МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Збірник методичних вказівок для виконання лабораторних робіт з дисципліни

“**МЕТОДИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ**”
(метеорологічні вимірювання)

Одеса – 2011

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Збірник методичних вказівок для виконання лабораторних робіт з дисципліни

“МЕТОДИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ”
(метеорологічні вимірювання)

для студентів 1 курсу гідрометеорологічного інституту

Затверджено
на засіданні методичної комісії
факультету КНМ
протокол № ____від _____2011р.

Одеса – 2011

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Збірник методичних вказівок для виконання лабораторних робіт з дисципліни

“**МЕТОДИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ**”
(метеорологічні вимірювання)

для студентів 1 курсу гідрометеорологічного інституту
Напрям підготовки – Гідрометеорологія

"Затверджено"
на засіданні методичної комісії
факультету КНМ
протокол №___ від _____2011р.
Декан
_____Коваленко Л.Б.

«Узгоджено»
Декан ГМІ _____Єхніч М.П.

"Затверджено"
на засіданні кафедри АСМНС
протокол №___ від _____2011р.
В.О.Зав. каф. АСМНС
_____Перелигін Б.В.

Одеса 2011

Збірник методичних вказівок для виконання лабораторних робіт з дисципліни “Методи гідрометеорологічних вимірювань” призначений для студентів 1 курсу денної форми навчання за напрямом “Гідрометеорологія”.

Укладач: асистент кафедри АСМНС Гордієнко В.І. – Одеса: ОДЕКУ, 2011. – 88 с.

Збірник методичних вказівок для виконання лабораторних робіт з дисципліни “Методи гідрометеорологічних вимірювань” призначений для студентів 1 курсу денної форми навчання за напрямом “Гідрометеорологія”.

Укладач: асистент кафедри АСМНС Гордієнко В.І. – Одеса: ОДЕКУ, 2011. – 88 с.

Підп. до друку Формат 60х84/16 Папір офсетний

Умовн. друк. арк.. Тираж Зам №

Надруковано з готового оригінал-макета

Одеський державний екологічний університет
85016, Одеса, Львівська, 15

ЗМІСТ

Передмова……... 4
Лабораторна робота № 1 „Вимірювання тиску компенсаційним барометром”……... 6
Лабораторна робота № 2 „Вимірювання швидкості та напрямку вітру за допомогою анеморумбометра М-49”……. 34
Лабораторна робота №3 „Вимірювання нижньої межі хмар”……..… 40
Лабораторна робота № 4 „Вимірювання метеорологічної дальності видимості”……..... 50
Лабораторна робота № 5 „Вимірювання температури і вологості повітря за допомогою радіозонда”……...… 62
Лабораторна робота № 6 „Вимірювання кількості та інтенсивності опадів”……...….. 73

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна „Методи гідрометеорологічних вимірювань” є нормативною дисципліною підготовки спеціалістів за напрямом Гідрометеорологія, шифр 6.040105 і відноситься до циклу професійної та практичної підготовки (цикл В).

Мета дисципліни – підготувати фахівців в галузі метеорологічного забезпечення гідрометеорологічних спостережень навколишнього середовища.

Завдання дисципліни полягає у засвоєнні методів і засобів гідрометеорологічних вимірювань, обробки, інтерпретації та практичного використання отриманих даних.

Дисципліна „Методи гідрометеорологічних вимірювань” базується на вивченні таких дисциплін, як „Фізика”, „Вища математика”.

В свою чергу вона забезпечує такі дисципліни як „Фізична гідрологія”, „Фізична океанологія”, „Фізика атмосфери”, „Методи дистанційного зондування навколишнього середовища”, „Синоптична метеорологія”, „Динамічна метеорологія” .

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні надбати:

знання:

– теоретичних основ методів гідрометеорологічних вимірювань;

– основ ефективного використання сучасних і перспективних засобів для одержання гідрометеорологічної інформації;

– способів обробки, інтерпретації та практичного використання результатів гідрометеорологічних спостережень, які забезпечують необхідну точність і єдність вимірювань;

уміння:

– отримувати стандартну гідрометеорологічну інформацію;

– отримувати загальні характеристики атмосфери;

– грамотно експлуатувати гідрометеорологічні прилади.

У даних методичних вказівках приводяться теоретичні відомості, необхідні для виконання даної лабораторної роботи, а також мета, завдання і порядок виконання роботи. Приведені також вимоги до оформлення звіту про лабораторну роботу.

При виконанні лабораторної роботи кожен студент відповідає на теоретичні питання і, потім, після отримання допуску, практично виконує роботу.

Під час проведення лабораторних робіт проводиться модульний контроль, який складається з 3 практичних модулів. Максимальна оцінка кожного модуля –10 балів.

Збірник методичних вказівок складається з 6 лабораторних робіт: „Вимірювання тиску компенсаційним барометром”, „вимірювання швидкості та напрямку вітру за допомогою анеморумбомстра М-49”,

„вимірювааня нижньої межі хмар”, „вимірювання метеорологічної дальності видимості”, „вимірювання температури і вологості повітря за допомогою радіозонда”, „вимірювання кількості та інтенсивності опадів”.

Література

Основна:

1. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. – Л.:Гидрометеоиздат, 1978. – 390 с.
2. Каркуша В.Е., Чернов Б.С. Измерение атмосферного давления. – Л.:Гидрометеоиздат, 1973.
3. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Л.:Гидрометеоиздат, вып. 3, ч.1, 1969. – 306 с.
4. Наставление Гидрометеорологическим станциям й постам.- Л.: Гидрометеоиздат, вып. IV, ч. IIIа, 1976. - 256 с.
5. Павлов Н.Ф. Азрология, радиометеорология й техника безопасности. — Л.:Гидрометеоиздат, 1980. - 430 с.
6. Ермаков В.Й., Кузенков А.Ф., Юрманов В.А. Системы зондирования атмосфери. - Л.:Гидрометеоиздат, 1977.
7. Белов Н.П. Метеорологические радиолокационньїе станции. - Л.:Гидрометеоиздат, 1976. - 367 с.
8. Руководство по производству наблюдений й применению информации с радиолокаторов МРЛ-1 й МРЛ-2. - Л.:Гидрометеоиздат,1974.-334с.

Лабораторна робота № 1

„Вимірювання тиску компенсаційним барометром”

Мета роботи – провести вимірювання атмосферного тиску чашковим станційним барометром з компенсованою шкалою.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. Під час виконання лабораторної роботи студент повинен

знати:

- будову станційного чашкового барометра з компенсованою шкалою;
- одиниці тиску в системі СІ;
- принцип побудови компенсованої шкали барометра;
- похибки вимірювання атмосферного тиску ртутних барометрів, поправки до їхніх показань;
- обчислення результатів вимірювань атмосферного тиску;

вміти:

- відраховувати температуру по термометру з точністю до десятих часток градуса;
- відраховувати показання барометра;
- виявляти грубі прорахунки у вимірюванні.

Теоретичні положення. 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

$$p_o = p_z = \frac{15982 + z\left(1 + \alpha\, t\right)}{15982 - z\left(1 + \alpha\, t\right)}, \qquad (1.1)$$

де p_o і 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).

Ртутні барометри можуть бути трьох систем. На рис.1.1 наведені їхні схематичні зображення. Принцип дії ртутного барометра легко зрозуміти з рис.1.1 а.

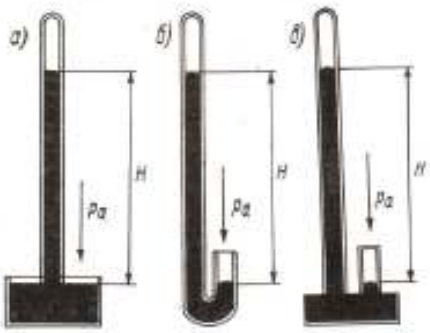

Рис.1.1–Типи ртутних барометрів: а – чашковий; б – сифонний; в - сифонно-чашковий

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.1.2). 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.

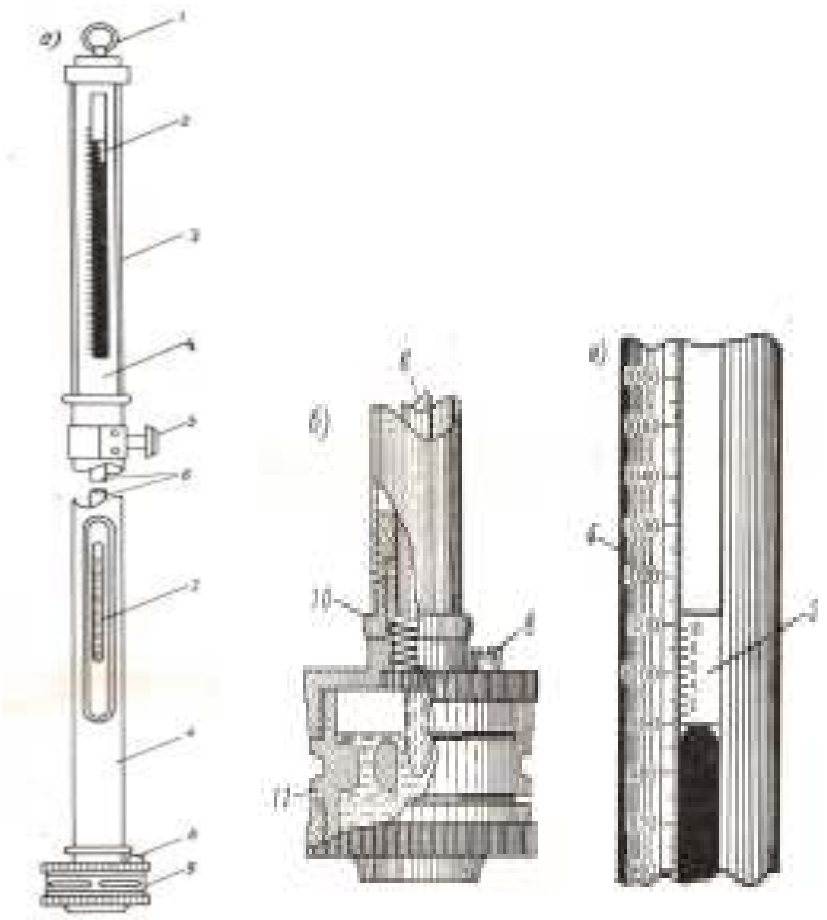

Рис.1.2 – Барометр чашковий станційний: а – загальний вигляд; б – чашка барометра; в – шкала і ноніус: 1 – кільце; 2 – ноніус; 3 – захисне скло; 4 – оправа; 5 – рукоятка кремальєри; 6 – барометрична трубка; 7 – термометр; 8 – гвинт; 9 – чашка; 10 – втулка; 11 – середня частина чашки з діафрагмою

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.1.3, 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).

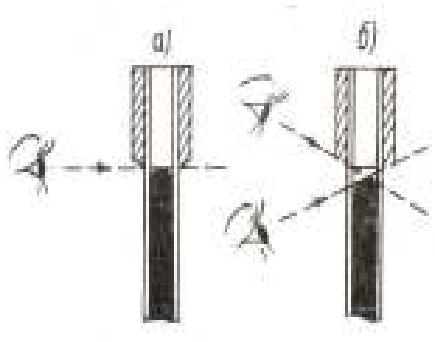

Рис.1.3 – Положення ока при відліку по барометру: а – правильне; б – неправильне

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.1.4).

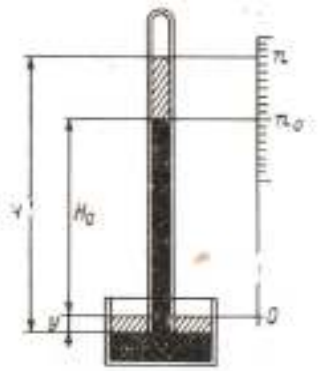

Рис.1.4 – Схема барометра чашкового з компенсованою шкалою

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 $y = 0{,}02\left(n - n_o\right)x$; $\Delta H = 1{,}02\left(n - n_o\right)x$, звідки $x = \dfrac{\Delta H}{1{,}02\left(n - n_o\right)x}$ мм. Якщо шкала градуйована в мм.рт.ст., то $\dfrac{\Delta H}{n - n_o} = 1$ і $x = 0{,}98$ мм; якщо в мбар, то $\dfrac{\Delta H}{n - n_o} = \dfrac{1}{1{,}33}$ і $x = 0{,}735$ мм.

На станції барометр поміщують в спеціальну шафу, яка прикріплюється до стінки. В шафі барометр підвішують за кільце 1 (рис.1.2, 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.

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 $0°C$ 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 $0°C$ (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 $0°C$: $H_t \rho_t g = H_o \rho_o g$, ρ_t і ρ_o - відповідно густина ртуті при температурі t і $0°C$. Враховуючи залежність густини від температури: $\rho = \dfrac{\rho_o}{1+\alpha t}$, отримаємо значення висоти цього стовпа при $0°C$:

$$H_o = \frac{H_t}{1+\alpha t}, \tag{1.2}$$

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 $l_t = l_n\left[1+\left(t-t_n\right)\beta\right]$, 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 $\dfrac{l_t}{l_n} = 1+\left(t-t_n\right)\beta$; отже, $H_t = h_t\left[1+\left(t-t_n\right)\beta\right]$. Підставивши це значення H_t в (1.2), отримаємо

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

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

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

Підставляючи значення $\alpha = 18{,}18\cdot 10^{-7}$ і $\beta = 1{,}84\cdot 10^{-7}$, отримаємо $\Delta h_t = -h_t\cdot 10^{-7}\left(16{,}34t + 1{,}84t_n\right)$; 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 $g_\varphi = g_{45}\left(1 - 0{,}00265\cos 2\varphi\right)$. Враховуючи, що виміряний барометром тиск H (висота стовпа ртуті) знаходиться в обернено пропорційній залежності від прискорення g, тому $H_{45} = H_\varphi \dfrac{g_\varphi}{g_{45}}$. Звідси отримуємо вираз для нормованої поправки на широту місця $\Delta H_\varphi = H_{45} - H_\varphi$:

$$\Delta H_\varphi = H_\varphi\left(\frac{g_\varphi}{g_{45}} - 1\right). \qquad (1.3)$$

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:

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

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 $\dfrac{z}{R}$ першого порядку, прийняти $\dfrac{g_z}{g_0} = 1 - \dfrac{2z}{R}$. Через те, що $\dfrac{H_0}{H_z} = \dfrac{g_z}{g_0}$ 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 $\Delta H_z = H_0 - H_z$:

$$\Delta H_z = -\, H_z 196 \cdot 10^{-9}\, z\,. \qquad (1.4)$$

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 $\Delta H_{\varphi,\, z} = \dfrac{g_{\varphi,\, z}}{g_n} - 1$; 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 (1.3), за значеннями H_{φ} і φ знаходять ΔH_{φ}, в іншій, складеній на основі формули (1.3, 1.4), 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 $0°C$ він дорівнює $3 \cdot 10^{-4}$ мбар, при $20°C$ дорівнює $17 \cdot 10^{-4}$ мбар, при $60°C$ дорівнює $353 \cdot 10^{-4}$ мбар; зміни його невеликі (повірку роблять при температурі $20°C$), 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.1.5). 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 $\Delta H_\alpha = H_\alpha - H$.

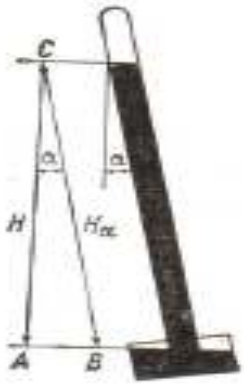

Рис.1.5 - Вплив нахилу барометра на його показання

Через те, що $H_\alpha = \dfrac{H}{\cos\alpha}$, то $\Delta H_\alpha = H\left(\dfrac{1}{\cos\alpha} - 1\right)$, звідки $\cos\alpha = 1 - \dfrac{\Delta H_\alpha}{H}$. Для того, щоб при $H \sim 10^{-3}$ мбар $\Delta\alpha \le 0{,}05$ мбар, необхідно, щоб $\alpha \le 0{,}5°$. 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 $0°C$.

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.

Запитання для самоперевірки:

1. Що називається атмосферним тиском?
2. Як змінюється тиск з висотою?

3. Для чого на всіх метеостанціях тиск приводиться до рівня моря?
4. За допомогою якої формули визначається залежність атмосферного тиску від висоти?
5. Наведіть одиниці вимірювання атмосферного тиску?
6. В яких межах коливається атмосферний тиск на рівні моря?
7. Якими приладами вимірюється атмосферний тиск в метеорології?
8. Які істотні недоліки мають ртутні барометри?
9. Яких трьох видів можуть бути ртутні барометри?
10. З якого матеріалу виготовлена барометрична трубка станційного чашкового барометра з компенсованою шкалою?
11. Чим враховується зміна рівня ртуті в чашці відносно нуля шкали барометра?
12. Чому барометр не можна розміщувати поблизу обігрівальних систем, віконних прорізах і дверей?
13. Які існують похибки вимірювання атмосферного тиску за допомогою ртутних барометрів і поправки до їхніх показань?

Опис приладів, устаткування та інструментів, які використовуються при виконанні лабораторної роботи.

1. Станційний чашковий барометр з компесованою шкалою (рис.1.2).
2. Спеціальна шафа, в якій розміщують барометр.
3. Джерело освітлення барометра.

Правила техніки безпеки та охорони праці, які необхідні при проведенні лабораторної роботи.

