0,14	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0
30	0,15	0,25	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,1
45	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,2	1,4	1,5	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1
60	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,6	1,9	2,1	2,4	2,6	2,9	3,2	3,4	3,7	4,0	4,3
75	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6	2,1	2,4	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,4	4,7	5,0	5,4
90	0,8	1,1	1,2	1,5	1,7	1,9	2,0	2,6	3,0	3,4	3,7	4,1	4,5	5,0	5,3	5,7	6,1	6,5
105	1,0	1,4	1,5	1,9	2,1	2,3	2,4	3,1	3,5	4,0	4,5	4,9	5,4	5,9	6,3	6,8	7,2	7,7
120	1,3	1,7	1,9	2,3	2,5	2,7	2,9	3,6	4,2	4,7	5,2	5,7	6,3	6,8	7,3	7,8	8,4	8,9
135	1,5	2,0	2,2	2,7	2,9	3,2	3,4	4,2	4,8	5,4	6,0	6,6	7,2	7,8	8,4	8,9	9,4	10,1
150	1,9	2,3	2,6	3,1	3,4	3,6	3,9	4,8	5,5	6,1	6,8	7,5	8,1	8,7	9,4	10,1	10,7	11,4
165	2,2	2,7	3,0	3,6	3,9	4,1	4,4	5,4	6,2	6,9	7,6	8,3	9,1	9,8	10,5	11,2	11,9	12,7
180	2,5	3,2	3,5	4,1	4,4	4,7	5,0	6,1	6,9	7,7	8,5	9,3	10,0	10,8	11,6	12,4	13,2	14,0
195	2,9	3,6	3,9	4,6	5,0	5,3	5,6	6,8	7,6	8,5	9,4	10,2	11,1	11,9	12,8	13,6	14,5	15,3
210	3,4	4,1	4,4	5,1	5,5	5,8	6,2	7,5	8,4	9,3	10,3	11,2	12,1	13,0	14,0	14,8	15,8	16,7
225	3,8	4,6	4,9	5,7	6,1	6,5	6,9	8,2	9,2	10,2	11,2	12,2	13,1	14,2	15,1	16,1	17,1	18,1
240	4,3	5,1	5,5	6,3	6,7	7,1	7,5	9,0	10,0	11,1	12,2	13,2	14,3	15,3	16,4	17,4	18,5	19,5
255	4,8	5,6	6,0	6,9	7,4	7,8	8,2	9,8	10,9	12,0	13,2	14,2	15,4	16,5	17,6	18,7	19,9	-
270	5,3	6,2	6,7	7,6	8,0	8,5	9,0	10,6	11,8	13,0	14,2	15,4	16,5	17,7	19,0	-	-	-
285	5,8	6,8	7,3	8,3	8,7	9,2	9,7	11,4	12,7	14,0	15,2	16,5	17,7	19,0	-	-	-	-
300	6,4	7,4	7,9	9,0	9,5	10,0	10,5	12,3	13,6	15,0	16,3	17,6	19,0	-	-	-	-	-

Таблиця 15.2 Залежність висоти радіолуни H (км) від відстані до центру осередку r_i (км) і ε

ε	r_i											
	30	45	60	75	90	105	135	165	195	225	255	285
0	<<1	<<1	<<1	<<1	<1	<1	1	2	2	3	4	5
0,2	<<1	<<1	<1	<1	<1	1	1,5	2	3	4	5	6
0,5	<1	<1	<1	1	1	2	2	3	4	5	6	7
1,0	<1	<1	1	2	2	2,5	3	4,5	6	7	8	10
1,5	<1	1	2	2,5	3	3,5	5	6	8	9	11	13
2,0	1	2	3	3	4	4,5	6	8	9	11	13	15
2,5	1	2	3	4	5	5	7	9	11	13	15	18
3,0	2	2,5	3	4	5	6	8	10,5	13	15	18	-
4,0	2	3	4	6	7	8	10,5	13	16	19	-	-
5,0	3	4	5	7	8	10	13	16	19	-	-	-
6,0	3	5	6,5	8	10	12	15	-	-	-	-	-
7,0	4	6	7,5	9	11	13	17,5	-	-	-	-	-
8,0	4	6	9	11	13	15	-	-	-	-	-	-
9,0	5	7	10	12	15	17,5	-	-	-	-	-	-
10,0	5	8	11	13	16	-	-	-	-	-	-	-
11,0	6	9	12	15	18	-	-	-	-	-	-	-
12,0	6	9	13	16	-	-	-	-	-	-	-	-
13,0	7	10	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14,0	7	11	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15,0	8	12	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16,0	8	12	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17,0	9	13	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18,0	9	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19,0	10	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20,0	10	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21,0	11	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22,0	11	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23,0	12	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Якщо радіолуна займає площу менше 1/3 площі осередку 30×30 км, а висота цієї частини радіолуни менше або дорівнює висоті в сусідньому осередку, то висота в такій неповністю занятому осередку з шаблону на бланк № 1 і на бланк представлення на переноситься. Це ж зауваження повністю відноситься і до відбиваності.