1. Не проводити вимірювання атмосферного тиску без дозволу викладача.
2. Вимірювання тиску проводити тільки в присутності викладача.
3. Строго додержуватися певного порядку проведення спостережнь.
4. Отримати інструктаж у викладача з Техніки безпеки і розписатися в журналі.

З А Б О Р О Н Я Є Т Ь С Я :

1. Знімати барометр з гаку і виносити його з спеціальної шафи.
2. Нахиляти барометр.
3. Загвинчувати гвинт на кришці чашки барометра.
4. Перевертати баромет чашкою верх.
5. Робити різкі удари по захисній трубці барометра.

6. Після проведення вимірювань залишати вікриту дверцю шафи, де знаходиться барометр.

7. Залишати увімкнене джерело освітлення барометра після проведення вимірювань.

Порядок проведення лабораторної роботи.

1. Перед виконанням лабораторної роботи проводиться усне опитування теоретичного матеріалу і визначення мети лабораторної роботи. Результати опитування заносяться до протоколу за підписом викладача.

2. Проводиться викладачем інструктаж з техніки безпеки. Після чого студент розписується в журналі з „Техніки безпеки”.

3. Якщо студент отримав незадовільну оцінку з теоретичного матеріалу, то до виконання лабораторної роботи він не допускається.

4. Кожний студент проводить вимірювання атмосферного тиску індивідуально.

Методика виконання лабораторної роботи.

Проведення лабораторної роботи здійснюється в два етапи:

1) проведення 5 відліків по станційному барометру при вимірюванні атмосферного тиску через кожні 10 хвилин;

2) обчислення результатів вимірювань по барометру.

1. Проведення відліків по станційному барометру при вимірюванні атмосферного тиску.

1.1 Відкривають шафу і вмикають освітлення.

1.2 Відраховують температуру по термометру, який закріплений в прорізу в нижній частині барометра, з точністю до десятих часток градуса. Останні визначають на око.

1.3 Злегка постукати пальцем по оправі барометра. Це буде перешкоджати зчепленню ртуті зі стінками трубки і надасть меніску ртуті (в барометричній трубці) нормальну форму.

1.4 Підвести ноніус зверху до моменту гаданого торкання його зрізів вершини меніска ртуті в барометричній трубці. При цьому око повинне знаходитися на візирній лінії, що проходить через нуль ноніуса, і задній зріз кільця ноніуса (рис.1.3).

1.5 Відрахувати показання барометра.

1.6 Вимкнути освітлення і закрити шафу.

1.7 Внести поправки на систематичні похибки в результаті вимірювання.

2. Обчислення результатів вимірювань по барометру.

Для визначення атмосферного тиску до відліку по барометру

вводяться такі поправки:

а) інструментальна поправка, яка враховує не відповідність нульового індеса шкали і рівня ртуті в чашці, залишковий тиск у вакуумі над ртуттю і т.д.

Інструментальна поправка первісно визначається в бюро перевірки і коректується інспектором шляхом зіставлення показань станційного баромета з інспекторським на місці установки барометра.

б) поправка для приведення показань барометра (ваги стовпа ртуті) до нормального прискорення сили тяжіння ($g_n = 980{,}665$ см/с^2); поправка обчислюється по широті станції і по висоті барометра над рівнем моря (табл.1).

в) поправка на приведення показань барометра (довжини ртутного стовпа) до температури 0°С (табл.2) дана з точністю до десятих часток міліметра і мілібара для виміряних значень тиску (відліків) в межах від 400 до 1060 мм або мб, і для температури барометра в межах ± 40,5°. Поправка знаходиться на перетинанні графи, яка відповідає округленому до 10 мб щначенню тиску, і строки, що відповідає округленному значенню до 0,5°С значенню температури. При температурі барометра вище 0°С ця поправка буде від'ємною, а при температурі нижче 0°С - додатньою.

У тих випадках, коли температура в приміщенні, де знаходиться барометр, буде вище 40,5°С, поправка на приведення показань барометра до 0°С повинна бути обчислена наступним чином: значення температури розбивається на суму двох значень, кожне з яких менше 40,5°С. Для кожного значення з табл.2 знаходять поправку, а потім знайдені поправки складають.

При знаходженні поправки на приведення тиску до температури 0°С необхідно додержуватися правил округлення:

1) тиск, отриманий по барометру, округляється до десятків мілібарів (*наприклад*, 984,2 округлюється до 980 мб.);

2) показання термометра при барометрі після внесення відповідної поправки округлюється до 0,5° (*наприклад*, 10,3° округлюється до 10,5°С).

У випадку, коли відлік по барометру закінчується цілою п'ятіркою (995,0 мб, 1005 мб і т.д.), при відшуканні поправок в таблиці перевага надається поправці, яка відповідає значенню тиску, що закінчується парною цифрою.

Наприклад.

Тиск по барометру	1025,0 мб
Температура по термометру при барометрі	19,5°
Поправка для тиску 1025,0 мб	– 3,2 мб
..... 1030,0 мб	– 3.2 мб
Прийнята поправка	– 3,3 мб.

Отримана таким чином поправка для приведення тиску до температури 0°С, а також постійна поправка барометра алгебраїчно складається з величиною атмосферного тиску, яка виміряна по барометру.

Наприклад. Відлік по барометру 1002,7 мб, після округлення – 1000 мб.

Температура по термометру при барометрі 20,1-0,1=20,2°С, після округлення - 20,0°С.

Поправка на приведення до температури 0°С для тиску 1000 мб при температурі барометра 20,0°С дорівнює -3,3 мб.

Постійна поправка до барометра на станції (інструментальна плюс поправка на силу тяжіння) дорівнює +1,2 мб. Тиск на станції буде складати: 1002,7-3,3 + 1,2=1000,6 мб.

Для обчислення поправок до відліку по барометру необхідно отримати у викладача інструментальну поправку та широту місцезнаходження станції.

Порядок оформлення звіту та його представлення і захист.

Результати проведеної лабораторної роботи оформлюються протоколом. Він повинен містити такі дані:

1) тема лабораторної роботи;
2) мета лабораторної роботи;
3) короткі теоретичні відомості;
4) порядок проведення лабораторної роботи;
5) порядок обробки результатів досліджень;
6) висновки.

Перелік використаної літератури

1. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. – Л.:Гидрометеоиздат, 1978. – 390 с.

2. Каркуша В.Е., Чернов Б.С. Измерение атмосферного давления. – Л.:Гидрометеоиздат, 1973.

3. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Л.:Гидрометеоиздат, вып. 3, ч.1, 1969. – 306 с.

Таблиця 1 - Приведення показань барометра до нормальної сили тяжіння

Широта		Показання барометра, мб											
„ – „	„ + „	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710
0°	90°	1,56	1,59	1,61	1,64	1,65	1,68	1,72	1,74	1,76	1,78	1,81	1,84
1	89	1,55	1,58	1,61	1,64	1,65	1,68	1,71	1,73	1,76	1,78	1,81	1,84
2	88	1,55	1,58	1,60	1,63	1,65	1,68	1,71	1,73	1,76	1,78	1,81	1,84
3	87	1,55	1,58	1,60	1,63	1,65	1,68	1,71	1,73	1,74	1,77	1,81	1,84
4	86	1,54	1,56	1,60	1,63	1,64	1,67	1,69	1,72	1,74	1,77	1,80	1,82
5	85	1,54	1,56	1,59	1,61	1,63	1,65	1,69	1,72	1,73	1,76	1,78	1,81
6	84	1,52	1,55	1,58	1,60	1,63	1,65	1,68	1,71	1,72	1,74	1,77	1,80
7	83	1,51	1,55	1,56	1,59	1,61	1,64	1,67	1,69	1,71	1,73	1,76	1,78
8	82	1,50	1,52	1,55	1,58	1,60	1,63	1,64	1,67	1,69	1,72	1,74	1,77
9	81	1,48	1,51	1,54	1,56	1,58	1,60	1,63	1,65	1,68	1,71	1,73	1,76
10	80	1,47	1,50	1,51	1,54	1,56	1,59	1,61	1,64	1,65	1,68	1,71	1,73
11	79	1,44	1,47	1,50	1,52	1,54	1,58	1,59	1,61	1,63	1,65	1,68	1,71
12	78	1,41	1,44	1,47	1,50	1,52	1,55	1,56	1,59	1,61	1,64	1,65	1,68
13	77	1,40	1,42	1,44	1,47	1,50	1,52	1,54	1,56	1,59	1,61	1,63	1,65
14	76	1,37	1,40	1,41	1,44	1,47	1,50	1,51	1,54	1,56	1,59	1,60	1,62
15	75	1,34	1,37	1,38	1,41	1,44	1,47	1,48	1,51	1,52	1,55	1,58	1,60
16	74	1,32	1,34	1,36	1,38	1,40	1,42	1,45	1,48	1,50	1,52	1,54	1,56
17	73	1,29	1,32	1,33	1,36	1,37	1,40	1,41	1,44	1,47	1,50	1,51	1,54
18	72	1,25	1,28	1,29	1,32	1,34	1,37	1,38	1,41	1,42	1,45	1,47	1,50
19	71	1,23	1,25	1,27	1,29	1,31	1,33	1,34	1,37	1,38	1,41	1,42	1,45
20	70	1,19	1,21	1,23	1,25	1,27	1,29	1,31	1,33	1,34	1,37	1,38	1,41
21	69	1,16	1,19	1,20	1,21	1,23	1,25	1,27	1,29	1,31	1,33	1,34	1,37
22	68	1,12	1,15	1,16	1,18	1,19	1,21	1,23	1,25	1,27	1,29	1,31	1,34
23	67	1,08	1,11	1,12	1,14	1,15	1,18	1,19	1,20	1,23	1,25	1,25	1,28
24	66	1,04	1,06	1,08	1,10	1,11	1,14	1,15	1,16	1,18	1,20	1,21	1,24
25	65	1,00	1,02	1,04	1,05	1,07	1,10	1,11	1,12	1,14	1,16	1,18	1,19
26	64	0,96	0,97	0,98	1,01	1,02	1,04	1,05	1,07	1,08	1,11	1,12	1,14
27	63	0,92	0,93	0,94	0,96	0,97	1,00	1,01	1,02	1,04	1,05	1,07	1,08
28	62	0,87	0,89	0,91	0,92	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	1,00	1,01	1,02
29	61	0,83	0,84	0,85	0,87	0,88	0,89	0,91	0,92	0,93	0,94	0,96	0,97
30	60	0,78	0,80	0,81	0,81	0,83	0,84	0,85	0,87	0,88	0,89	0,91	0,92
31	59	0,74	0,75	0,76	0,76	0,78	0,80	0,81	0,81	0,83	0,84	0,85	0,87
32	58	0,68	0,70	0,71	0,71	0,72	0,75	0,76	0,76	0,78	0,79	0,80	0,80
33	57	0,62	0,64	0,65	0,67	0,68	0,70	0,71	0,71	0,72	0,74	0,75	0,75
34	56	0,58	0,60	0,61	0,61	0,62	0,64	0,65	0,65	0,65	0,67	0,67	0,68
35	55	0,53	0,54	0,56	0,56	0,57	0,57	0,58	0,58	0,60	0,61	0,61	0,62
36	54	0,48	0,49	0,51	0,51	0,51	0,52	0,53	0,53	0,54	0,56	0,56	0,56
37	53	0,43	0,44	0,45	0,45	0,45	0,47	0,48	0,48	0,48	0,49	0,51	0,51
38	52	0,38	0,39	0,39	0,39	0,40	0,41	0,41	0,41	0,43	0,44	0,44	0,44
39	51	0,32	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,38	0,38	0,39
40	50	0,27	0,28	0,28	0,28	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,32	0,32
41	49	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25
42	48	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
43	47	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13
44	46	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
45	45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продовження табл.1

Широта		Показання барометра, мб											
„ – „	„ + „	720	730	740	750	760	770	780	790	800	810	820	830
0°	90°	1,87	1,90	1,92	1,95	1,98	2,00	2,02	2,05	2,07	2,10	2,12	2,15
1	89	1,87	1,90	1,92	1,95	1,98	2,00	2,02	2,04	2,07	2,10	2,12	2,15
2	88	1,87	1,90	1,92	1,94	1,96	1,99	2,02	2,04	2,07	2,09	2,12	2,14
3	87	1,85	1,88	1,91	1,94	1,96	1,99	2,01	2,04	2,06	2,09	2,11	2,14
4	86	1,84	1,87	1,91	1,94	1,95	1,98	2,00	2,03	2,05	2,08	2,10	2,13
5	85	1,84	1,87	1,90	1,92	1,94	1,96	1,99	2,02	2,04	2,07	2,09	2,12
6	84	1,82	1.85	1,88	1,91	1,92	1,95	1,98	2,00	2,03	2,05	2,08	2,10
7	83	1,81	1,84	1,87	1,90	1,91	1,94	1,96	1,98	2,01	2,03	2,06	2,08
8	82	1,78	1,81	1,84	1,87	1,90	1,92	1,94	1,97	1,99	2,02	2,04	2,06
9	81	1,77	1,80	1,82	1,85	1,87	1,90	1,92	1,95	1,97	2,00	2,02	2,04
10	80	1,74	1,77	1,80	1,82	1,85	1,88	1,90	1,92	1,95	1,97	2,00	2,02
11	79	1,73	1,76	1,77	1,80	1,82	1,85	1,87	1,90	1,92	1,94	1,97	1,99
12	78	1,71	1,73	1,76	1,78	1,80	1,82	1,85	1,87	1,89	1,92	1,94	1,96
13	77	1,68	1,71	1,72	1,74	1,77	1,80	1,82	1,84	1,86	1,89	1,91	1,93
14	76	1,64	1,67	1,69	1,72	1,73	1,76	1,78	1,81	1,83	1,85	1,88	1,90
15	75	1,61	1,64	1,67	1,69	1,71	1,73	1,75	1,77	1,79	1,82	1,84	1,86
16	74	1,59	1,61	1,63	1,65	1,67	1,69	1,71	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82
17	73	1,55	1,58	1,59	1,61	1,63	1,65	1,68	1,70	1,72	1,74	1,76	1,78
18	72	1,51	1,54	1,55	1,58	1,59	1,61	1,63	1,66	1,68	1,70	1,72	1,74
19	71	1,47	1,50	1,51	1,54	1,55	1,56	1,59	1,61	1,63	1,65	1,67	1,69
20	70	1,42	1,45	1,47	1,50	1,51	1,54	1,55	1,57	1,59	1,61	1,63	1,65
21	69	1,38	1,41	1,42	1,45	1,47	1,50	1,50	1,52	1,54	1,56	1,58	1,60
22	68	1,34	1,36	1,37	1,40	1,41	1,44	1,45	1,47	1,49	1,51	1,53	1,55
23	67	1,29	1,32	1,33	1,36	1,37	1,38	1,40	1,42	1,44	1,46	1,48	1,49
24	66	1,25	1,27	1,28	1,31	1,32	1,34	1,35	1,37	1,39	1,40	1,42	1,44
25	65	1,20	1,23	1,23	1,25	1,27	1,29	1,30	1,32	1,33	1,35	1,37	1,38
26	64	1,15	1,18	1,18	1,20	1,21	1,23	1,24	1,26	1,28	1,29	1,31	1,32
27	63	1,10	1,12	1,12	1,15	1,16	1,18	1,19	1,20	1,22	1,23	1,25	1,26
28	62	1,04	1,07	1,07	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19	1,20
29	61	0,98	1,00	1,01	1,02	1,04	1,07	1,07	1,08	1,10	1,11	1,13	1,14
30	60	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	1,00	1,01	1,02	1,04	1,05	1,06	1,08
31	59	0,88	0,89	0,91	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	1,00	1,01
32	58	0,81	0,83	0,84	0,85	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94
33	57	0,76	0,78	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,88	0,84	0,85	0,87	0,88
34	56	0,70	0,71	0,72	0,72	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81
35	55	0,64	0,65	0,67	0,67	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74
36	54	0,57	0,58	0,58	0,60	0,61	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,66
37	53	0,52	0,52	0,53	0,53	0,54	0,54	0,56	0,56	0,57	0,58	0,59	0,59
38	52	0,45	0,45	0,45	0,47	0,48	0,48	0,49	0,50	0,50	0,51	0,51	0,52
39	51	0,39	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,42	0,43	0,43	0,44	0,44	0,45
40	50	0,32	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37
41	49	0,25	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,33	0,30
42	48	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23
43	47	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15
44	46	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08
45	45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продовження табл.1