Звертаємо особливу увагу на помилку, яку звичайно допускають деякі оператори при зніманні висот РШХ. В осередках, розташованих на відстані від 30 до 90 км, вони фіксують кут підвищення антени ε з моменту появи радіолуни не в центрі цих осередків, а в одному з її кутів, як правило, ближніх до центру екрану. Це приводить до значного розходження висот радіолуни в ближній і дальній зонах.

Оперативне документування – фотографування картини радіолуни на ІКО - здійснюється тільки в основні строки автоматичним фотоапаратом ФАРМ-2 в М:300 км під оптимальним кутом підвищення антени.

15.3 Радіолокаційний метод вимірювання водності хмар та інтенсивності випадаючих опадів.

Радіолокаційні станції використовуються не тільки для спостережень за хмарами й опадами як просторовими об'єктами, але також і для кількісного визначення інтенсивності опадів і водності хмар.

При цьому використовуються зв'язки між відбиваністю опадів $Z = \Sigma ND^6$, пропорційною середній потужності відбитого сигналу $\bar{P}_r$, та інтенсивністю опадів *I*. Звичайно ці зв'язки встановлюються дослідним шляхом.

На цей час вітчизняними і закордонними авторами виконано ряд робіт, присвячених визначенню інтенсивності опадів радіолокаційним методом. Отримані ними результати показують як переваги радіолокаційного методу, так і його недоліки. Найважливіша перевага полягає в тому, що забезпечується одночасне і дистанційне визначення інтенсивності опадів на великих площах з великою точністю. Недоліки методу зв'язані з тим, що використовувані емпіричні зв'язки між відбиваністю *Z* та інтенсивністю опадів *I* різні для різних типів опадів і умов їхнього утворення. Внаслідок цього при вимірі опадів раціонально використовувати як радіолокаційні станції, так і метеорологічні прилади - дощоміри, тому що тільки в цьому випадку можна одержати найбільш повну інформацію про опади, що випадають над великими площами.

Вираз для відбивальної характеристики дощів можна записати в наступному вигляді:

$$Z = \int_0^\infty N(D) D^6 dD . \qquad (15.10)$$

У той же час інтенсивність дощу дорівнює

$$I = \frac{\pi}{6} \rho \int_0^\infty N(D) D^3 v D(D) dD , \qquad (15.11)$$

де $v(D)$ - швидкість падіння дощових крапель при усталеному русі,

ρ - густина води.

Функціональний зв'язок між Z і I може бути встановлений тільки при відомому законі розподілу крапель за розмірами.

Аналіз численних експериментальних даних про мікроструктуру дощів показує, що розподіл дощових крапель задовільно описується наступною формулою:

$$N(D)dD \approx N_o D^\beta e^{-\gamma D} dD , \qquad (15.12)$$

де D - діаметр краплі,

N_o - загальна кількість крапель в одиниці об'єму,

$N_o\ N(D)$ - кількість крапель даного розміру від D до $d+D$,

β і γ - параметри розподілу.

Внаслідок дуже сильної залежності радіолокаційної відбиваності від діаметра крапель (шостий ступінь) основне значення при розрахунках величини Z має крупнокрапельна частина кривої розподілу. Внаслідок цього дрібнокрапельною частиною кривої, що характеризується множником D^β, можна знехтувати.

Тоді співвідношення (15.12) перепишеться так:

$$N(D)dD \approx N_o e^{-\gamma D} dD \qquad (15.13)$$

і воно буде виражати крупнокрапельну частину кривої розподілу крапель за розмірами, починаючи від її максимуму.

Співвідношення (15.12) справедливе для широкого діапазону величин інтенсивностей дощів і снігопадів. В останньому випадку під величиною D розуміється діаметр сферичної дощової краплі, яка має ту ж масу, що і сніжинка.

Якщо пронормувати функцію (15.12), то, скориставшись гамма-функціями Γ, одержимо,

$$N(D)dD = \frac{N_o\ \gamma^{\beta+1}}{\Gamma(\beta+1)} D^\beta e^{-\gamma D} dD . \qquad (15.14)$$

Для визначення інтенсивності дощу необхідно знати функцію $v(D)$. Для неї запропоновано ряд апроксимацій, однак їх застосування призводить до громіздких обчислень, тому обмежуються двома

наближеннями. Коли $D \le 0{,}1$ см, то $v = a_1 D$, якщо ж $D > 0{,}1$ см, то $v = a_2\sqrt{D}$. Тут $a_1 = 4200$ с$^{-1}$ і $a_2 = 1420$ см^2/с.

Підставивши вираз (15.14) і приведені формули для швидкості падіння крапель у співвідношення (15.11), одержимо:

$$I = \frac{\pi}{6}\rho\int_0^\infty D^4 a_1 \frac{N_o \gamma^{\beta+1}}{\Gamma(\beta+1)} D^\beta e^{-\gamma D} dD =$$

$$= \frac{\pi\rho a_1}{6} N_o \frac{1}{\gamma^4}\frac{\Gamma(\beta+5)}{\Gamma(\beta+1)} 3{,}6\cdot 10^4 \qquad (15.15)$$

і

$$I = \frac{\pi}{6}\rho\int_0^\infty D^{3,5} a_2 \frac{N_o \gamma^{\beta+1}}{\Gamma(\beta+1)} D^\beta e^{-\gamma D} dD =$$

$$= \frac{\pi\rho a_2}{6}\frac{N_o}{\gamma^{3,5}}\frac{\Gamma(\beta+4{,}5)}{\Gamma(\beta+1)} 3{,}6\cdot 10^4 . \qquad (15.16)$$

У співвідношеннях (15.15) і (15.16) N_o виражене в 1/ см^3, γ - у см$^{-1}$, I - у мм/год.