Широта		Показання барометра, мб											
„ – „	„ + „	840	850	860	870	880	890	900	910	920	930	940	950
0°	90°	2,18	2,20	2,23	2,25	2,28	2,30	2,33	2,36	2,38	2,41	2,43	2,46
1	89	2,17	2,20	2,22	2,25	2,28	2,30	2,33	2,35	2,38	2,41	2,43	2,46
2	88	2,17	2,20	2,22	2,25	2,27	2,30	2,32	2,35	2,38	2,40	2,43	2,46
3	87	2,16	2,19	2,22	2,24	2,27	2,29	2,32	2,34	2,37	2,40	2,42	2,45
4	86	2,15	2,18	2,21	2,23	2,26	2,28	2,31	2,33	2,36	2,39	2,41	2,44
5	85	2,14	2,17	2,20	2,22	2,25	2,27	2,30	2,32	2,35	2,37	2,40	2,42
6	84	2,13	2,15	2,18	2,20	2,23	2,25	2,28	2,31	2,33	2,36	2,38	2,41
7	83	2,11	2,13	2,16	2,19	2,21	2,24	2,26	2,29	2,31	2,34	2,36	2,39
8	82	2,09	2,11	2,14	2,17	2,19	2,22	2,24	2,27	2,29	2,32	2,34	2,37
9	81	2,07	2,09	2,12	2,14	2,17	2,19	2,22	2,24	2,27	2,29	2,32	2,34
10	80	2,04	2,07	2,09	2,12	2,14	2,17	2,19	2,22	2,24	2,26	2,29	2,31
11	79	2,02	2,04	2,06	2,09	2,11	2,14	2,16	2,19	2,21	2,23	2,26	2,28
12	78	1,99	2,01	2,04	2,06	2,08	2,11	2,13	2,15	2,18	2,20	2,23	2,25
13	77	1,96	1,98	2,00	2,03	2,05	2,07	2,10	2,12	2,14	2,17	2,19	2,21
14	76	1,92	1,94	1,97	1,99	2,01	2,04	2,06	2,08	2,10	2,13	2,15	2,17
15	75	1,88	1,91	1,93	1,95	1,97	2,00	2,02	2,04	2,04	2,09	2,11	2,13
16	74	1,84	1,87	1,89	1,91	1,93	1,95	1,98	2,00	2,02	2,04	2,06	2,09
17	73	1,80	1,82	1,85	1,87	1,89	1,91	1,93	1,95	1,98	2,00	2,02	2,04
18	72	1,76	1,78	1,80	1,82	1,84	1,86	1,89	1,91	1,93	1,95	1,97	1,99
19	71	1,71	1,73	1,76	1,78	1,80	1,82	1,84	1,86	1,88	1,90	1,92	1,94
20	70	1,67	1,69	1,71	1,73	1,75	1,77	1,79	1,81	1,83	1,85	1,87	1,88
21	69	1,62	1,64	1,66	1,67	1,69	1,71	1,73	1,75	1,77	1,79	1,81	1,83
22	68	1,56	1,58	1,60	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,71	1,73	1,75	1,77
23	67	1,51	1,53	1,55	1,57	1,58	1,60	1,62	1,64	1,66	1,67	1,69	1,71
24	66	1,46	1,47	1,49	1,51	1,53	1,54	1,56	1,58	1,59	1,61	1,63	1,65
25	65	1,40	1,42	1,43	1,45	1,47	1,48	1,50	1,52	1,53	1,55	1,57	1,58
26	64	1,34	1,36	1,37	1,39	1,40	1,42	1,44	1,45	1,47	1,48	1,50	1,52
27	63	1,28	1,30	1,31	1,32	1,34	1,36	1,37	1,39	1,40	1,42	1,43	1,45
28	62	1,22	1,23	1,25	1,26	1,27	1,29	1,30	1,32	1,33	1,35	1,36	1,38
29	61	1,15	1,17	1,18	1,19	1,21	1,22	1,24	1,25	1,26	1,28	1,29	1,30
30	60	1,09	1,10	1,11	1,13	1,14	1,15	1,17	1,18	1,19	1,20	1,22	1,23
31	59	1,02	1,03	1,04	1,06	1,07	1,08	1,09	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15
32	58	0,95	0,96	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,06	1,07	1,08
33	57	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
34	56	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92
35	55	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,82	0,83	0,84
36	54	0,67	0,68	0,69	0,70	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,74	0,75	0,76
37	53	0,60	0,61	0,62	0,62	0,63	0,64	0,64	0,65	0,66	0,66	0,67	0,68
38	52	0,53	0,53	0,54	0,55	0,55	0,56	0,56	0,57	0,58	0,58	0,59	0,60
39	51	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	0,49	0,50	0,50	0,51	0,51
40	50	0,38	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43
41	49	0,30	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34
42	48	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26
43	47	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17
44	46	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09
45	45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Продовження табл.1

Широта		Показання барометра, мб											
„ – „	„ + „	960	970	980	990	1000	1010	1013	1020	1030	1040	1050	1060
0°	90°	2,49	2,51	2,54	2,56	2,59	2,62	2,62	2,64	2,67	2,69	2,72	2,73
1	89	2,48	2,51	2,54	2,56	2,59	2,61	2,62	2,64	2,66	2,69	2,72	2,74
2	88	2,48	2,51	2,53	2,56	2,58	2,61	2,62	2,64	2,66	2,69	2,71	2,74
3	87	2,47	2,50	2,52	2,55	2,58	2,60	2,61	2,63	2,65	2,68	2,71	2,73
4	86	2,46	2,49	2,51	2,54	2,56	2,59	2,60	2,62	2,64	2,67	2,69	2,72
5	85	2,45	2,48	2,50	2,53	2,55	2,58	2,59	2,60	2,63	2,65	2,68	2,70
6	84	2,43	2,46	2,48	2,51	2,53	2,56	2,57	2,58	2,61	2,63	2,66	2,68
7	83	2,41	2,44	2,46	2,49	2,51	2,54	2,55	2,56	2,59	2,61	2,64	2,66
8	82	2,39	2,42	2,44	2,47	2,49	2,51	2,52	2,54	2,56	2,59	2,61	2,64
9	81	2,36	2,39	2,41	2,44	2,46	2,49	2,50	2,51	2,54	2,56	2,59	2,61
10	80	2,34	2,36	2,38	2,41	2,43	2,46	2,47	2,48	2,51	2,53	2,56	2,58
11	79	2,30	2,33	2,35	2,38	2,40	2,42	2,43	2,45	2,47	2,50	2,52	2,54
12	78	2,27	2,30	2,32	2,34	2,37	2,39	2,40	2,42	2,44	2,46	2,49	2,51
13	77	2,24	2,26	2,28	2,30	2,33	2,35	2,36	2,38	2,40	2,42	2,44	2,47
14	76	2,20	2,22	2,24	2,26	2,29	2,31	2,32	2,33	2,36	2,38	2,40	2,42
15	75	2,15	2,18	2,20	2,22	2,34	2,26	2,27	2,29	2,31	2,33	2,36	2,38
16	74	2,11	2,13	2,15	2,17	2,20	2,22	2,23	2,24	2,26	2,28	2,31	2,33
17	73	2,06	2,08	2,10	2,13	2,15	2,17	2,18	2,19	2,21	2,23	2,25	2,28
18	72	2,01	2,03	2,05	2,07	2,10	2,12	2,12	2,14	2,16	2,18	2,20	2,22
19	71	1,96	1,98	2,00	2,02	2,04	2,06	2,07	2,08	2,10	2,14	2,16	2,18
20	70	1,90	1,92	1,94	1,96	1,98	2,00	2,01	2,02	2,04	2,06	2,08	2,10
21	69	1,85	1,87	1,89	1,90	1,92	1,94	1,95	1,96	1,98	2,00	2,02	2,04
22	68	1,79	1,81	1,82	1,84	1,86	1,88	1,89	1,90	1,92	1,94	1,96	1,97
23	67	1,73	1,75	1,77	1,78	1,80	1,82	1,83	1,84	1,86	1,87	1,89	1,91
24	66	1,66	1,68	1,70	1,72	1,73	1,75	1,76	1,77	1,79	1,80	1,82	1,84
25	65	1,60	1,62	1,63	1,65	1,67	1,68	1,69	1,70	1,72	1,73	1,75	1,77
26	64	1,53	1,55	1,56	1,58	1,60	1,61	1,62	1,63	1,64	1,66	1,68	1,69
27	63	1,46	1,48	1,49	1,51	1,52	1,54	1,54	1,55	1,57	1,58	1,60	1,61
28	62	1,39	1,40	1,42	1,43	1,45	1,46	1,47	1,48	1,49	1,51	1,52	1,54
29	61	1,32	1,33	1,35	1,36	1,37	1,39	1,39	1,40	1,41	1,43	1,44	1,46
30	60	1,24	1,26	1,27	1,28	1,30	1,31	1,31	1,32	1,33	1,35	1,36	1,37
31	59	1,17	1,18	1,19	1,20	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26	1,28	1,29
32	58	1,09	1,10	1,11	1,12	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20
33	57	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,06	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12
34	56	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03
35	55	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,90	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94
36	54	0,77	0,78	0,78	0,79	0,80	0,81	0,81	0,82	0,82	0,83	0,84	0,65
37	53	0,69	0,69	0,70	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73	0,74	0,74	0,75	0,76
38	52	0,60	0,61	0,61	0,62	0,63	0,63	0,64	0,64	0,65	0,65	0,66	0,66
39	51	0,52	0,52	0,53	0,53	0,54	0,54	0,55	0,55	0,56	0,56	0,57	0,57
40	50	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47	0,48
41	49	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38
42	48	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29
43	47	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19
44	46	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10
45	45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблиця 2 - Приведення показань барометра до температури 0°

Темпе-ратура	Показання барометра, мб																			
	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660
0,5°	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
3,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
3,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
4,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
4,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
5,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
5,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
6,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
6,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
7,0	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
7,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
8,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9
8,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
9,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0
9,5	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1
10,5	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
11,0	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2
11,5	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
12,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3
12,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4
13,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4
13,5	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
14,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5
14,5	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6

Продовження табл.2

Темпе-ратура	Показання барометра, мб																			
	670	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790	800	810	820	830	840	850	860
0,5°	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
2,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
3,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
3,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
4,0	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
4,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
5,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
5,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8
6,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
6,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
7,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
7,5	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
8,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1.0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
8,5	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2
9,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3
9,5	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
10,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4
10,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5
11,0	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
11,5	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6
12,0	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7
12,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8
13,0	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8
13,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9
14,0	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0
14,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0

Продовження табл.2

Темпе-ратура	Показання барометра, мб																			
	870	880	890	900	910	920	930	940	950	960	970	980	990	1000	1010	1020	1030	1040	1050	1060
0,5°	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
1,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
2,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
2,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
3,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
3,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
4,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
4,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0.7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
5,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9
5,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0
6,0	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6,5	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
7,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
7,5	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3
8,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4
8,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5
9,0	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6
9,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6	1,6
10,0	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
10,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
11,0	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9
11,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0
12,0	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1
12,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2
13,0	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
13,5	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3
14,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,4
14,5	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5

Продовження табл.2

Темпе-ратура	Показання барометра, мб																			
	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660
15,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6
15,5	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7
16,0	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7
16,5	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8
17,0	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8
17,5	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9
18,0	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9
18,0	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0
19,0	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0
19,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1
20,0	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2
20,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2
21,0	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3
21,5	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3
22,0	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4
22,5	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4
23,0	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5
23,5	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5
24,0	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6
24,5	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6
25,0	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7
25,5	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7
26,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8
26,5	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8
27,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9
27,5	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0
28,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0
28,5	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1
29,0	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1
29,5	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2

Продовження табл.2

Темпе-ратура	Показання барометра, мб																			
	670	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790	800	810	820	830	840	850	860
15,0	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1
15,5	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2
16,0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2
16,5	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3
17,0	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4
17,5	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4
18,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5
18,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6
19,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7
19,5	2,1	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7
20,0	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8
20,5	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9
21,0	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9
21,5	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0
22,0	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1
22,5	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2
23,0	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2
23,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3
24,0	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4
24,5	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4
25,0	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5
25,5	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6
26,0	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6
26,5	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7
27,0	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8
27,5	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8
28,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9
28,5	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0
29,0	3,2	3,2	3,2	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,0
29,5	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1

Продовження табл.2

Темпе-ратура	Показання барометра, мб																			
	870	880	890	900	910	920	930	940	950	960	970	980	990	1000	1010	1020	1030	1040	1050	1060
15,0	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6
15,5	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7
16,0	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8
16,5	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8
17,0	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9
17,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0
18,0	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1
18,0	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2
19,0	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3
19,5	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4
20,0	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4
20,5	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,5
21,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6
21,5	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7
22,0	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8
22,5	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,9
23,0	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0
23,5	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	4,0
24,0	3,4	3,4	3,5	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,1
24,5	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2
25,0	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3
25,5	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4
26,0	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,5
26,5	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6
27,0	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6
27,5	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7
28,0	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8
28,5	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9
29,0	4,1	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,8	4,9	5,0	5,0
29,5	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6	4,7	4,8	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1

Продовження табл.2

Темпе-ратура	Показання барометра, мб																			
	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660
30,0	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2
30,5	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2
31,0	2,4	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3
31,5	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4
32,0	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4
32,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5
33,0	2,5	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,6
23,5	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6
34,0	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,7
34,5	2,6	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,7	3,7
35,0	2,7	2,7	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,8
35,5	2,7	2,8	2,8	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,8	3,8
36,0	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,8	3,8	3,9
36,5	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,9	3,9
37,0	2,8	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,9	3,9	4,0
37,5	2,9	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	4,0	4,0
38,0	2,9	3,0	3,0	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	4,0	4,0	4,1
38,5	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,8	3,8	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1
39,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	3,6	3,6	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,1	4,1	4,2
39,5	3,0	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	3,7	3,7	3,8	3,9	3,9	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2
40,0	3,1	3,1	3,2	3,3	3,3	3,4	3,5	3,5	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	4,0	4,0	4,1	4,2	4,2	4,3
40,5	3,1	3,2	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	3,6	3,6	3,7	3,8	3,8	3,9	4,0	4,0	4,1	4,2	4,2	4,3	4,4

Продовження табл.2

Темпе-ратура	Показання барометра, мб																			
	670	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790	800	810	820	830	840	850	860
30,0	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2
30,5	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3
31,0	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3
31,5	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4
32,0	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5
32,5	3,5	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6
33,0	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6
23,5	3,7	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7
34,0	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,7	4,7	4,8
34,5	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8
35,0	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9
35,5	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,9	4,9	5,0
36,0	3,9	4,0	4,0	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0
36,5	4,0	4,0	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1
37,0	4,0	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,1	5,1	5,2
37,5	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2	5,3
38,0	4,1	4,2	4,3	4,3	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2	5,3	5,3
38,5	4,2	4,3	4,3	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2	5,3	5,3	5,4
39,0	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,6	4,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2	5,3	5,3	5,4	5,5
39,5	4,3	4,4	4,4	4,5	4,6	4,6	4,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	5,5	5,5
40,0	4,4	4,4	4,5	4,6	4,6	4,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	5,5	5,5	5,6
40,5	4,4	4,5	4,6	4,6	4,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продовження табл.2

Темпе-ратура	Показання барометра, мб																			
	870	880	890	900	910	920	930	940	950	960	970	980	990	1000	1010	1020	1030	1040	1050	1060
30,0	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2
30,5	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2	5,2	5,3
31,0	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4
31,5	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,1	5,1	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	5,4
32,0	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	5,4	5,5	5,5
32,5	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2	5,2	5,3	5,4	5,4	5,5	5,5	5,6	5,6
33,0	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,1	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	5,4	5,5	5,5	5,6	5,6	5,7
23,5	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2	5,2	5,3	5,4	5,4	5,5	5,5	5,6	5,6	5,7	5,7	5,8
34,0	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	5,4	5,5	5,5	5,6	5,7	5,7	5,8	5,8	5,9
34,5	4,9	4,9	5,0	5,1	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	5,5	5,5	5,6	5,6	5,7	5,7	5,8	5,9	5,9	6,0
35,0	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2	5,2	5,3	5,4	5,4	5,5	5,5	5,6	5,6	5,7	5,8	5,8	5,9	5,9	6,0	6,0
35,5	5,0	5,1	5,1	5,2	5,3	5,3	5,4	5,4	5,5	5,6	5,6	5,7	5,7	5,8	5,8	5,9	6,0	6,0	6,1	6,1
36,0	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	5,5	5,5	5,6	5,6	5,7	5,8	5,8	5,9	5,9	6,0	6,0	6,1	6,2	6,2
36,5	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	5,5	5,5	5,6	5,7	5,7	5,8	5,8	5,9	6,0	6,0	6,1	6,1	6,2	6,2	6,3
37,0	5,2	5,3	5,4	5,4	5,5	5,5	5,6	5,7	5,7	5,8	5,8	5,9	6,0	6,0	6,1	6,2	6,2	6,3	6,3	6,4
37,5	5,3	5,4	5,4	5,5	5,6	5,6	5,7	5,7	5,8	5,9	5,9	6,0	6,0	6,1	6,2	6,2	6,3	6,4	6,4	6,5
38,0	5,4	5,4	5,5	5,6	5,6	5,7	5,8	5,8	5,9	5,9	6,0	6,1	6,1	6,2	6,3	6,3	6,4	6,4	6,5	6,6
38,5	5,5	5,5	5,6	5,6	5,7	5,8	5,8	5,9	6,0	6,0	6,1	6,2	6,2	6,3	6,3	6,4	6,5	6,5	6,6	6,7
39,0	5,5	5,6	5,7	5,7	5,8	5,8	5,9	6,0	6,0	6,1	6,2	6,2	6,3	6,4	6,4	6,5	6,5	6,6	6,7	6,7
39,5	5,6	5,7	5,7	5,8	5,9	5,9	6,0	6,1	6,1	6,2	6,2	6,3	6,4	6,4	6,5	6,6	6,6	6,7	6,8	6,8
40,0	5,7	5,7	5,8	5,9	5,9	6,0	6,1	6,1	6,2	6,3	6,3	6,4	6,5	6,5	6,6	6,7	6,7	6,8	6,8	6,9
40,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Лабораторна робота № 2

„Вимірювання швидкості та напрямку вітру за допомогою анеморумбометра М-49”

Мета роботи – дистанційно отримати інформацію про температуру і вологість повітря, швидкість і напрямок вітру.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. Під час виконання лабораторної роботи студент повинен

знати:

- будову датчиків температури і вологості повітря;
- будову датчиків швидкості і напрямку вітру;
- будову керувально-вимірювального пульту;

вміти:

- з’єднувати всі датчики анеморумбометра з керувально-вимірювальним пультом;
- вимірювати температуру і вологість повітпя;
- вимірювати швидкість і напрямок вітру;
- перевіряти справність вузлів температури і вологості, й визначати шкалові поправки;
- вимірювати справність вузла швидкості і напрямку вітру.

Теоретичні положення. Дистанційна метеорологічна станція М-49 призначена для дистанційного вимірювання температури і вологості повітря, швидкості і напрямку вітру (рис.2.1).

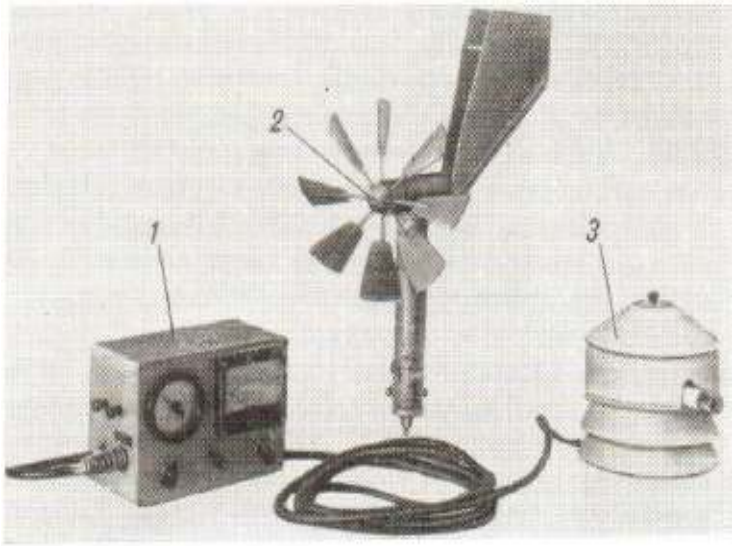

Рис.2.1 – Дистанційна метеорологічна станція М-49: 1 – пульт керувально-вимірювальний; 2 – датчик швидкості напрямку вітру; 3 – датчик температури і вологості повітря

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.

Блок датчиків температури і вологості повітря наведений на рис.2.2

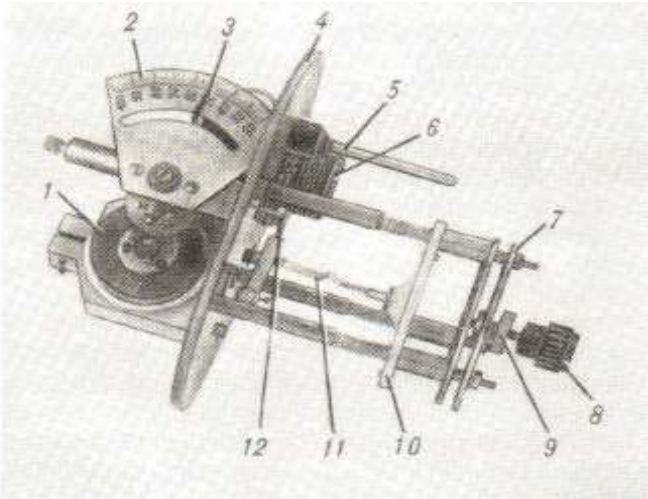

Рис.–2.2 Блок датчиків температури і вологості без захисного кожуха: 1 – сельсин; 2 – шкала гігрометра; 3 – стрілка; 4 – плата; 5 – термодатчик; 6 – гніздо; 7 – кільце; 8 і 9 – гайки; 10 – вологочутлива мембрана; 11 – тяга; 12 – важіль

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.

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 (рис.2.3). 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.2.3). 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.

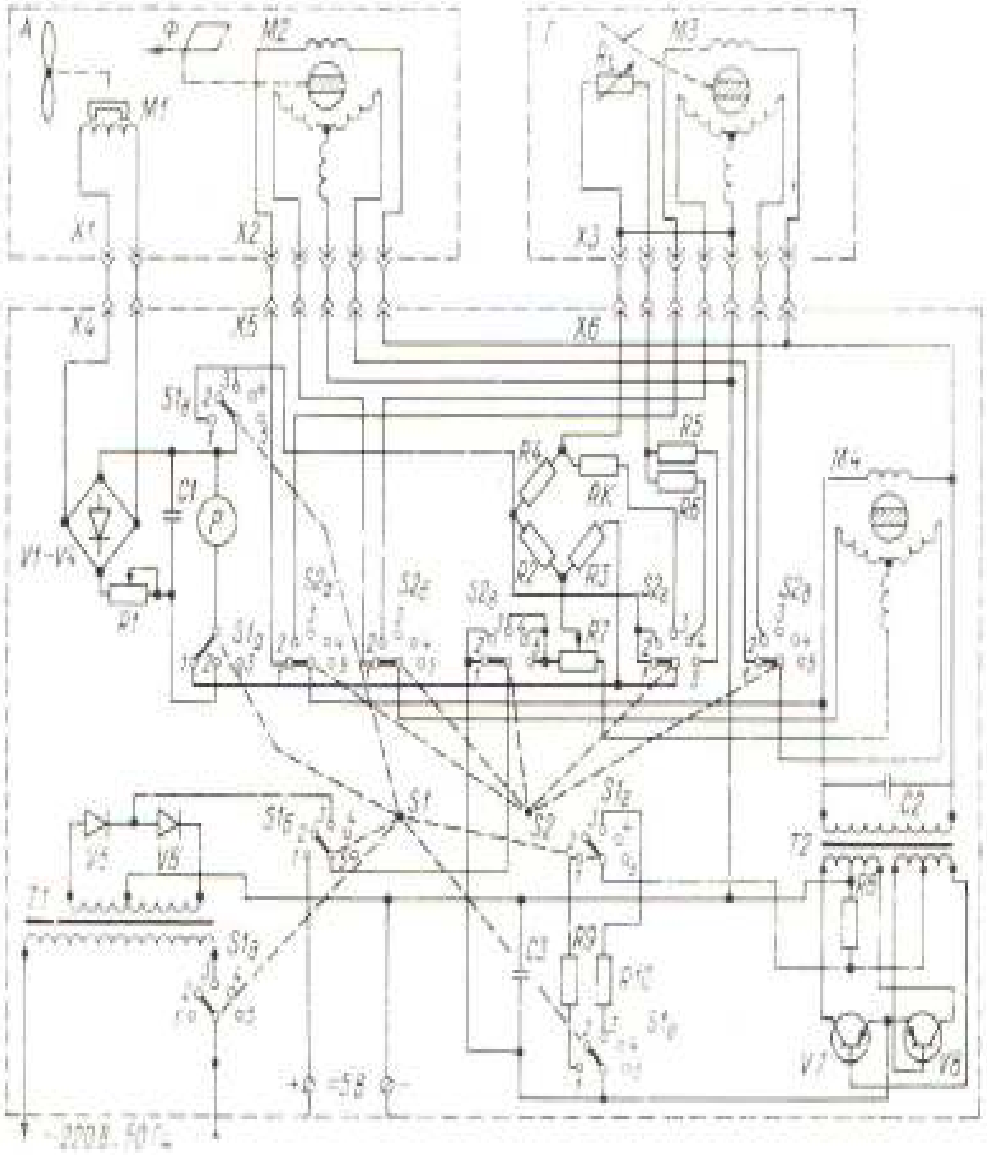

Рис.2.3 –Принципова електрична схема М-49

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, що прикладається до станції М-49, і з врахуванням загальних вказівок Настанови.

Запитання для самоперевірки:

1. Для чого призначена дистанційна метеорологічна станція М-49?
2. На яких елементах побудована ДМС-49?
3. З яких блоків складається ДМС-49?
4. Яким термометром вимірюється температура в ДМС-49?
5. Що є чутливим елементом датчика волгості?
6. Для чого використовується безконтактний сельсин?
7. Якою напругою живиться ДМС-49?
8. Скільки вимірювальних приладів знаходиться на пульті керування?

Опис приладів, устаткування та інструментів, які використовуються при виконанні лабораторної роботи.

1. Блок датчиків вітру.
2. Блок датчиків температури і вологості.
3. Вимірювальний пульт.
4. З'єднувальні кабелі.
5. Електричний вентилятор.

Правила техніки безпеки та охорони праці, які необхідні при проведенні лабораторної роботи.

1. Вивчити правила техніки безпеки і розписатися в журналі.
2. Підключати ДМС-49 тільки в мережу змінного струму напругою 220 V, 50 Гц.
3. Якщо зникла напруга в мережі, то прилади потрібно перевести в початкове положення і доповісти про це викладачу.
4. Закінчивши роботу, потрібно вимкнути всі прилади і здати робоче місце завідувачу лабораторії.

З А Б О Р О Н Я Є Т Ь С Я :

1. Вмикати ДМС-49 без дозволу викладача.
2. Ремонтувати, розбирати і перевіряти електричні схеми при увімкненому живленні.
3. Залишати працюючу установку після проведення вимірювань.
4. Розбирати датчик температури і вологості повітря.
5. Змінювати місцями з'єднувальні кабелі.

Порядок проведення лабораторної роботи.

1. Перед виконанням лабораторної роботи проводиться усне опитування теоретичного матеріалу і визначення мети лабораторної роботи. Результати опитування заносяться до протоколу за підписом викладача.
2. Якщо студент отримав незадовільну оцінку з теоретичного матеріалу, то до виконання лабораторної роботи він не допускається.
3. Кожний студент проводить вимірювання напрямку і швидкості вітру та температури.

Методика виконання лабораторної роботи.

Проведення лабораторної роботи здійснюється в 4 етапи:

1) вимірювання напрямку вітру;
2) вимірювання вологості повітря;
3) вимірювання температури у першому або другому діапазоні;
4) вимірювання швидкості вітру.

1. Вимірювання напрямку вітру. При вимірюванні напрямку вітру перемикач S_1 необхыдно поставити в положення 3, а перемикач S_2 - в положення 1. Виміряти напрямок вітру приладом на керувально-вимірювальному пульті (шкала в градусах). Вимірювання провести для 5-ти різних напрямків.

2. Вимірювання вологості повітря. При вимірюванні вологості повітря перемикач S_1 ставиться в положення 3. Перемикач S_2

установлюється в положення 2. При цьому до сельсина $M4$ підключається сельсин $M3$ датчика вологості і на них подається живлення – відбувається вимірювання вологості. Виміряти величину вологості повітря приладом на керувально-вимірювальному пульті (шкала для відносної вологості в %).

3. Вимірювання температури повітря. При вимірюванні температури повітря перемикач S_1 установити в положення 1. Провести контрольну перевірку роботи моста опорів $R2$, $R3$, $R4$, RK. Для чого перемикач S_2 поставити в положення 3. При цьому в мост вмикається еталонний контрольний опір RK, потім підключається вимірювальний прилад і живлення моста. Стрілка приладу на керувально-вимірювальному пульті повинна установитися на контрольній поділці шкали температури. Якщо стрілка встановлюється на іншій поділці, то її потрібно підвести до контрольної поділки рукояткою потенціометра $R7$, який регулює напругу живлення моста.

Потім провести вимірювання температури повітря, для чого перемикач S_1 установити в положення 4 або 5. При цьому замість контрольного опору RK в діагональ моста вмикається терморезистор R_t (послідовно з опором $R5$ або $R6$). Виміряти за допомогою прилада на керувально-вимірювальному пульті в першому або другому діапазоні температурної шкали.

4. Вимірювання швидкості вітру. При вимірюванні швидкості вітру увімкнути вентилятор в мережу і направити повітряний потік на 8-ми лопатий гвинт датчика швидкості вітру. Перемикач S_1 установити в положення 2. При цьому замикається вимірювальний ланцюг швидкості вітру. Виміряти швидкість вітру приладом на керувально-вимірювальному пульті за шкалою, що оцифрована в м/с. Регулюючи потік повітря від вентилятора, зробити 5 вимірювань швидкості вітру.

Всі отримані результати вимірювань занести до таблиці, наведеній в протоколі.

Порядок оформлення звіту та його представлення і захист.

Результати проведеної лабораторної роботи оформлюються протоколом. Він повинен містити такі дані:

1) тема лабораторної роботи;
2) мета лабораторної роботи;
3) короткі теоретичні відомості;
4) порядок проведення лабораторної роботи;
5) порядок обробки результатів досліджень;
6) висновки.

Перелік використаної літератури

1. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. – Л.:Гидрометеоиздат, 1978. – 390 с.

2. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Л.:Гидрометеоиздат, вып. 3, ч.1, 1969. – 306 с.

Лабораторна робота № 3

„Вимірювання нижньої межі хмар”

Мета роботи – виміряти нижню межу хмар світлолокаційним методом.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. Під час виконання лабораторної роботи студент повинен

знати:

- фізичну основу світлолокаційного методу;
- склад вимірювача висоти нижньої межі хмар ВВХ-1М;
- принцип роботи датчика світлових імпульсів;
- принцип роботи приймача світлових імпульсів;
- принцип роботи пульта керування та індикаторно-вимірювального пристрою;

вміти:

- керувати роботою апаратури ВВХ-1М при вимірюваннях висоти верхньої межі хмар;
- перевіряти й настроювати апаратуру ВВХ-1М;
- вимірювати висоту нижньої межі хмар.

Теоретичні положення. 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

$$H = \frac{c\,\tau}{2}. \qquad (3.1)$$

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.3.1), пульту керування з індикаторно-вимірювальним пристроєм (рис.3.2) і комплекту з'єднувальних кабелів.

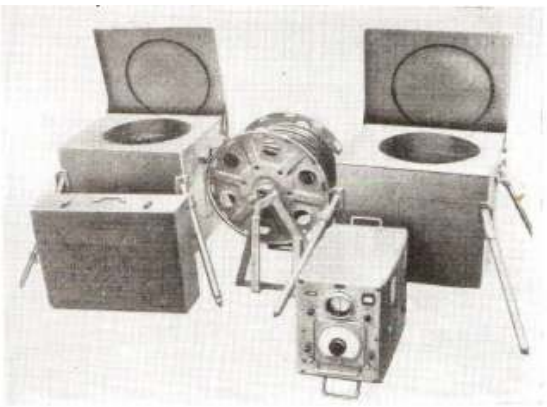

Рис.3.1 – Датчик і приймач світлових імпульсів ВВХ-1М

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.3.2), 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.

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.

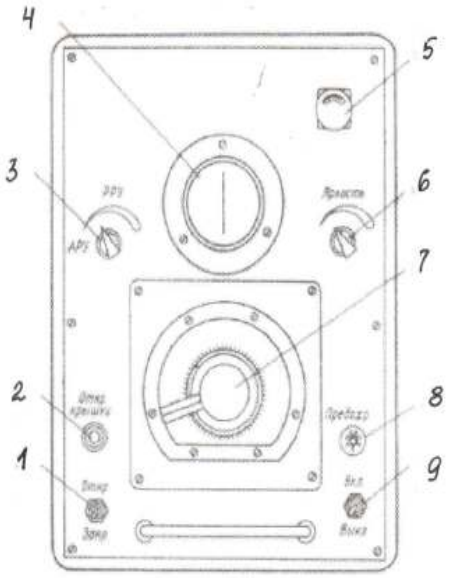

Рис.3.2 – Пульт керування з індикаторним пристроєм ВВХ-1М

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.3.3), що знаходиться у фокусі дзеркала.

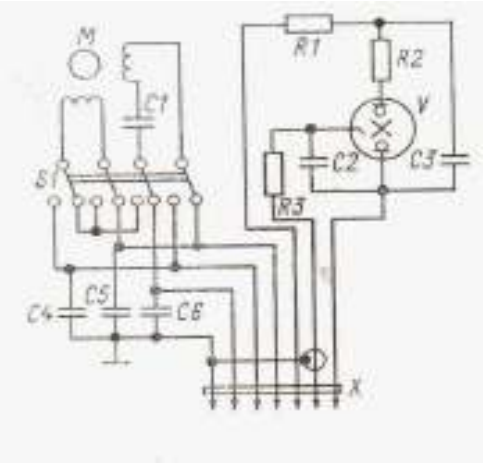

Рис.3.3 – Електрична принципова схема датчика імпульсів ВВХ-1М

Випромінення світлового імпульсу відбувається при розрядці основного розряду через лампу конденсатора $C3$, зарядженого до напруги 4,2-4,4кВ через кабель від вузла живлення, який знаходиться в пульті керування. Конденсатор піджигу $C2$ заряджається майже за лінійним законом до 1,2-1,5кВ 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.3.4), на опорі навантаженняь $R3$ 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.3.4).

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 $R36$.