Таким чином, для точного визначення інтенсивності дощу необхідно знати функції розподілу крапель за розмірами (параметри γ і β) та їх концентрацію N_0.

Число дощових крапель у 1 м^3 дощу коливається від декількох десятків до декількох сотень. Установлено, що для досить тривалих дощів незалежно від їхньої інтенсивності кількість крапель в 1 м^3 приблизно дорівнює 500 - 700.

Формули, що зв'язують відбиваність опадів Z з їхньою інтенсивністю I, багатьма авторами отримані чисто експериментальним шляхом, коли одночасно з виміром інтенсивності опадів визначалася кількість і розподіл крапель за розмірами, які дозволяють визначити величину Z.

Умовам наших помірних широт найкраще відповідають формули:

для дощу $Z = 209 I^{1,69}$ і $Z = 200 I^{1,6}$,

для снігу $Z = 2000 I^{2,0}$ (15.17)

15.4 Радіолокаційний метод вимірювання швидкості і переміщення хмар.

Правила з визначення швидкості і напрямку переміщення хмарної системи.

В процесі вимірювання переміщення радіолуни хмарних полів потрібно додержуватися ряд правил.

1. При вимірюваннях перевага віддається тим краям радіолуни, які розташовані найближче до центру екрану ІКО і, отже, точніше відбивають межі хмарності.

2. Якщо радіолуна відмічається на ІКО у вигляді суцільної або не суцільної лінії, яка складається з окремих осередків, швидкість визначається по складовій, яка перпендикулярна до осі лінії, а не до їхнього загального зміщення, і за строк в середньому не менше 60 хвилин.

3. Якщо поле радіолуни відмічається на ІКО з рівним краєм, швидкість радіолуни визначається за перпендикуляром до його краю і за строк не менше 60 хвилин.

4. Якщо поле радіолуни відмічається на ІКО у вигляді хаотично розкиданих конвективних осередків, які займають порівняно легко локалізовану зону, оцінити переміщення такої зони можна тільки по зміщенню одиноких осередків, які входять до поля, за строк не менше 60 хвилин. До величини зміщення центру тяжіння такого поля або контуру ближнього краю, визначеного за строк менше 60 хвилин, потрібно відноситися дуже обережно і уточнювати при першій можливості.

5. При наближенні до центру екрану ІКО хмарного поля з шаруватими і шарувато-дощовими хмарами контури радіолуни часто бувають розмитими. У цьому випадку прогноз приходу опадів в пункт може бути даний з великою помилкою. Для її зменшення потрібно або уточнити місцеположення зони опадів за допомогою вертикального розрізу на ІДВ в масштабах 20/40 або 40/80 км, або визначити швидкість переміщення радіолуни шарувато подібних хмар по зміщенню в послідовні строки ближнього до центру екрану ІКО краю контуру однакової відбиваності (влітку $\lg Z = 0$).

6. Необхідно звернути увагу операторів на те, що швидкість f і напрямок d підвищеної радіолуни і радіолуни шарувато подібних хмар практично можна визначити тільки при їх наближенні до МРЛ. Тому, якщо в цих ситуаціях не отримані надійні дані про f і d, пропуск хоч би одного додаткового щогодинного строку приводить іноді до видачі неправильної інформації про f і d протягом всього чергування.

7. Із збільшенням відстані від МРЛ при одному і тому ж куті підвищення антени рівень висот радіолуни хмарності, за якими вимірюється швидкість, буде різною. Наприклад, якщо виникла необхідність оцінити швидкість переміщення на відстанях більше 180 км, то при кутах підвищення $\varepsilon = 0 \div 0{,}5^\circ$ виявляється шар хмарності

на висотах від 3 до 7 км. Отже, на бланках представлення потрібно вказувати висоту, на якій вимірювалися f і d.

8. Якщо в процесі спостережень поблизу або над самим МРЛ починають випадати опади, то потрібно бути особливо уважним, щоб можливе зменшення площі радіолуни через ослаблення радіохвиль в опадах не видати за переміщення радіолуни.

9. Якщо в результаті вимірювання виходить значення швидкості радіолуни, що перевищує 65 км/год (18 м/с), то оператор зобов'язаний уточнити вимірювання f в найближчій строк, оскільки такі швидкості радіолуни зустрічаються рідко і зв'язані з штормовими умовами.

Порядок вимірювання швидкості радіолуни хмарної системи. При визначення швидкості і напрямку переміщення радіолуни хмарного поля рекомендується додержуватися такої послідовності операцій.

1. На шаблоні H_1 (масштаб 300 км) проводяться контури однотипної радіолуни (крім підвищеного) в момент часу t_1, яка відмічається на шаблоні, під кутами підвищення антени $\varepsilon = 0 \div 1^\circ$. Кут підвищення вибирається таким, щоб радіолуна хмарності не співпадала з радіолуною місцевих предметів в масштабі 100 або 150 км, якщо на ІКО є «Зміщення центру», на тому шаблоні, який необхідний оператору для знімання інформації (шаблон H_3 або H_2, або H_1).