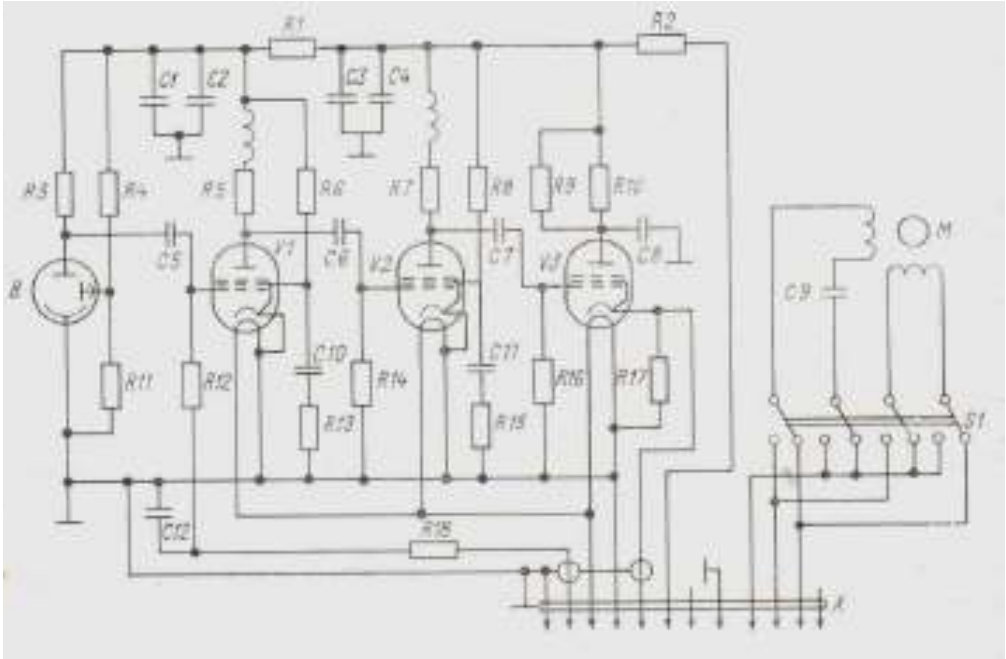

Рис.3.4 –Електрична принципова схема приймача імпульсів ВВХ-1М

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 +2кВ. 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 (220В, 50Гц) через блок живлення (БЖ), який містить трансформатори і випрямлячі. З БЖ подаються напруги 6,3 і +250В 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 ~ 220В 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.

Запитання для самоперевірки:

1. За яким принципом визначається висота нижньої межі хмар світлолокаційним методом?
2. З якою точністю вимірюється висота нижньої межі хмар світлолокаційним методом?
3. В яких одиницях вимірюється висота нижньої межі хмар світлолокаційним методом?
4. З яких вузлів складається вимірювач висоти нижньої межі хмар ВВХ-1М?
5. Як розміщується аппаратура ВВХ-1М на робочій площадці?
6. В яких межах вимірюється висота НМХ ВВХ-1М?
7. В чому полягає принцип роботи датчика світлових імпульсів ВВХ-1М?
8. Які вузли знаходяться на пульті керування?
9. Опишіть роботу датчика за принциповою схемою.
10. Опишіть роботу приймача за принциповою схемою.
11. Опишіть роботу пульта керування за принциповою схемою.

Опис приладів, устаткування та інструментів, які використовуються при виконанні лабораторної роботи.

1. Датчик світлових імпульсів.
2. Приймач світлових імпульсів.
3. Пульт керування з індикаторно-вимірювальним пристроєм.
4. Комплект з'єднувальних кабелів.

Правила техніки безпеки та охорони праці, необхідні при проведенні лабораторної роботи.

1. Вивчити правила техніки безпеки і розписатися в журналі.
2. В пульті керування та індикаторному пристрої є високовольтна напруга 2 кВ, яка небезпечна для життя. Всі вимірювання проводити тільки при повному монтажу апаратури.
3. При відключенні мережної електричної енергії, всі органи керування перевести в початкове положення, і доповісти про це викладачу.
4. Закінчивши вимірювання, необхідно віключити ВВХ-1М від мережі.

З А Б О Р О Н Я Є Т Ь С Я :

1. Вмикати ВВХ-1М без дозволу викладача і без заземлення корпуса пульта керування, приймача і передавача.

2. Дивитися в дзеркало передавача під час його роботи.

3. Відкривати лицьову панель пульта керування, де знаходиться джерело напруги 2 кВ.

4. Вмикати датчик світлових імпульсів на тривалий час.

5. Ремонтувати, розбирати і перевіряти електричні схеми при увімкненому живленні.

6. Користуватися у випадку замикання електричного ланцюга пінним вогнегасником.

7. Не проводити монтажних робіт з увімкненими блоками приладу, в тому числі не підключати до них і не від'єднувати від них провідники або кабелі.

8. За необхідності підключення або від'єднання розйома або провідника, прилад повинен бути вимкнений, а при знятому з пульта керування кожуха конденсатори повинні бути розряджені.

9. Під час перерви в роботі пульт керування зі знятим кожухом повинен бути обов’язково відключений від джерела живлення.

10. Працюючи з імпульсною лампою, необхідно обов’язково одягати захисну маску з плексигласу.

Порядок проведення лабораторної роботи.

1. Перед виконанням лабораторної роботи проводиться усне опитування теоретичного матеріалу і визначення мети лабораторної роботи. Результати опитування заносяться до протоколу за підписом викладача.

2. Якщо студент отримав незадовільну оцінку з теоретичного матеріалу, то до виконання лабораторної роботи він не допускається.

3. Кожний студент проводить вимірювання нижньої межі хмар світлолокаційним методом.

Методика виконання лабораторної роботи.

1. Зібрати установку ВВХ-1М для проведення вимірювань нижньої межі хмар.

2. Тумблером S_2 (9), який знаходиться на передній панелі пульта (рис.3.2) увімкнути живлення від мережі 220V 50Гц. При цьому повинні автоматично відкритися кришки датчика і приймача.

3. Потенціометром $R15$ (6) відрегулювати яскравість освітлення трубки індикатора.

4. Потенціометром $R6$ (3) відрегулювати підсилення сигналів.

5. Натиснути на рукоятку (7) вимірювального потенціометру на передній панелі блоку керування. При натиснені освітлення шкали гасне, а загоряється імпульсна лампа передавача і на екрані ЕПТ (4) повинна з'явитися лінія розгортки. При цьому перемикається вимірювальний прилад з ланцюга контролю напруги живлення в ланцюг контроля частоти спалахів імпульсної лампи.

6. Поставити тумблер на лівій стінці пульта керування в положення „Калібр". При короткому натисненні на рукоятку вимірювального потенціометру на екрані ЕПТ повинні з'явитися калібрувальні мітки.

7. При обертанні натисненої рукоятки (7) калібрувальні мітки на екрані ЕПТ переміщуються відносно риски. Тривалість положення рукоятки в натисненому стані не повинна перевищувати 10 с. Поділки шкали висот будуть зменшуватися в сторону збільшення висоти.

8. Відрегулювати положення приймача і передавача за максимальною амплітудою відбитого сигналу, причому для зменшення амплітуди кришки можуть бути відкритими частково.

9. Виміряти відстань за шкалою висот від початку розгортки „Імпульс датчика" до середини відбитого імпульса. Ця відстань відповідає висоті нижньої межі хмар.

10. Ціна поділки шкали висот пульта керування дорівнює 20 м і оцифрована через 100 м.

11. Потенціометром $R15$ (6) зменшити яскравість освітлення трубки індикатора.

12. Повернути рукоятну в початкове положення, при якому S_1 (рис.3.4) вимикає ланцюги живлення імпульсної лампи.

13. Вимкнути мережевий тумблер (9) з мережі.

14. Вимкнути штепсельну вилку з розетки мережі.

Порядок оформлення звіту та його представлення і захист.

Результати проведеної лабораторної роботи оформлюються протоколом. Він повинен містити такі дані:

1) тема лабораторної роботи;
2) мета лабораторної роботи;
3) короткі теоретичні відомості;
4) порядок проведення лабораторної роботи;
5) висновки.

Перелік використаної літератури

1. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. – Л.:Гидрометеоиздат, 1978. – 390 с.

Лабораторна робота №4

„Вимірювання метеорологічної дальності видимості”

Мета роботи - дистанційно виміряти коефіцієнт пропускання шару атмосфери і його перетворення в метеорологічну дальність видимості.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. Під час виконання лабораторної роботи студент повинен

знати:

- діапазон вимірювань метеорологічної дальності видимості (МДВ);
- діапазон вимірювання коефіцієнта пропускання;
- відносну інструментальну похибку вимірювання МДВ;
- час обробки фотометром робочої ділянки шкали;
- інструментальну базу;
- склад фотометра;
- будову і роботу фотометра;
- методику вимірювання МДВ;

вміти:

- підготовлювати фотометр до роботи;
- проводити перевірку працездатності фотометра;
- проводити вимірювання МДВ.

Теоретичні положення. Фотометр призначений для безперервного дистанційного вимірювання і реєстрації коефіцієнта пропускання шару атмосфери, що відповідає довжині бази (20 або 100м). Його загальний вигляд наведено на рис.4.1. Перетворювач функціональний (ПФ), який входить до складу фотометра, перетворює виміряне значення коефіцієнта пропускання атмосфери в метеорологічну дальність видимості. Вимірювання можуть проводитися в будь-який час доби. Фотометр може бути використаний автономно або в складі метеостанцій.

При експлуатації блоки фотометра БФ, ЩР, TS, ВД установлюються в спеціальних захисних будках, ВБ знаходиться на відкритому повітрі. Штативи БФ, ВД, ВБ установлюються на бетонних основах.

Фотометр зберігає працездатність при температурі навколишнього середовища від -6°С до +55°С і відносній вологості до 98 %, при температурі не більше + 40°С - для блоків ВФ, ЩР, ВД, ВБ, TS. При температурі навколишнього середовища від +5°С до +50°С і відносній вологості до 80 %, при температурі не більше 30°С-для блоків ПФ, ВІД, БР, які розміщені в приміщені.

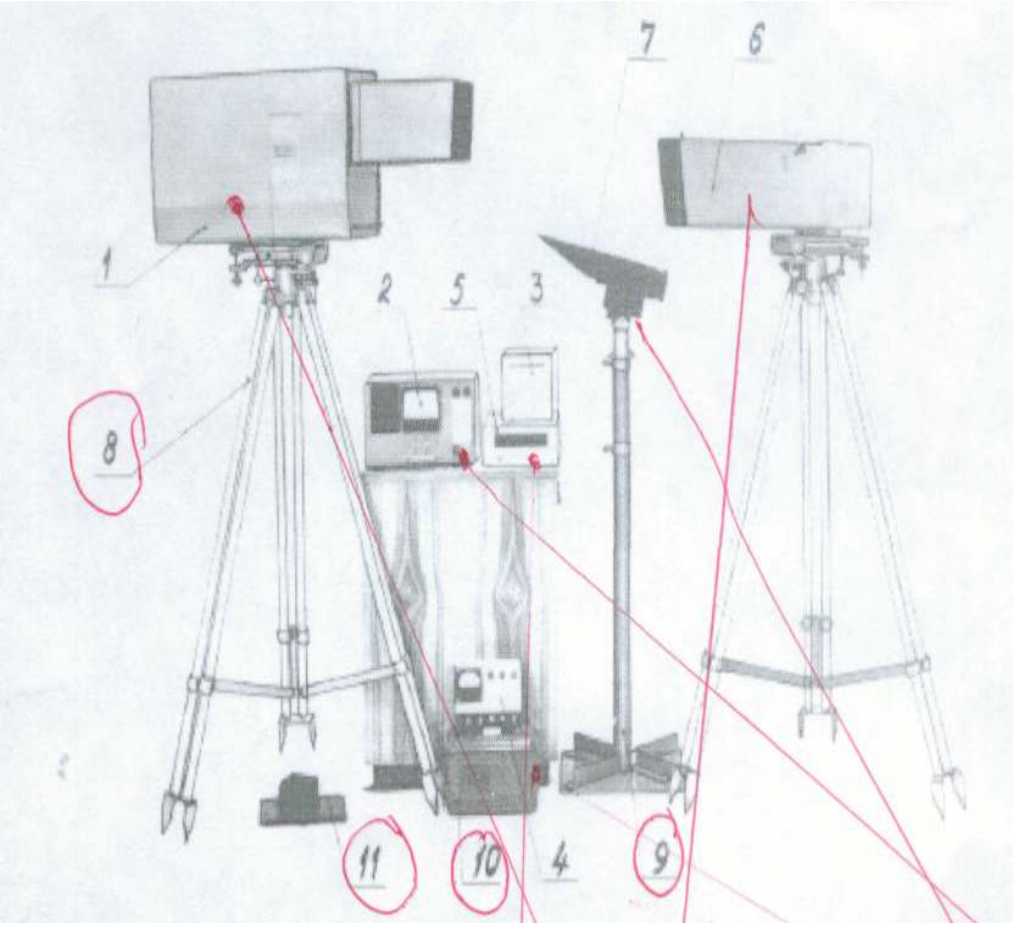

Рис.4.1 – Загальний вигляд фотометра: 1 блок фотометричний(БФ) 2 - функціональний перетворювач; 3 - блок реєстрації (БР); 4 -щит розподільний (ЩР); 5 - вольтметр цифровий; б- відбивач дальній (ВД);7 - відбивач ближній (ВБ); 8 - штатив фотометричного блоку і дальнього відбивача; 9 - штатив ближнього відбивача; 10 - стабілізатор напруги (TS); 11-оптичний замикач

Діапазон вимірювання метеорологічної дальності видимості від 50 до 6000 м розбитий на 2 піддіапазона:

- від 50 до 600 м (автоматичний режим) або до 1200м (ручний режим)
- вимірювання забезпечується при роботі з відбивачем ближнім (ОБ) на базі 20 м;
- від 240 до 6000 м вимірювання забезпечується з відбивачем дальнім (ОД) на базі 100м.

Діапазон вимірювання коефіцієнта пропускання (за шкалами ПФ, БР) - від 8 до 90 % для вказаних значень МДВ.

Основна відносна інструментальна похибка вимірювання МДВ:

- в діапазоні 50-150 м не більше ±20%;
- в діапазоні 150-250 м не більше ±15%;

- в діапазоні 250-400 м не більше ± 10 %;
- в діапазоні 400-1500 м не більше ± 7 % (з відбивачем ближнім в діапазоні 400-600 м ± 15 %, в діапазоні 600-1200 м - ± 20 %);
- в діапазоні 1500-3000 м не більше ±10%;
- в діапазоні 3000-5000 м не більше ± 15 %;
- в діапазоні 5000-6000 м не більше ± 20 %.

Наведена основна інструментальна похибка вимірювання коефіцієнта пропускання нейтральних світлофільтрів не перевищує ± 2 % за шкалою ПФ і БР.

Верхня межа вихідної напруги фотометричного блоку, яка відповідає коефіцієнту пропускання 100 % - (45 ± 1) В, а межі зміни вихідної напруги функціонального перетворювача при зміні МДВ - від 50 до 6000м (0,05-6) В.

Час відробки фотометром робочої ділянки шкали функціонального перетворювача від 6 до 90 % не перевищує 1 хв.

Вимірювальна база фотометра дорівнює (100 ± 0,5) м для роботи з дальнім відбивачем і (20±0,1)м- для роботи з ближнім.

Автоматичний перехід та індикація переходу з однієї вимірювальної бази на іншу забезпечується у відповідності з вимірюваною МДВ. Межа переходу з дальнього відбивача на ближній - 300м ± 20 %, з ближнього на дальній - 600 м ± 20 %.

Крім автоматичного переключення з однієї вимірювальної бази на іншу у фотометрі передбачене ручне (примусове) дистанційне переключення діапазонів при будь-якому значенні МДВ.

Передача даних вимірювання і сигналу переключення діапазонів відбувається по чотирипровідній лінії зв'язку на відстані до 5 км при електричному опорі лінії не більше 2000 Ом і опорі між проводами і по відношенню до землі не менше 100 кОм.

Напруга живлення фотометра 220В (+10%+ -15%), частота (50±1)Гц.

Потужність, яку споживають блоки фотометра, включаючи обігрівання не перевищує 300 Вт.

Час приготування фотометра до роботи після першого вмикання складає 60 хв.

Фотометричний блок формує світловий потік, який надходить до вимірювального середовища (рис.4.2). Ослаблений атмосферою при проходженні до відбивачів і назад світловий потік надходить до фотометричного блоку. Останній перетворює цей світловий потік в сигнал постійного струму, пропорційний коефіцієнту пропускання шару атмосфери, який відповідає довжині бази. Цей сигнал надходить на блок реєстрації і функціональний перетворювач. Функціональний перетворювач перетворює його в сигнал постійного струму, який пропорційний МДВ, і надходить до цифрового вольтметру.