2. Через проміжок часу Δt_1 (30 хв $\leq \Delta t_1 \leq$ 90 хв) в момент часу t_2 знову проводяться контури радіолуни на тій же самій висоті, що і в строк t_1. Час t_2 відмічається на шаблоні.

3. Відмічається напрямок руху радіолуни d_1 з точністю до найближчих 10° відносно півночі.

4. Проводиться перпендикуляр до рівного краю радіолуни або до її осі, якщо радіолуна у вигляді лінії. По ній, користуючись масштабом, вимірюється з точністю до 5 км зміщення l_1 між контурами, які проведені за два останні строки.

5. Швидкість обчислюється за формулою $f_1 = 60\frac{l_1}{\Delta t_1}$ км/год, де $\Delta t_1 = t_2 - t_1$ хв - проміжок часу. Ці значення f_1 і d_1 наносяться на бланк представлення і записуються в журнал.

6. В строк t_3 знову проводиться контур радіолуни і відмічається час і напрямок її руху d_2.

7. За правилом, викладеному в п.4, визначається зміщення.

8. Розраховується швидкість $f_2 = 60\frac{l_2}{\Delta t_2}$, де $\Delta t_2 = t_3 - t_2$ хв.

9. Потім обчислюється середня швидкість $\bar{f} = \frac{f_1 + f_2}{2}$. Величини $\bar{f}$ і d_2 наносяться на бланк представлення і записуються в журнал. Для

величини d, як правило, осереднення не потрібне. Проте в сумнівних випадках краще осереднити і d.

10. Після строку t_4 і виконання відповідних операцій, визначається напрямок d_3, розраховується швидкість і на бланк представлення наноситься $\bar{f} = \frac{f_1 + f_2 + f_3}{3}$ і d.

11. На рис.15.5 наведений приклад визначення швидкості за характерними точками контуру:

$$f_1 = 60\frac{25}{30} = 50 \text{ км/год};$$

$$f_2 = 60\frac{100}{90} = 67 \text{ км/год};$$

$$f_3 = 60\frac{10}{30} = 20 \text{ км/год};$$

$$\bar{f} = \frac{f_1 + f_2}{2} = \frac{50 + 67}{2} = 58 \text{ км/год};$$

$$\bar{f} = \frac{f_1 + f_2 + f_3}{3} = \frac{50 + 67 + 20}{3} = 46 \text{ км/год};$$

а також за декількома характерними точками контуру:

$$f = \frac{\bar{f}_1 + \bar{f}_2 + \bar{f}_3}{3} = \frac{60\frac{25}{30} + 60\frac{20}{30} + 60\frac{20}{30}}{3} = 43 \text{ км/год};$$

$$\bar{f}' = \frac{60\frac{55}{90} + 67 + 60\frac{55}{90}}{3} = 47 \text{ км/год};$$

$$\bar{f}'' = \frac{20 + 40 + 50}{3} = 37 \text{ км/год};$$

$$\frac{\bar{f}_1 + \bar{f}_2}{2} = 45 \text{ км/год}; \qquad \frac{\bar{f} + \bar{f}' + \bar{f}''}{3} = 41 \text{ км/год}.$$

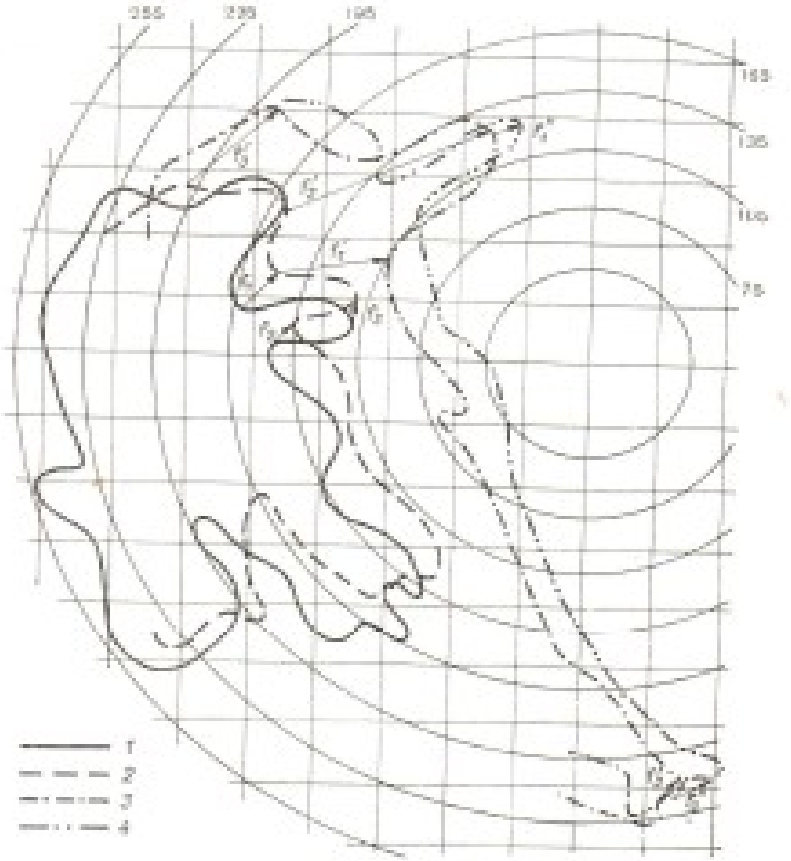


Рис.15.5 Визначення швидкості за характерними точками контуру: 1 – о 11 год 30 хв; 2 – о 12 год 00 хв; 3 – о 13 год 30 хв; 4 – о 14 год 00 хв.