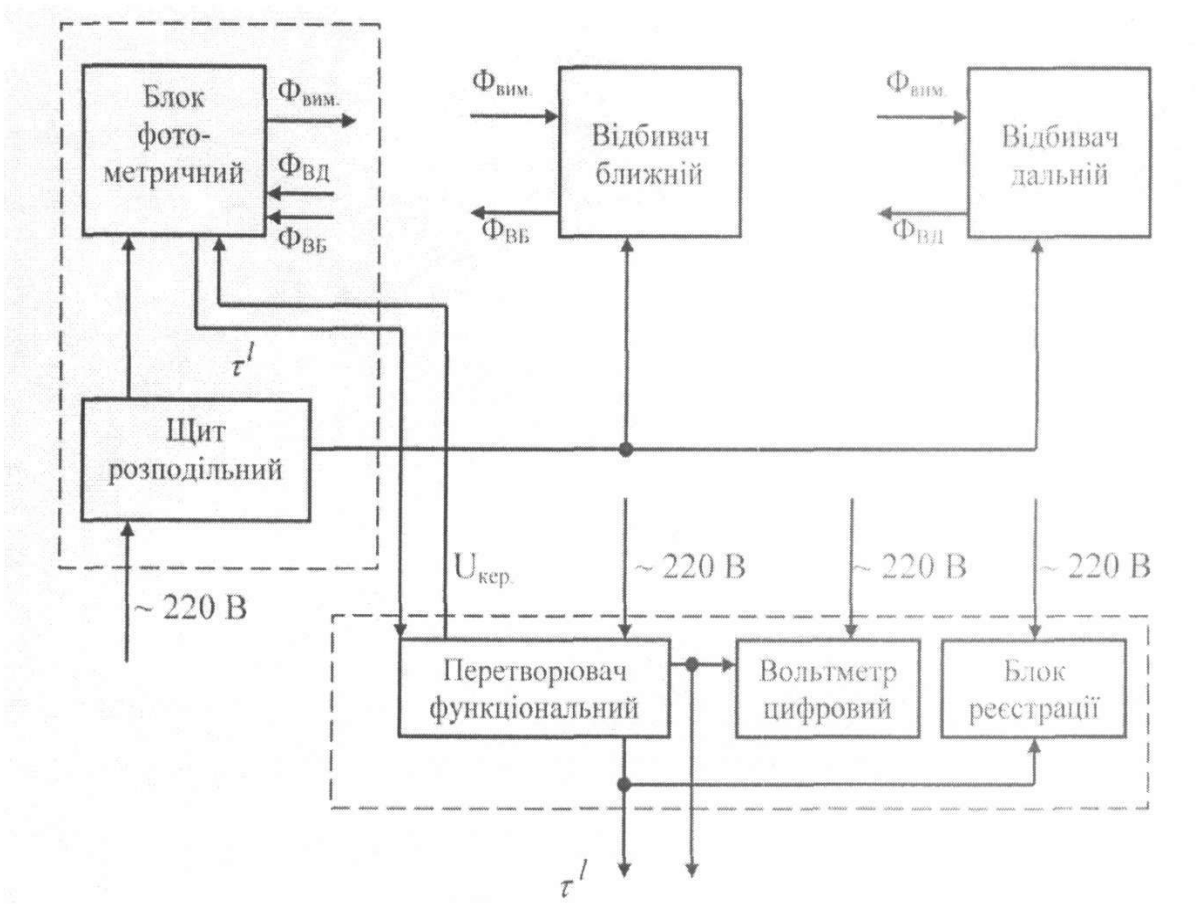

Рис. 4.2 – Блок-схема фотометра

В основі методу вимірювання коефіцієнта пропускання шару атмосфери певної довжини лежить закон, який віл би ваг залежність ослаблення світла атмосферою:

$$\Phi = \Phi_0 * e^{\alpha l}, \qquad (4.1)$$

де Ф – величина світлового потоку, ослабленого шаром атмосфери; Φ_0 – величина початкового світлового потоку; α –коефіцієнт ослаблення; l- довжина шляху світлового променя в атмосфері.

Відношення світлових потоків визначає величину коефіцієнта пропускання, або прозорості даного шару атмосфери товщиною l:

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = e^{-\alpha l} = \tau^l, \qquad (4.2)$$

де $\tau = e^{-\alpha}$ - коефіцієнт пропускання шару атмосфери одинокої довжини.

Знаючи τ (або α), легко визначи ти значення метеорологічної дальності видимості:

$$S_{\text{М}} = \frac{\ln \varepsilon}{\ln \tau}, \text{ або } S_{\text{М}} = \frac{\ln \frac{1}{\varepsilon}}{\alpha} = \frac{l \cdot \ln \frac{1}{\varepsilon}}{\ln \frac{\Phi}{\Phi_0}}, \tag{4.3}$$

де ε - поріг контрасної чутливості ока (ε=0.05).

Принцип дії фотометра полягає в наступному. Основними елементами функціонального перетворювача є: джерело світла- імпульсна лампа і фотоелектронний помножувач (ФЕП). На вхід ФЕП по черзі надходять два світлових потоки: опорний Φ_0 і відбитий одним з відбивачів (ВД або ВБ) і ослаблений атмосферою вимірювальний Φ. З виходу фотоелектронного помножувача (також по черзі) знімаються дві напруги, відповідно, опорна і вимірювальна:

$$U_{оп}=K_l \cdot \Phi_{0,} \tag{4.4}$$

$$U_{вим}= K_l \cdot \Phi, \tag{4.5}$$

де K_l - коефіцієнт перетворення фотоелектронного помножувача.

Коефіцієнт перетворення можна знайти з виразу (4.4)

$$K_l = Uоп/\Phi о \tag{4.6}$$

Підставивши значення K_l в формулу (4.5) і одержимо

$$U_{вим} = \frac{\Phi}{\Phi_0} \cdot U_{оп}. \tag{4.7}$$

На основы формули (4.2) будемо мати

$$U_{вим} = const \cdot \tau^l. \tag{4.8}$$

Тобто, вимірювальний сигнал $U_{вим}$ пропорційний коефіцієнту пропускання шару атмосфери товщиною l, і достатньо виміряти амплітуду цього сигналу, щоб отримати коефіцієнт пропускання вимірюваного шару атмосфери.

Запитання для самоперевірки:

1. З яких основних вузлів складається фотометр ФІ-1?
2. Який діапазон вимірювання МДВ ш допомогою ФІ-1?
3. За яких температур навколишнього середовища фотометр

зберігає свою працездатність?

4. Для чого призначений фотометр ФІ-1?

5. Який час відводиться на відробку фотометром робочої ділянки шкали?

6. Чому дорівнює відносна інструментальна похибка вимірювання МДВ?

7. Скільки потрібно часу для підготовки фотометра до роботи?

8. Який закон лежить в основі метода вимірювання коефіцієнта пропускання шару атмосфери?

9. Яких потрібно додержуватися правил техніки безпеки під час роботи з фотометром?

Опис приладів, устаткування та інструментів, які використовуються при виконанні лабораторної роботи.

1. Фотометр ФВ-1.
2. Кабель № 1 (3 м);
3. Кабель № 2 (25 м);
4. Кабель № 3 (5 м);
5. Кабель №4 (3м);
6. Кабель № 5 (5 м);
7. Кабель №6 (2,1 м);
8. Кабель №7 (11 Ом);
9. Кабель № 8 (3 м);
10. Кабель №9 (5м);
11. Кабель № 10 (2,1 м);
12. Кабель № 11 (105м);
13. Кабель № 12(2,1 м);
14. Кабель № 13 (5м);
15. Заземлення;
16. Підставка.

Правила техніки безпеки та охорони праці, які необхідні при проведенні лабораторної роботи.

1. Отримати інструктаж у викладача з Техніки безпеки і розписатися в журналі.

2. Корпуса всіх блоків фотометра повинні бути надійно заземлені.

3. Гвинти кріплення заземлених пристроїв необхідно періодично затягувати і зачищувати місця контактів для надійного заземлення.

4. Усунення несправностей проводиться тільки після відключення фотометра від живлячої мережі.

5. Установлювати відбивачі дальній і ближній так, щоб виключити попадання прямих сонячних променів у фотометричний блок.

6. Обслуговування відбивачів дальнього і ближнього та їх націлювання проводити при обов'язковому відключенні напруги живлення їхніх обігрівачів.

ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

1. Під час настроювання і регулювання блоків ***категорично забороняється*** торкатися до всіх струмопровідних проводів і радіоелементів схеми.
2. Експлуатація приладу зі знятим кожухом.
3. Експлуатація приладу без заземлення.
4. Для уникнення поразки електричним струмом після вимкнення приладу заборонено проводити ремонт, чищення й огляд приладу протягом 5 хвилин.

Порядок проведення лабораторної роботи.

1. Перед виконанням лабораторної роботи проводиться усне опитування теоретичного матеріалу і визначення мети лабораторної роботи. Результати опитування заносяться до протоколу за підписом викладача.
2. Проводиться викладачем інструктаж з техніки безпеки. Після чого студент розписується в журналі з „Техніки безпеки”.
3. Якщо студент отримав незадовільну оцінку з теоретичного матеріалу, то до виконання лабораторної роботи він не допускається.
4. Кожний студент проводить вимірювання метеорологічної дальності видимості індивідуально.

Методика виконання лабораторної роботи.

Подготовка ФІ-1 до роботи.

1. Розставте і з'єднайте для перевірки прилади і блоки БФ, ПФ, БР, ВЦ, ЩР, Т8 згідно схеми (рис.4.3) в приміщенні, де будуть експлуатуватися ПФ, БР і ВЦ, для чого під'єднайте:

- кабель № 1 до стабілізатора (до клем стабілізатора 1 і 5 приєднайте проводи 1 і 2, а до клем 6 і 7 - проводи 6 і 7) і до роз'єму Х4 ЩР;
- кабель №4 - до роз'ємів XI БФ і Х5 ЩР;
- кабель № 3 до роз'єму Х5 БФ, а його кінці з наконечниками -до клем розподільної коробки лінії зв'язку; лінію зв'язку забезпечує споживач;
- кабель № 5 - до роз'єму Х2 ПФ, а його кінці з наконечниками до клем розподільної коробки лінії зв'язку разом з наконечниками кабелю № 3, враховуючи номери наконечників і номери ліній;

- кабель №6 - до роз'єму XI ПФ;
- кабель № 8 - до клем XT2 -XT4 ПФ і до клем „Вхід 1” і „Вхід 2” ВІД;
- кабель № 9 - до клем 1 і 8 БР і клем XT1 і XT2 ПФ;
- кабель № 10 - до клем 7 і 14 БР;
- кабель № 11 - до роз'єму XI ЩР;
- кабель № 12 - до роз'єму „Мережа” ВЦ;
- кабель № 13 - до клем 6 і 13 БР і до клем XT3 і XT2 ПФ.

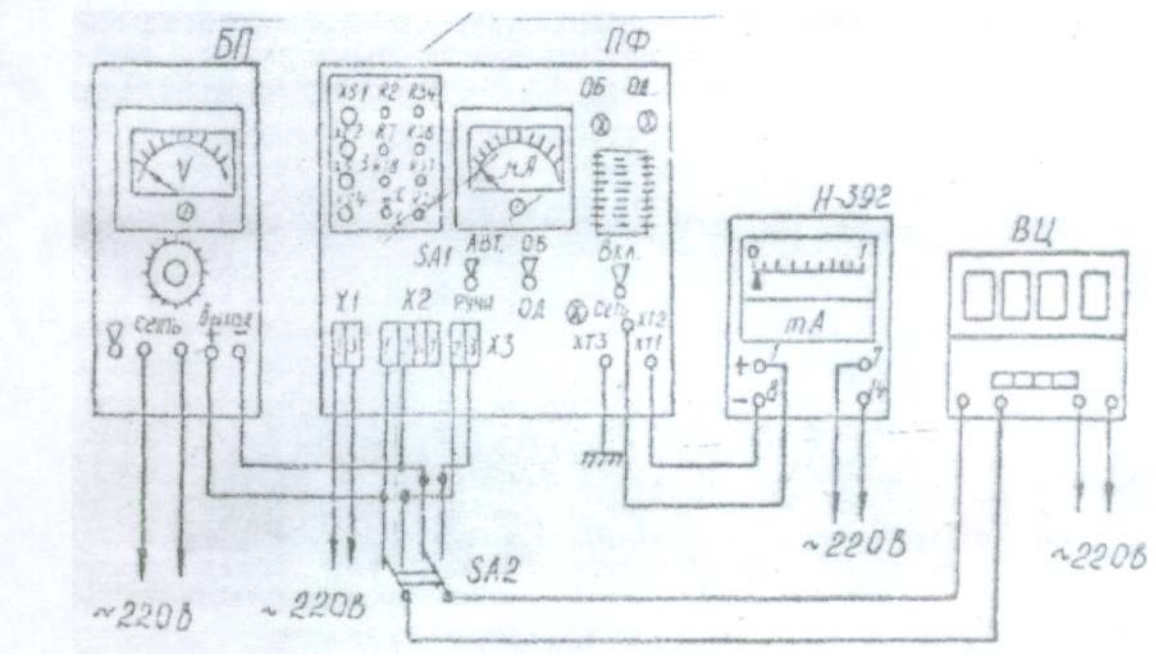

Рис.4.3 – Схема з'єднання блоків і приладів у ФІ-1

2. Поставте тумблери увімкнення мережі на ЩР, ПФ, БР і кнопку „Мережа” ВЦ в положення „Викл.”.

3. Перевірте правильність установки нулів індикаторних приладів ЩР, ПФ, БР і за необхідності виставте їх за допомогою коректорів, стрілку БР попередньо розстопоріть.

4. Підключіть кабелі живлення ЩР, ПФ, ВЦ (№ 11, 6, 10, 12) до мережі 220 В, 50 Гц. Вигвинтіть гвинти задньої панелі БФ висуньте ПФ з кожуха.

5. Відверніть стопорний гвинт світлофільтра і достаньте світлофільтр Ш з тримача, вставте БФ в кожух, увімкніть тумблер „Мережа” на ЩР, а потім на ПФ, поставте тумблер роду робіт ПФ в положення „Ручн.”, а діапазонів - ВД.

6. Зніміть на панелі фотометричного блоку знімну кришку і замірьте опорну напругу на гніздах X81-X84 вимірювального блоку, яка повинна дорівнювати 120 ± 20 В. За необхідності відкорегуйте її опором RII блока живлення.

7. Установіть на рамку захисного скла фотометричного блока оптичний замикач, закріпіть його гвинтами, вставте в нього світлофільтр I. Змінюючи діафрагму замикача за допомогою регульованих гвинтів установіть показання функціонального перетворювача у відповідності із значенням коефіцієнта пропускання світлофільтра I.

8. Установіть замість світлофільтра I світлофільтр III. Показання функціонального перетворювача повинне установитися у відповідності із значенням коефіцієнта пропускання світлофільтра III. За необхідності скорегуйте його опором RII вимірювального блоку. Ці операції повторіть один — два рази.

9. Перевірте лінійність шкали по контрольних світлофільтрах. Для чого вставте по черзі в оптичний замикач світлофільтри, світлонепроникний екран і зробіть замірювання без світлофільтрів.

10. Установіть тумблер діапазонів функціонального перетворювача в положення ВБ і зробіть операції пунктів 7, 8, 9 (без коректування ЯII вимірювального блоку).

11. Перевірте точність перетворювання величини коефіцієнта пропускання в МДВ. Для чого при перевірці по світлофільтрах (п.9) при установленому показанні, користуючись перевідною шкалою на передній панелі функціонального перетворювача, визначте похибку вимірювання МДВ по цифровому вольтметру. Перевірку зробити для діапазонів ВД і ВБ.

12. При застосуванні цифрового приладу Ф 216-113 замість цифрового вольтметра, його показання (чотири значущі цифри) відповідають МДВ у метрах. При правильному підключенні на цифровому вольтметрі повинен індиціюватися знак мінус.

13. Переміщуючи за допомогою регульованих гвинтів головку штатива ВД у вертикальній і горизонтальній площинах, зробіть наведення ВД по його прицільному пристосуванню на центр захисного скла фотометричного блоку і, застопоріть гвинти головки штатива.

14. Зробіть наведення фотометричного блоку на дальній відбивач. Для цього вигвинтіть заглушку з отвору оптичного прицілу на задній панелі фотометричного блоку і, переміщуючи за допомогою регульованих гвинтів головку штатива у вертикальній і горизонтальній площинах, сполучіть мушку оптичного прицілу з центром бленди дальнього відбивача і застопоріть регульовані гвинти головки штатива.

15. Для установки ближнього відбивача спочатку потрібно зібрати штатив, а саме:

- одягніть на штир плити основи нижню (більш довгу і більшого діаметру) трубу і закріпіть її за допомогою болтів;

- одягніть на верхню трубу трикутну планку з отворами і вставте верхню трубу в нижню, злегка застопоріть її болтом в кільці,

одягнутому наверх нижньої труби;

- уставте в отвори на трикутній планці розтяжки з крючками. Установіть штатив ближнього відбивача на відстані 20 ± 0,1 м від фотометричного блоку в створі з дальнім відбивачем і БФ. Установіть на штативі відбивач ВБ, злегка закріпіть його болтом і зробіть попередню установку ближнього відбивача по оптичному прицілу БФ, використовуючи можливості регулювання штатива і самого відбивача (рис.4.4). Зафіксуйте відбивач болтом.

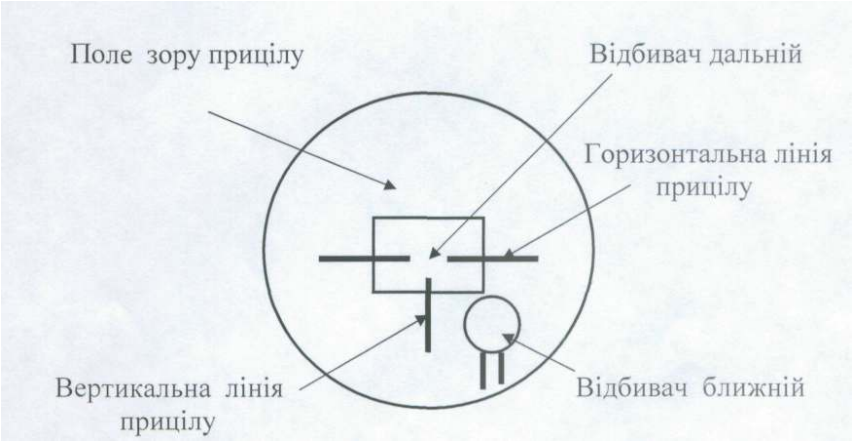

Рис.4.4– Вигляд ближнього відбивача в приціл

16. Підключіть кабелі живлення ЩР, ПФ, БР і ВІД (№№ 11, 6, 10 і 12) до мережі.