Визначення швидкості переміщення радіолуни шарувато подібних хмар з введенням ослаблення $\left(\frac{P_{пр}}{P_0} = 12\ дБ\right)$ наведене на рис.15.6:

Рис.15.6 Визначення швидкості переміщення радіолуни шаруватоподібних хмар з введенням ослаблення $\left(\frac{P_{пр}}{P_0} = 12\ дБ\right)$: 1 - о 9 год 40 хв; 2 – о 10 год 10 хв; 3 – о 11 год 10 хв; 4 – о 12 год 10 хв.

$$f_1 = 60\frac{10}{30} = 20 \text{ км/год};$$

$$f_2 = 60\frac{20}{60} = 20 \text{ км/год};$$

$$f_3 = 60\frac{10}{30} = 20 \text{ км/год};$$

$$\bar{f} = \frac{f_1 + f_2}{2} = \frac{20 + 20}{2} = 20 \text{ км/год};$$

$$\bar{f} = \frac{f_1 + f_2 + f_3}{3} = \frac{20 + 20 + 20}{3} = 20 \text{ км/год.}$$

Швидкість переміщення смуги визначається таким чином:

а) при θ, близькому до 90º,

$$f_1 = 60\frac{\Delta l}{\Delta t} = 60\frac{20}{60} = 20 \text{ км/год},$$

$$f_2 = 20 \text{ км/год};$$

б) при будь-якому θ

$$f_1 = f\cos\theta.$$

Наприклад, при $\theta = 40^{\circ}$ (рис.15.7)

$$f_1 = 25 \cdot 0{,}77 = 19 \text{ км/год},$$

$$f_2 = 19 \text{ км/год}.$$

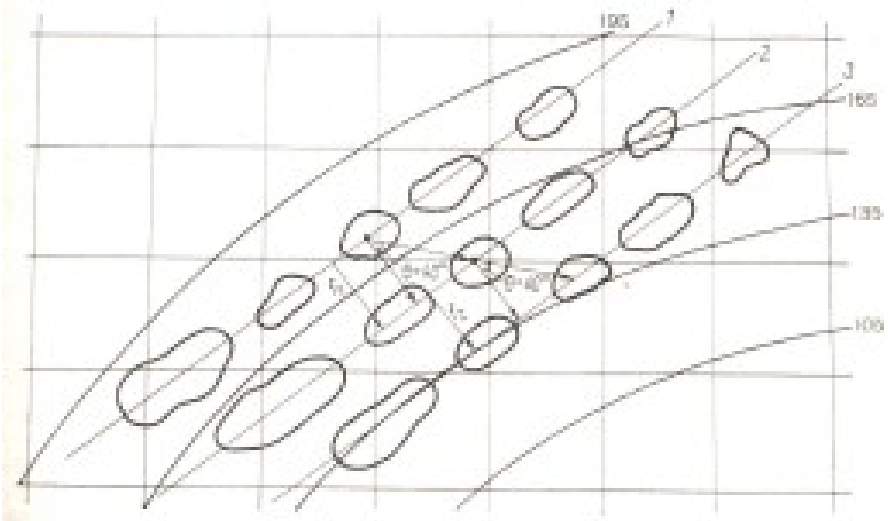


Рис.15.7 Визначення швидкості переміщення смуги: 1 - о 11 год 05 хв; 2 – о 12 год 05 хв; 3 – о 13 год 05 хв.

Контрольні запитання:

1. Що визначає основне рівняння радіолокації метеоцілей ?
2. Від чого залежить потужність відбитого сигналу ?
3. Відбивальна здатність - де більша у водяних частинок чи льодяних ?
4. Що таке апертура антени ?
5. На якій довжині хвилі коефіцієнт загасання буде більшим ?
6. Для чого застосовуються хвилі міліметрового діапазону ?
7. На яких індикаторах визначаються висоти хмар ?
8. Який режим антени використовується для виміру висоти хмар у «точці» ?
9. Як робиться визначення поля висот радіолуни ?
10. Чи можна отримати якісну картину розподілу радіолуни і як ?
11. На якій максимальній відстані може знаходитися метеоціль, щоб МРЛ зміг її виявити ?
12. За допомогою якого індикатора можна визначити розмір хмар ?
13. Яку помилку допускають оператори під час знімання висот РШХ ?

14. Чи залежить радіолокаційна відбиваність від діаметру крапель ?

15. Який порядок вимірювання швидкості радіолуни хмарної системи ?

16. Яка кількість крапель може бути в 1 м ^{3} під час дощу ?

16. СУЧАСНІ ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

16.1 Нові розробки вимірювачів температури, тиску, вологості повітря, швидкості і напрямку вітру, метеорологічної дальності видимості та інші.

Прецизійні барометри Fischer

Призначення. Прецизійні барометри служать для вимірювання абсолютного атмосферного тиску. За рахунок високої точності вимірювання вони особливо незамінні в метеорології, мореплаванні, промисловості і наукових дослідженнях.

Технічні характеристики

Точність вимірювання	± 0,7 гПа	± 0,5 мм рт. ст
Ціна поділки шкали	0,5 гПа	0,5 мм рт. ст

Циферблат: сріблясто-матовий; Діаметр 130 мм
102 - корпус з легкого металу з підвіскою у вигляді кільця. Діаметр 133 мм; вага - 0,5 кг;
103 - корпус з легкого металу з пригвинченим фланцем. Діаметр 165 мм; вага 0,55 кг.

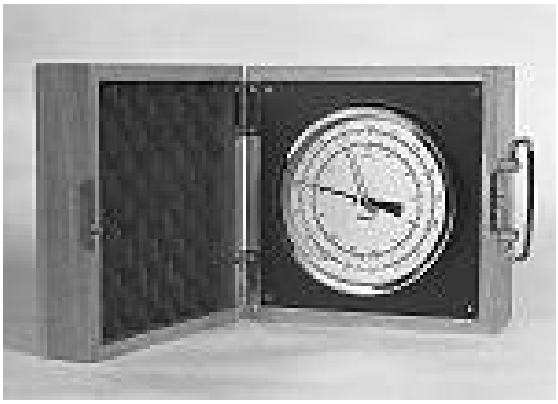
102-001	Діапазон вимірювань	890 - 1050 гПа	670 - 790 мм рт. ст	висота застосування: від 0 до 800 м над рівнем моря
102-002	Діапазон вимірювань	760 - 960 гПа	570 - 720 мм рт. ст	висота застосування: від 800 до 2000 м над рівнем моря
103-001	Діапазон вимірювань	890 - 1050 гПа	670 - 790 мм рт. ст	висота застосування: від 0 до 800 м над рівнем моря
103-002	Діапазон вимірювань	760 - 960 гПа	570 - 720 мм рт. ст	висота застосування: від 800 до 2000 м над рівнем моря

Технічні характеристики

Точність вимірювання	± 0,7 гПа	± 0.5 мм рт. ст (для моделі 106 РМ: ± 2 гПА / 1,5 мм рт. ст.)
Ціна поділки шкали	0,5 гПа	0,5 мм рт. ст (для моделі 106 РМ: 1 гПа / 1 мм рт. ст.)

Циферблат: білий; діаметр 130 мм
103 MS - корпус з легкого металу, люнет, пригвинчений фланець з латуні. Діаметр 165 мм; вага 0,55 кг
103 РМ и 106 РМ - полірований латунний корпус, пригвинчений фланець. Діаметр 165 мм; вага 0,75 кг

103MS-001	Діапазон вимірювань	890 - 1050 гПа	670 - 790 мм рт. ст	висота застосування: від 0 до 800 м над рівнем моря
103MS-002	Діапазон вимірювань	760 - 960 гПа	570 - 720 мм рт. ст	висота застосування: від 800 до 2000 м над рівнем моря
103РМ-001	Діапазон вимірювань	890 - 1050 гПа	670 - 790 мм рт. ст	висота застосування: від 0 до 800 м над рівнем моря
103РМ-002	Діапазон вимірювань	760 - 960 гПа	570 - 720 мм рт. ст	висота застосування: від 800 до 2000 м над рівнем моря
106РМ	Діапазон вимірювань	960 - 1050 гПа	720 - 790 мм рт. ст	



Технічні характеристики

Точність вимірювання	± 0,7 гПа	± 0,5 мм рт. ст
Ціна поділки шкали	0,5 гПа	0,5 мм рт. ст
Циферблат: сріблясто-матовий, діаметр 130 мм 104 – Дерев'янний корпус (бук). Габариты: 180×180×105 мм; вага 1,4 кг 105 - Корпус з легкого металу. Габариты: 210×230×100 мм; вга 1,8 кг		

104-001	Діапазон вимірювань	890 - 1050 гПа	670 - 790 мм рт. ст	висота застосування: від 0 до 800 м над рівнем моря
104-002	Діапазон вимірювань	760 - 960 гПа	570 - 720 мм рт. ст	висота застосування: від 800 до 2000 м над рівнем моря
105-001	Діапазон вимірювань	890 - 1050 гПа	670 - 790 мм рт. ст	висота застосування: від 0 до 800 м над рівнем моря
105-002	Діапазон вимірювань	760 - 960 гПа	570 - 720 мм рт. ст	висота застосування: від 800 до 2000 м над рівнем моря

Датчик атмосферного тиску **ЗОНД-10-АД-1155**

<u>Призначення.</u> Датчик абсолютного тиску ЗОНД-10-АД-1155 призначений для вимірювання атмосферного (барометричного) тиску.