17. Установіть тумблер рода робіт ПФ в положення „Ручн.”. Поставте тумблери увімкнення мережі на ЩР, а потім на ПФ, важіль протягнення стрічки БР і кнопку „Мережа ВЦ” в положення „Вкл.”.

18. Фотометр поставляється підприємством-виготовником, виставленим на реальний коефіцієнт пропускання атмосфери, але при першій же можливості, при хорошій видимості (ясний день при слабкій запиленості атмосфери і видимості більше 15 км) необхідно перевірити в режимі роботи по дальньому відбивачу вихідну напругу фотометричного блоку, показання функціонального перетворювача і блоку реєстрації. Вихідна напруга фотометричного блоку на гніздах Х81 Х82 вимірювального блоку вимірюється тестером і повинна дорівнювати (43,2 + 45) ± 1 В, показання функціонального перетворювача і блоку реєстрації максимальному значенню коефіцієнта пропускання атмосфери.

При відхиленні цих значень:

1) за допомогою опору R20 вимірювального блоку встановіть необхідну величину вихідної напруги фотометричного блоку, а при необхідності за допомогою опору R1 БЖ - величину опорної напруги на

гніздах X81-X84 вимірювального блоку (120±20) В;

2) установіть показання функціонального перетворювача і блоку реєстрації:

- показання функціонального перетворювача при натисненій кнопці „Конт.” (на платі в ніші на передній панелі функціонального перетворювача) - резистором R4;

- показання функціонального перетворювача при відпущеній кнопці резистором R35 (на цій же платі);

- показання блоку реєстрації — резистором R37 (там же).

3) Зробіть кінцеву установку ближнього відбивача. Для чого:

- установіть режим роботи фотометра по ближньому відбивачу (натисніть на БФ кнопку ВБ);

- переміщуючи штатив ВБ і регулюючи його висоту, а також повертаючи по вертикалі і горизонталі сам ВБ, знайдіть максимальну вихідну напругу фотометричного блоку (гнізда XS1-XS4);

- закріпіть штатив ВБ за допомогою розтяжок, а сам відбивач - болтом. При цьому слідкуйте, щоб не зменшувалася вихідна напруга фотометричного блоку;

- ослабте стопорний гвинт дзеркала ВБ і обертанням оправи дзеркала установіть вихідну напругу фотометричного блока таку ж, як і при роботі з ВД (при великій прозорості атмосфери);

- застопоріть оправу дзеркала гвинтом.

Проведення вимірювань.

1. Після установки і підрегулювання фотометра для увімкнення приладу установіть тумблери „Мережа ЩР”, а потім функціонального перетворювача, блоку реєстрації і кнопку цифрового вольтметра „Мережа” в положення „Вкл.”. При цьому включаються повністю всі складові частини приладу, в тому числі і імпульсна лампа і комутатор фотометричного блоку. Час приготування приладу після першого увімкнення складає 60 хв. Зробіть відлік величини коефіцієнта пропускання атмосфери по мікроамперметру функціонального перетворювача, її реєстрацію перевіряйте на стрічці блоку реєстрації, а величину метеорологічної дальності видимості за показаннями цифрового вольтметра.

2. При необхідності тільки періодичних вимірювань тумблери ПФ, БР і кнопку ВІД „Мережа” поставте в положення „Викл.” (при цьому у фотометричному блоці вимкнені імпульсна лампа і комутатор), а для вимірювання - в положення „Вкл.” (при цьому у фотометричному блоці вмикаються імпульсна лампа і комутатор) і не більше, ніж через 2 хв зніміть відлік результатів вимірювання.

3. Режими роботи фотометра встановіть тумблерами функціонального перетворювача рода роботи і діапазонів:

- з автоматичним перемиканням діапазонів, тобто автоматичної

роботи з ВБ і ВД - тумблер рода роботи в положення „Авт.”. При цьому тумблер діапазонів може стояти в положенні - ВБ або ВД. Для ручного перемикання діапазонів тумблер рода роботи в положення „Ручн.”, а діапазонів - в залежності від вибраного діапазона - ВБ або ВД.

4. Для перевірки фотометричного блоку безпосередньо на місці його розміщення увімкнення імпульсної лампи комітатора і перемикання діапазонів вимірювання робіть натиском відповідних кнопок ВД або ВБ (під знімною кришкою на передній панелі фотомтричного блоку).

5. Реєстрацію коефіцієнта пропускання атмосфери робіть блоком реєстрації (самописом).

6. На діаграмній стрічці блоку реєстрації при її встановленні зробіть помітку часу, дату початку реєстрації, номер фотометра. При безперервній експлуатації приладу відмітку часу на діаграмній стрічці самописа робіть не менше, ніж через 3 години. Роботу з ВБ визначайте по зміщенню запису відмітчика від нульової відмітки.

7. Перевірте правильність установки вибранної швидкості протягнення стрічки. За необхідності встановіть її за допомогою шестерен.

8. Проконтролюйте стан лінії зв'язку. Для чого поставте тумблер рода роботи функціонального перетворювача в положення „Ручн.” і зробіть 2 - рази перемикання тумблера діапазонів ПФ на ВБ і ВД. При справній лінії зв'язку повинен спостерігатися зміщення стрілок мікроамперметра ПФ і БР в сторону зменшення. При великому коефіцієнті пропускання атмосфери (більше 90 %) показання ПФ при роботі на ВБ і ВД не повинні відрізнятися більше, ніж на 4 %.

9. При виході з ладу цифрового вольтметра відлік МДВ можна робити по мікроамперметру, перемкнувши тумблер „Проз.-МДВ”, який знаходиться під знімною кришкою ПФ, в положенні МДВ.

Порядок оформлення звіту та його представлення і захист.

Результати проведеної лабораторної роботи оформлюються протоколом. Він повинен містити такі дані:

1) тема лабораторної роботи;
2) мета лабораторної роботи;
3) короткі теоретичні відомості;
4) порядок проведення лабораторної роботи;
5) порядок обробки результатів досліджень;
6) висновки.

Лабораторна робота № 5

„Вимірювання температури і вологості повітря за допомогою радіозонда”

Мета роботи - вимірювання температури і вологості повітря за допомогою радіозонда.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. Під час виконання лабораторної роботи студент повинен

знати:

- будову датчиків температури і вологості повітря;
- будову і роботу радіозонда МАРЗ-2;
- методику вимірювання температури і вологості повітря за допомогою радіозонда МАРЗ-2;
- будову і роботу КВПАС-1М;

вміти.

- проводити збір радіозонда МАРЗ-2;
- робити перевірку працездатності радіозонда МАРЗ-2 за допомогою комплекту вимірювальних приладів КВПАС-1М;
- вимірювати частоту радіоблоку МАРЗ-2 за допомогою частотоміра 42-9А;
- вимірювати частоту вимірювального генератора при увімкненні в ланцюг опорного опору, датчиків температури і вологості.
- по виміряним частотам визначати температуру і вологість повітря.

Теоретичні положення. На цей час аерологічна мережа України переведена на зондування малогабаритними аерологічними радіозондами. Ці зонди можуть працювати як з РЛС „Метеорит” („Метеор”), так і з ГБ27С-І. Оскільки „Метеор” і „Метеорит” мають відомі нам конструктивні відмінності [1], то і радіозонди, які працюють в комплексі з ним, теж мають відмінності, які не є, проте, принциповими. Радіозонди МАРЗ-2-1 призначені для роботи з РЛС „Метеор” і „Метеорит”, а радіозонди МАРЗ-2-2 - з РЛС „Метеорит-2” і „Титан”. Є ще модифікація МАРЗ-0 - це передавач-відповідач, який можна використовувати з будь-яким з типів РЛС при вітровому зондуванні.

Основні технічні характеристики. Несуча частота у радіозондів всіх типів 1782 ± 8 МГц, частота проходження імпульсів (суперуюча частота) 800 кГц, чутливість до імпульсів запиту РЛС 50 дБ. Діапазон вимірювання температури + 50°С -80°С. вологості 15 - У8 % при температурі не нижче -40°С. Діапазон зміни опорної частоти у МАРЗ-2-1 2080 - 80 Гц, у МАРЗ-2-2 1080-40 Гц. Тривалість паузи у випромінюванні радіозонда МАРЗ-2-1 65+-15 мкс, МАРЗ-2-2-240-5-40 мкс. Черговість

надходження телеметричної інформації F_{on}, F_t, F_u, F_t, F_{on}, при тривалості циклу $25c$. Живлення здійснюється від батареї 28-МХМ-01, яка видає напругу 28 і 9,5 В. Вага радіозонда в зборці не більше 430 г, а передавача -310г.

Блок-схема радіозонда типу МАРЗ аналогічна блок-схемі радіозонду типу РКЗ (рис.5.1). Проте елементна база інша. Насамперед, в схемі немає жодної лампи, і, отже, нема необхідності у живленні великої ємності. За рахунок цього і вдалося сильно зменшити вагу радіозондів

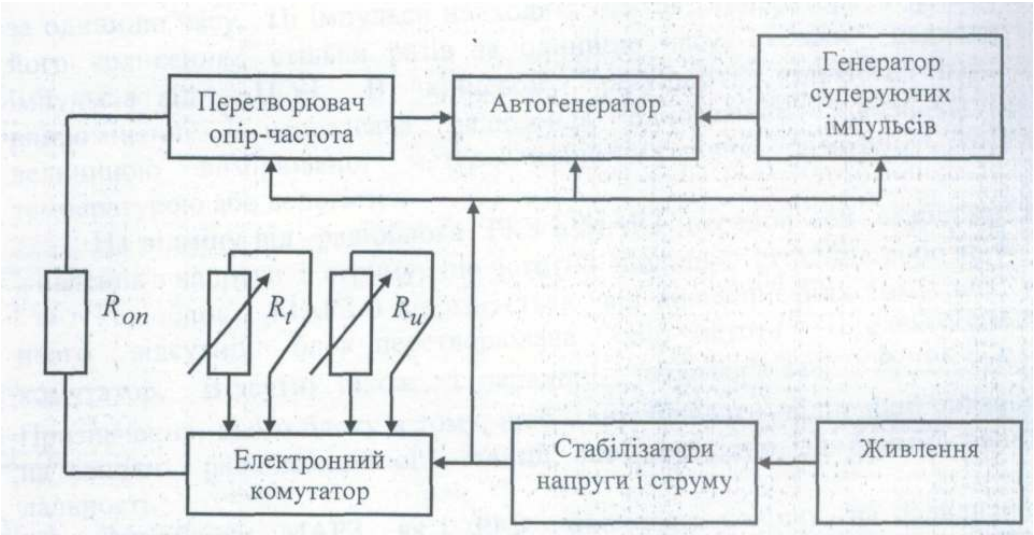

Рис.5.1 – Блок-схема радіозонда типу МАРЗ: R_{on} - резистор опорної частоти; Rt - резистор температурної частоти; R_u - резистор частоти вологості

Всі деталі, які використовуються при виготовленні радіозонда, випускаються серійно. Це з однієї сторони сильно здешевлює радіозонд, а з іншої - підвищує надійність його роботи.

Автогенератор СВЧ безперервно вироблює електромагнітні коливання несучої частоти (1780 МГц). На ці коливання накладаються майже синусоїдальні коливання з частотою 800 КГц, які вироблюються (теж безперервно) генератором суперуючих імпульсів.

Ці коливання необхідні для того, щоб забезпечити роботу передавача в режимі надгенерації, тобто зробити його здатним відповідати на запити РЛС більш потужним, ніж звичайно (приблизно на 15 %) випроміненням з наступною паузою у випромінені. Завдяки цьому за часом запізнення між імпульсом запиту РЛС і відповідною паузою радіозонда можливе вимірювання дальності до радіозонду.

Як первинний перетворювач температури використовується термістор типу ММТ-1, а вологості - традиційна тваринна плівка.

У мікрозондів типу МАРЗ первинні перетворювачі підключені послідовно с опорним опором. Електрокомутатор через R_{on} передає величину опору первинних перетворювачів на перетворювач опір-частота (ПОЧ). Тут в залежності від величини загального опору $R_{on}+R_t$ або $R_{on}+R_u$ вироблюється цілком певна кількість від'ємних імпульсів за одиницю часу. Ці імпульси надходять до автогенератора і зривають його коливання стільки разів за -одиницю часу, скільки надходить імпульсів від ПОЧ. В кінцевому результаті кількість пауз у випроміненні передавача радіозонда однозначно визначається величиною вимірюваної метеовеличинп на рівні радіозонда, тобто температурою або вологістю.

На відміну від радіоблока РКЗ в МАРЗ передбачена стабілізація живлення з напруги і струму, що істотно підвищує стійкість роботи.

Радіоблок МАРЗ-0 відрізняється від вищеописаних Іим. що у нього відсутній блок перетворювача опір-частота і електронний комутатор. Відсутні також і первинні перетворювачі R_t і R_u. Призначення цього блоку в тому, щоб вироблювати відповідні сигнали на запити радіолокаційної станції, що необхідно для вимірювання дальності.

Радіоблоки МАРЗ, як і РКЗ проходять повірку на обладнанні КВПАС-Ім (комплект вимірювальних приладів аерологічної станції), який модифікований стосовно цих типів радіоблоків. Модифікація полягає у виготовленні спеціальних комутуючих роз'ємів, а також в застосуванні високо стабільних джерел живлення типу Б5-45 на 28,5 і 9,5 В, які являють собою компенсаційні стабілізатори із захистом від перевантажень і коротких замикань.

Серед серії малогабаритних радіозондів найбільш перспективним є МРЗ-ЗА. Це обумовлено цілим рядом властивих йому особливостей, які істотно підвищили надійність роботи і спростили автоматизацію обробки телеметричної інформації. Саме цей радіозонд завдяки його достоїнствам використовується в системі зондування з повною автоматичною обробкою безпосередньо на аерологічній станції системою АВК-І , яка являє собою подальший розвиток станцій типу „Титан”. Остання оснащена спеціалізованою ЕОМ, що призначена для забезпечення обробки інформації з видачею даних за кодом КН-04, КН-03 і телеграм „Шторм”.

За відмови спеціалізованої ЕОМ радіозонди МАРЗ-ЗА можуть бути оброблені в системі централізованої обробки на універсальній ЕОМ обчислювального центру.

Радіозонд МРЗ-ЗА є однією з моделей радіозондів 1Б25, розроблених Свердловським політехнічним інститутом. Принцип його дії дуже подібний до радіозондів типу РКЗ і МАРЗ, але мають й істотні відмінності. Радіозонд містить такі вузли (рис.5.2):

- датчик температури (ДТ);
- датчик вологості (ДВ);

- електронний комутатор (ЕК);
- вимірювальний перетворювач (ВП);
- формувач імпульсів (ФІ);
- надгенеративний прийомо-передавач (НПП);
- антену (А);
- стабілізатори напруги і струму (СНС);
- батарею живлення типу 28 МХМ-0,1.

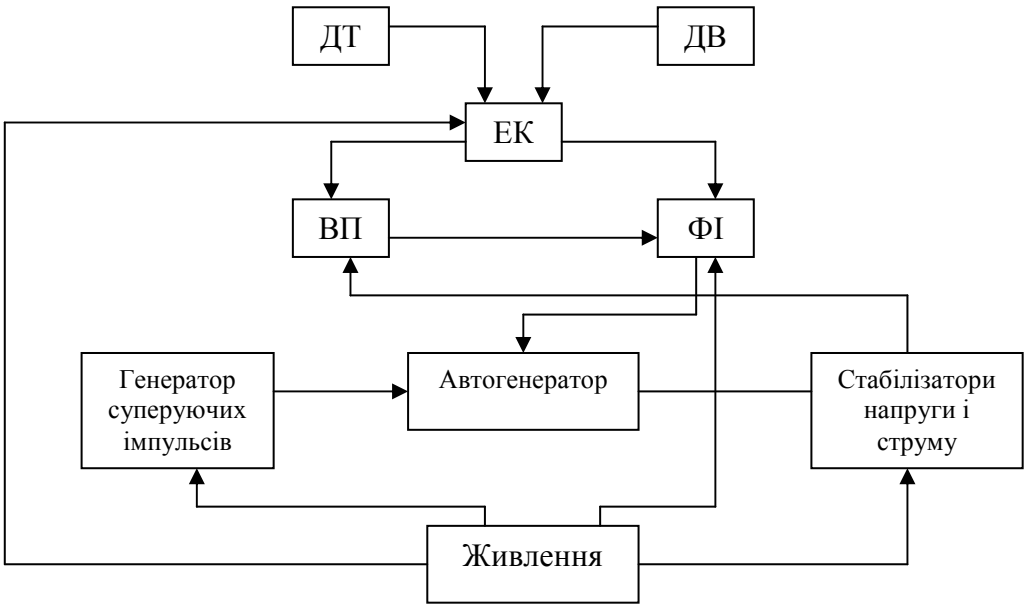

Рис.5.2 – Структурна схема радіозонда МРЗ-ЗА

Датчики температури і вологості здійснюють первинне перетворення цих параметрів атмосфери в електричний опір відповідної величини. Як датчик температури використовується резистор ММТ-6, а датчик вологості - оксид алюмінію, а також традиційна тваринна плівка з перетворенням механічних характеристик в електричному опорі.

Електронний комутатор забезпечує почергове підключення до вимірювального перетворювача датчиків температури і вологості. Ці датчики підключаються послідовно *з* опорним резистором.