Технічні характеристики

Робочий діапазон, (мм.рт.ст)	600 ÷ 800
Клас точності	1; 0,5
Умови застосування, (°С)	від -10 до +50
Робоча напруга, (В)	14...38 В (захист від пере поляризації)
Вихідний сигнал	4-20 мА або 0-5 В (за вибором)
Габаритні розміри, (мм)	85×59×35
Маса не більше, (кг)	0,3
Вартість, (рос.рублі з НДВ): клас точності 0,5 клас точності 1	 5 499 5 086

Електронний термобарограф **OPUS 10 TPR**

Призначення. Електронний термобарограф OPUS 10 TPR призначений для реєстрації атмосферного тиску і температури.

Компактний прилад реєстрації і запису атмосферного тиску і температури, вбудовані датчики. Відображає на LCD-дисплеї поточні значення величин і час.

Компактний і зручний пластмасовий корпус, захист IP42.

Зберігає в пам'яті до 120 000 строк запису: дата, час, тиск, температура.

Установка інтервалу запису – 1 хв … 24 години.

Установка меж сигналізації для обох вимірюваних величин.
Зчитування даних за допомогою RS232.

Технічні характеристики

Діапазон вимірюваного тиску, (кПа)	750...1100 гПа (дозвіл 0,1 гПа; точність +/- 0,5 гПа при 25°С, +/- 1,0 гПа при 0...+50 °С)
Діапазон вимірюваної температуры, (°С)	-20 ... +50 °С (дозвіл 0,1 °С; точність +/- 0,3 К при 0...40 °С, інакше +/- 0,5 К)
Живлення, (В)	3,6
Умови експлуатації: - температура, (°С) - вологість, (%) - висота використання, (м)	 від -20 до +50 від 0 до 95 до 5000 над рівнем моря
Габарити, (мм)	115×110×25
Маса не більше, (кг)	0,25

Гігрометри психрометричні **ВИТ-1, ВИТ-2**

Призначення. Гігрометри психрометричні ВИТ-1, ВИТ-2 призначені для вимірювання вологості і температури повітря в приміщенні.

Технічні характеристики

Характеристики	ВИТ-1	ВИТ-2
Діапазон вимірювань відносної вологості, (%)	20-90	20-90
Діапазон показань температури, (°С)	0-25	15-40
Ціна поділки шкали термометрів, (°С)	0,2	0,2
Межа допустимої абсолютної помилки термометра, (°С)	±0,2	±0,2
Межа допустимого значення абсолютної помилки гігрометра, (%)	±7	±5
Габаритні розміри, (мм)	325 × 120 × 50	

Вимірювач температури і вологості повітря **МТ-3.**

Призначення. Вимірювач температури і вологості призначений для вимірювання на метеостанціях і метеопостах і довгочасової (більше 1 місяця) реєстрації температури і вологості повітря на твердотільному носії з наступним безконтактним зчитуванням в кишенькову мікро-ЕОМ, ПЕОМ.

Прилад абсолютно автономний, не потребує спеціальних заходів з установки і експлуатації. Принцип дії вимірювання вологості оснований на прецизійному перетворенні подовженні традиційного пучка волосся в електричний сигнал і подальшої обробки його мікропроцесорним пристроєм. Вимірювання температури – два платинових термометри опору, оформлених у вигляді кульок, один – «сухий», а інший – «змочений». Метод змочування – традиційний, за допомогою батисту і стаканчика з водою. Така схема дозволяє розраховувати всі вологосні параметри атмосферного повітря без психрометричних таблиць, з одночасним коректуванням волосного вимірювача вологості, що обумовлює точність її вимірювання в умовах від'ємних температур.

Знімання інформації здійснюється за допомогою мікрокомп'ютера PALM IIIe, що входить до комплекту поставки, по ІЧ-каналу (радіоканалу ~ 150-250 м) зв'язку. Передбачена можливість трансляції і подальшої обробки отриманої інформації в ПК по лінії зв'язку з стандартним інтерфейсом RS-232, при цьому кількість вимірювачів може бути будь-якою.

Технічні характеристики

Діапазон вимірюваних температур,°С	від -45 до 50
Точність вимірювання, °С	0,2
Діапазон вимірюваної вологості, %	від 0 до 100
Точність вимірювання, %	3
Джерело живлення	4 елемента типа АА
Тривалість роботи від одного комплекту елементів не менше, роки	1
Дискретність вимірювань, хв	5
Період масивів вимірювань	6 год, доба, тиждень, місяць
Вивід на екран	Графіків температури і вологості, екстремальних значень температури, масивів годинних вимірювань

Габаритні розміри (без тримачів), мм	D 70×180
Маса не більше, кг	0,5

***Термогігрометр* HD-100**

Призначення. Термогігрометр HD-100 фирми KIMO (Франція) призначений для вимірювання відносної вологості, температури, точки роси, володіє функцією мінімального і максимального значень.

Особливості:

- відносна вологість;
- точка роси;
- температура;
- відображення двох параметрів одночасно;
- функція утримання показників;
- мінімум і максимум;

регульоване підсвітлення.

Технічні характеристики

Дисплей двостроковий. Розмір 50×34,9 мм.
Корпус - ударостійкий ABS. Клас захисту - IP54.
Клавіатура - 5 клавіш з металевим покриттям.
Кабель витий, довжина - 450 мм - 2,4 м.
Живлення - 9В.
Робоче середовище - нейтральні гази.
Робочі умови температури від 0 до +50°С
Автоматичне відключення - 0-120 хв.
Габаритні розміри - 147,7 × 70,6 × 34,7 мм
Вага -190 г
Мова: Французська, Англійська

Одиниці вимірювань	Діапазон	Похибка	Дозвіл
Відносна вологість, (% ОВ)	5... 95 %ОВ	± 2,7 % ОВ при температурі +18...+28°С	0,1 %ОВ
Точка роси (°С, °F, K)	-20...+70°С	± 2 % від вим. значення ±0,3°С	0,1 °С

Температура (°С)	-20...+70°С	± 2% від вим. значення ±0,3°С	0,1 °С

Психрометр електричний М-34М

Призначення. Психрометр електричний М-34М призначений для визначення відносної вологості і температури повітря в наземних умовах (в приміщенні і на відкритому повітрі). Робота психрометра основана на залежності різниці температур сухого і змоченого термометрів від вологості навколишнього повітря. Вологість повітря визначається за показаннями сухого і змоченого термометрів за спеціальними психрометричними таблицями або з психрометричного графіка, а температура повітря – за показаннями сухого термометру. Пружина заводного механізму запускається електричним двигуном.

Технічні характеристики

Діапазон вимірювання відносної вологості повітря при температурі від 5 до 40°С, (%)	від 10 до 100
Діапазон вимірювання температури повітря, (°С)	від -25 до 50
Похибка в залежності від температури	від ±2 до ±6
Живлення від мережі змінного струму напругою, (В)	220
Споживана потужність, (ВА)	30
Швидкість повітряного потоку (аспірація) при роботі вентилятора повинна бути на 6-ій хвилині не менше, (м/с)	1,7
Габаритні розміри, (мм) (Ø × довжина)	105 × 400
Маса не більше, (кг)	1,3

Психрометр механчніий **МВ-4-2М**

Призначення. Психрометр аспіраційний механічний МВ-4-2М призначений для визначення відносної вологості й температури повітря в наземних умовах (у приміщенні й на відкритому повітрі). Робота психрометра механічного МВ-4-2М заснована на залежності різниці температур сухого й змоченого термометрів від вологості навколишнього повітря. Вологість повітря визначається за показниками сухого й змоченого термометрів по спеціальних психрометричних таблицях або по психрометричному графіку, а температура повітря – за показниками сухого термометра. Пружина заводного механізму заводиться спеціальним ключем.

Технічні характеристики

Діапазон вимірювання відносної вологості повітря при температурі від 5 до 40°С, (%)	від 10 до 100
Діапазон вимірювання температури повітря, (°С)	від -25 до 50
Похибка в залежності від температури	від ±2 до ±6
Час розкручування пружини не менше, (хв)	6
Швидкість повітряного потоку (аспірація) при роботі вентилятора повинна бути на 4-ій хвилині не менше, (м/с)	2,0
Габаритні розміри, (мм) (Ø × довжина)	105 × 400
Маса не більше, (кг)	1,2

Термогігрометр АТТ-5015

Призначення. Термогігрометр АТТ-5015 призначений для виміру вологості, точки роси й температури з можливістю запису максимальних і мінімальних результатів вимірювання.

Особливості:

- великий ЖКІ (2 цифрові шкали, 61×35 мм);
- запис мінімального й максимального вимірюваного значення;
- фіксація показань (HOLD);
- вимір вологості й температури термісторним методом;
- інтервал вимірів 1 відлік за 0,8 секунди;
- автовимкнення;
- індикація розряду батареї.

Технічні характеристики

Діапазони вимірювання: - відносної вологості, (%) - температури, (°С) - точки роси, (°С)	 0 - 95 0 ... +50 -25,3 ... 48,9
Похибка вимірювання: - відносної вологості, (%) - температури, (°С)	при вологості ≥ 70 %: ±(3 % від виміряного значення +1 %); при вологості < 70 %: ± 3 % ± 0,8
Дозвіл:	

- відносної вологості, (%) - температури, (°С) - точки роси, (°С)	0,01 0,01 0,01
Для живлення приладу використовується батарея 9В	
Маса приладу, (з батареєю), (г)	306
Габарити, (мм): - приладу; - датчика.	 185 × 78 × 38 197 × 15

Комплектація стандартна:

- термогігрометр АТТ-5015 з датчиком температури і вологості;
- футляр;
- інструкція з експлуатації.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАННИХ ДЖЕРЕЛ

1. Протопопов Н.Г. Проектирование ветроизмерительных приборов. – Л.:Гидрометеоиздат, 1976. – 192 с.

2. Фатеев Н.П. Поверка метеорологических приборов. – Л.:Гидрометеоиздат, 1975. – 311 с.

3. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. – Л.:Гидрометеоиздат, 1978. – 390 с.

4. Павлов Н.Ф. Аэрология, радиометеорология и техника безопасности. – Л.:Гидрометеоиздат, 1980. – 430 с.

5. Руководство по производству наблюдений и применению информации с радиолокаторов МРЛ-1 и МРЛ-2. – Л.:Гидрометеоиздат, 1974. – 344 с.