Вимірювальний перетворювач здійснює перетворення електричного опору датчиків в період надходження імпульсів температури (Т) або вологості (В). Міні-ЕОМ станції АВК-І обчислює потім значення y_t, і y_u. Перехід від кількості імпульсів за одиницю часу до періоду їх надходження для кожного з метеопараметрів є однією з важливих відмінностей радіозондів типу МРЗ від МАРЗ і РКЗ.

Сигнали з вимірювального перетворювача надходять до формувача імпульсів, де вони подовжуються, що є необхідним для підвищення перешкодостійкості каналу системи -радіозондування „МАРЗ-ЗА-АВК-Г”. Крім того, формувач вироблює істотно різної тривалості імпульси температури і вологості. Команду на перехід від формування імпульсу

однієї тривалості до другої подає електронний комутатор в момент перемикання датчиків. Таким чином, в залежності від того, який датчик підключений, імпульси на виході формувача імпульсів мають ту чи іншу тривалість, причому різниця в їх тривалості для конкретного радіозонду складає не менше ІЗОмкс. Завдяки цьому АВК-І впевнено розділяє сигнали датчика температури від сигналів датчика вологості. В цьому полягає друга істотна відмінність радіозондів типу МРЗ. Сигнали радіозондів типу МАРЗ і РКЗ при зондуванні в приземному шарі в літній час, а також при збоях і замираннях) часто мали одні й ті ж частоти як по температурі, так і по вологості, що утруднювало їх розділення. За цією причиною обробка телеметричної інформації на ЕОМ, незважаючи на програмні хитрування, часто виявлялася неможливою або мала грубі помилки в результатах [1].

Надгенеративний прийомо-передавач складається з автогенератора НВЧ, який поєднує функції генератора, високочутливого приймача запитних імпульсів від АВК-І і активного відповідача по каналу дальності, генератора суперуючих імпульсів (ГСІ), який виробляє прямокутні імпульси з частотою надходження 800 або 600 кГц, що забезпечують роботу НВЧ-АГ в режимі надгенерації.

Функціональні вузли радіоблока змонтовані на печатній платі, установленій всередині замкненого циліндричного стакану (для порівняння радіозонди типу МАРЗ мають форму куба), який спільно з випромінюваним вібратором і ємнісною шайбою утворюють антену радіозонда. Модуль НВЧ закріплюється до дна стакану всередині нього, а снаружи розташована з'єднана з ним антена. Остання являє собою четвертьхвильовий вібратор, електричним противагою якого є стакан. Цей стакан є екраном, який захищає радіоблок від поля НВЧ, випромінене антеною.

В кришці стакану є пази, крізь які проходять роз'єми для підключення датчиків температури, вологості і батареї живлення.

Стабільна робота радіоблоку забезпечується стабілізацією напруги і струму для найбільш відповідних його вузлів.

Наведемо найбільш важливі характеристики радіозонда МРЗ: Радіозонди МРЗ-ЗА випускаються в двох модифікаціях: з частотою надходження суперуючих імпульсів 800 і 600 кГц. Відповідно вони мають додаткові позначення ЗА8 і ЗА6. Девіація частоти надходження суперуючих імпульсів знаходиться в межах 11- 17 кГц при відхиленні від номінальних значень (800 і 600 кГц) не більше ніж -5 - +25 кГц. Для радіозондів першого типу час підключення того чи іншого датчика („час канальних інтервалів”) дорівнює 5,1 -5,4 с, а для другого - 6,7 - 7,8 с. Черговість надходження каналів: опорний, температурний, вологісний, температурний, опорний.

Діапазон зміни періоду надходження імпуотсів вимірювального перетворювача такий:

- в температурному каналі при зміні опору датчика температури від 3 до 1000 кОм - 1562-5882 мкс;

- у вологісному каналі при зміні 1,5 < R_u <15 км - 1526-2564 мкс.

В той же час діапазон зміни тривалості імпульсів на виході формувача такий:

- в опорному каналі - 200 - 350 мкс;
- в температурному і вологісному каналах -435-765 мкс.

При цьому, як уже відмічалося, різниця значень тривалості імпульсів в каналах температури і вологості не менше 180 мкс.

Радіозонди МРЗ-ЗА поставляються в упаковці по 30 шт. При цьому 15 шт. типу МРЗ-ЗА (346) і 15 шт. типу МРЗ-ЗА (ЗА8). Один комплект поставки крім радіозондів має комплект ЗВП, куди входить один запасний датчик температури і один - вологості з етикетками. В комплекті поставки повинні бути і батареї (30 шт.) типу 28МХМ-0.1. Правда, поки батареї частіше надходять окремо в упаковці по 60 шт. Безпосередньо з заводу - виготовника батарей. Перевіряють збереженість і повноту комплектації у відповідності з упаковочним листом. Зовнішнім оглядом переконуються у відсутності механічних пошкоджень основних вузлів. Після цього перевіряють відповідність номерів складових вузлів радіозондів і номерів етикеток на ці вузли. Перевіряється також наявність тримачів термісторів і 30 комплектів шнурів.

Після перевірки повноти комплектації переходять до перевірки працездатності кожного з радіоблоків. При цьому перевіряються такі параметри:

- несуча частота;
- щільність потоку енергії випромінення;
- чутливість прийомо-передавача до запасного каналу;
- якість відповідного сигналу радіозонда;
- мінімальна частота суперування;
- працездатність датчиків радіохонда;
- працездатність електронного комутатора;
- мінімальні періоди повторення телеметричного сигналу в опорному, температурному і вологісному каналах;
- струми, які проходять по ланцюгам 9,5 і 27 В.

Перевірка технічних характеристик МРЗ-ЗА проводиться за допомогою комплекта приладів КПР-І для перевіркм малогабаритних радіозондів (аналог КВПАСа). Іноді для цього використовують безпосередньо АВК-І.

Підготовка радіозонда до випуску не відрізняється від підготовки радіозондів типу МАРЗ і РКЗ, і здійснюється згідно [1].

Живлення радіозондів здійснюється від батареї 28 МХМ-0,1 водозаливного типу. Індекс батареї інтерпретується як живлення марганцево-хлористо-магнієве з максимальною напругою 28 В і ємністю

0,1 ампер-год.

Батарея складається з чотирьох секцій по 9,5 В кожна, набранних з елементів по 1,6 В кожна послідовним з'єднанням, аналогічно сухим батареям галетного типу. Три секції з'єднані послідовно і забезпечують напругу 28,5 В, а одна секція - окремо. Вона забезпечує напругу 9,5 В. Отже, живлення складається як би з двох самостійних батарей, розміщенних в одному корпусі. Мінуси обох батарей для зручності з'єднані разом. Виводи оформлені у вигляді спеціальної чотириштиркової вилки, де стоїть окремо „мінус”, а потім „9,5 В” і далі два виводи по 28,5 В.

Батарея звичайно зберігається в целофановом у футлярі, який не треба розкривати без потреби, тому що батарея починає поглинати пари з повітря і постійно мимоволі розряджується.

Батарею готують до роботи в такому порядку. Спочатку її вилучають з поліетиленового чохла і переконуються у відсутності механічних пошкоджень, в надійності пайки виводів. Потім її заглиблюють на 6 хв в сосуд з водою при температурі 15-35°С.

Якщо батарея зберігалася при температурі нижче 10°С, то її потрібно спочатку протягом години або більше витримати при температурі не нижче 25°С, або провести замочування у воді при температурі 40-60°С.

В сосуд батарея заглиблюється у вертикальному положенні чотириштриковою вилкою уверх. Шар води над батареєю повинен бути не менше 5 см, в той же час вилка повинна залишатися сухою. Щоб прискорити проникнення води, батарею злегка погойдують. Через 6 хв батарею вилучають з води, струшують надлишок води і кладуть в два виводи по 28,5 В.

Методика виконання лабораторної роботи.

Перевірка технічних характеристик МАРЗ-2.

1. Зовнішнім оглядом упевнитися у відсутності пошкоджень вузлів радіозонда.

2. Перевірити працездатність і технічні характеристики радіозонда МАРЗ-2, для чого:

- зібрати вимірювальну схему (рис.5.4);
- установити пристосування МАРЗ/П4 на штири роз'єму Ш6 сиенду СП-Ім комплекта КВПАС-Ім;
- підключити радіоблок радіозонда до пристосування МАРЗ/П4, згідно рис.5.4;
- установити радіозонд на пристосування МАРЗ/П4 і підключити датчики температури і вологості до гнізд „ $Д_t$“ і „ $Д_u$“ пристосування (рис.5.5);

- підключити штекери пристосування МАРЗ/П4 до джерел живлення Б5-45 згідно міркуванню та полярності;

- установити набірні перемикачі напруги на джерелах живлення Б5-45 в положення 32 і 10,5 В відповідно при вимкнених джерелах живлення;

- вимкнути джерела живлення і перевірити споживчі струми по ланцюгам 28 і 9,5 В. При максимальній напрузі 32 В - $I < 50$ мА, а при напрузі 10.6В- $I < 30$ мА. При мінімальній напрузі 24 В, $I > 35$мА, а при напрузі 8,5 В – $I > 20$ мА. При перевірці максимальних споживчих струмів максимальні струми стабілізації повинні бути встановлені на Б5-45 50 і 30 мА, а при перевірці мінімальних споживчих струмів на Б5-45 необхідно установити струми стабілізації, що дорівнюють 30 і 20 мА.

Якщо в кінці перевірки радіоблока по максимально споживчому струму на передніх панелях Б5-45 спалахує хоч би одна з лампочок „Струм”, а по мінімальному споживчому струму не спалахує ні одна сигнальна лампочка, то радіозонд бракується. Після перевірки технічних характеристик радіозонда вимкнути джерело живлення і за допомогою набірних перемикачів установити на них номінальні. значення напруг 28 і 9,5 В.

3. Увімкнути джерело живлення Б5-45.

4. Увімкнути запитник 3-2 на КВПАС-Ім, установити перемикач на стенді СП-1 в положення „Відповідь” і при тривалості розгортки осцилографа СІ-70 1 мкс перевірити наявність і якість відповідного сигналу радіозонда. Глибина провалу відповідної паузи на екрані осцилографа повинна бути не менше 50 % амплітуди сигналу МАРЗ-2, потрібно зняти поліетиленові чохли. В чохлі, в замоченному стані батарея може зберігатися не більше 5 годин. Чохол потрібно зав'язувати ниткою.

Потім приступають до формування батареї, для чого її підключають до формовочного пристрою до відповідного роз'єму і вмикають режим „активації”. Через декілька хвилин, звичайно не більше 10, вмикають режим „Контроль” і спостерігають за напругою батареї за вольтметром. Формовка при цьому продовжується. При досягненні мінімальних значень, тобто 24,4 і 8,6 В по ланцюгам 27 і 9,5 В формування припиняють. Сформована батарея повинна бути використана не пізніше, ніж через 2 - години. По закінченню формування батарею відключають і зав'язують кожний з поліетиленових чохлів окремо.

При роботі з батареєю на всіх етапах потрібно уникати короткого замикання між контактами, тому що це може вивести батарею з ладу. Підготовлену до роботи батарею приєднують до попередньо підготовленного радіоблоку. Батарею укладують зверху радіоблока МРЗ-2. За або в спеціальний відсік при підключенні до радіоблоків типу МАРЗ.

Запитання для самоперевірки:

1. З яких вузлів складається радіозонд МАРЗ-2М?
2. Які датчики для вимірювання температури і вологості повітря використовуються в радіозонді?
3. Поясність роботу радіозонда МАРЗ-2 за функціональною схемою.
4. Які частоти відповідають вимірюванні температури і вологості повітря?
5. Як проводиться підготовка радіозонда до вимірювання метеопараметрів?
6. Викладіть принцип вимірювання температури і вологості повітря за допомогою радіозонда МАРЗ-2.
7. Як проводиться перевірка технічних характеристик радіозонда?
8. Для яких цілей використовується опорна частота?

Опис приладів, устаткування та інструментів, які використовуються при виконанні лабораторної роботи.

1. Радіозонд МАРЗ-2 в комплекті.
2. Комплект контрольно-вимірювальних приладів КВПАС-1М.
3. Графік статистичних характеристик перетворення частоти радіозонда по температурі і вологості.
4. Батарея живлення 28МХМ-0,1
5. Пристосування МАРЗ/П4.
6. Пристосування МАРЗ/П5.

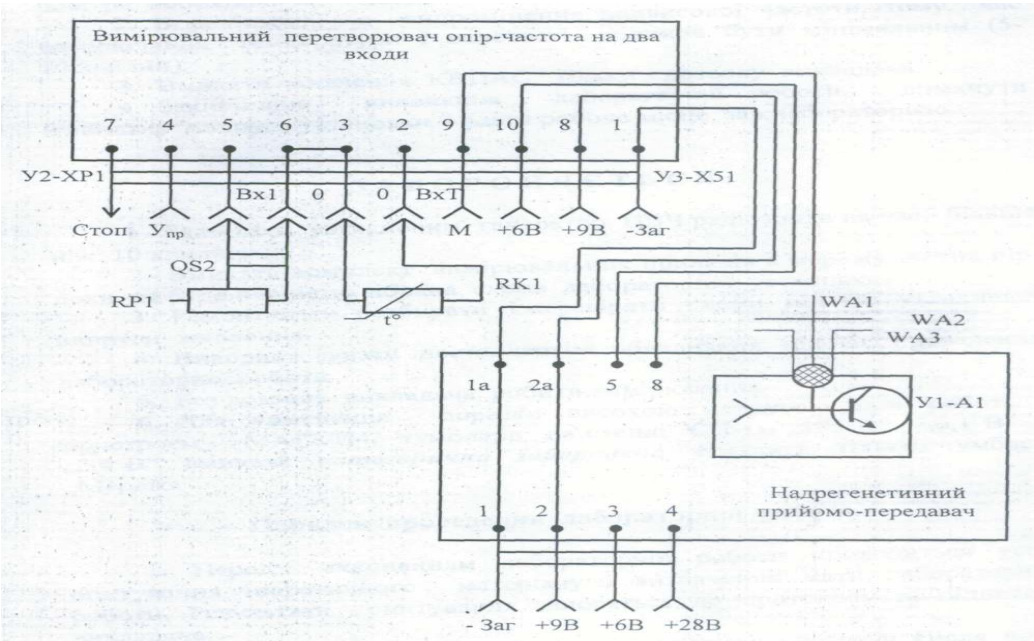

Рис.5.3 - Схема електричних з'єднань: RP1 - датчик вологості; RK1 - датчик температури, WA1 - антена; WA2 - шайба ємнісна; WA3- екран антени

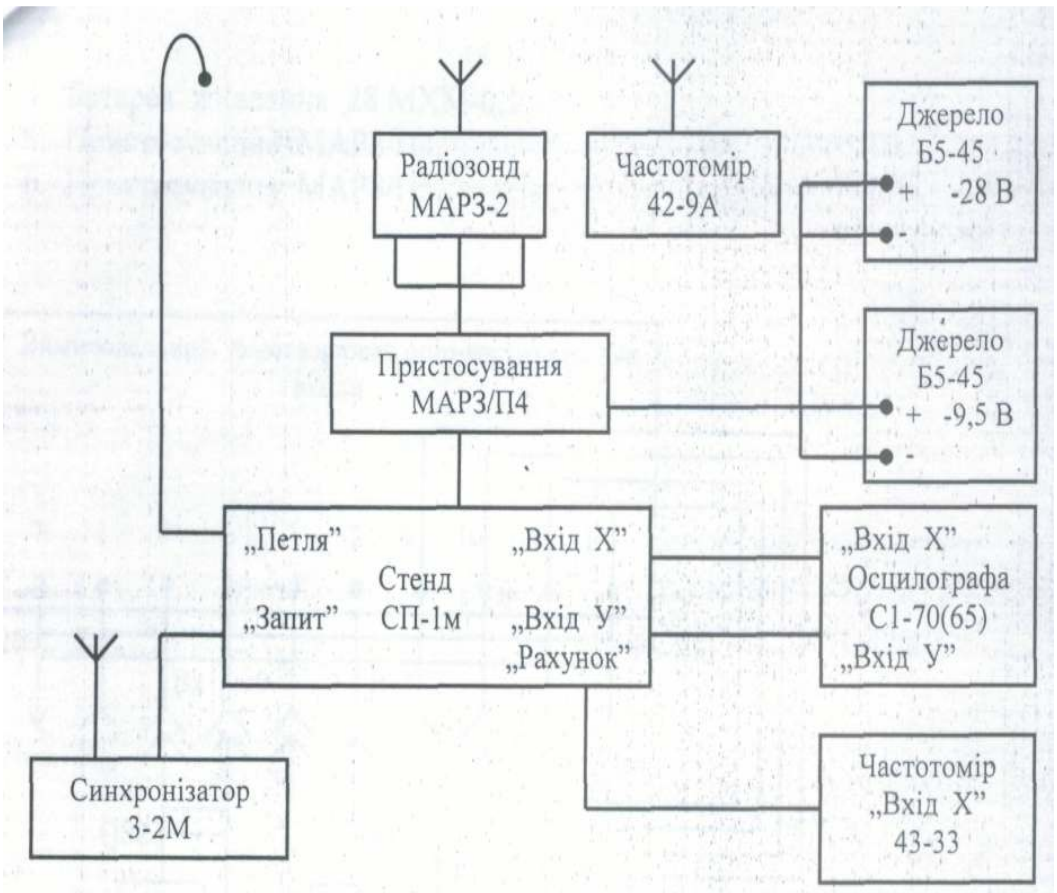

Рис.5.4 Функціональна схема перевірки радіозондів МАРЗ-2.

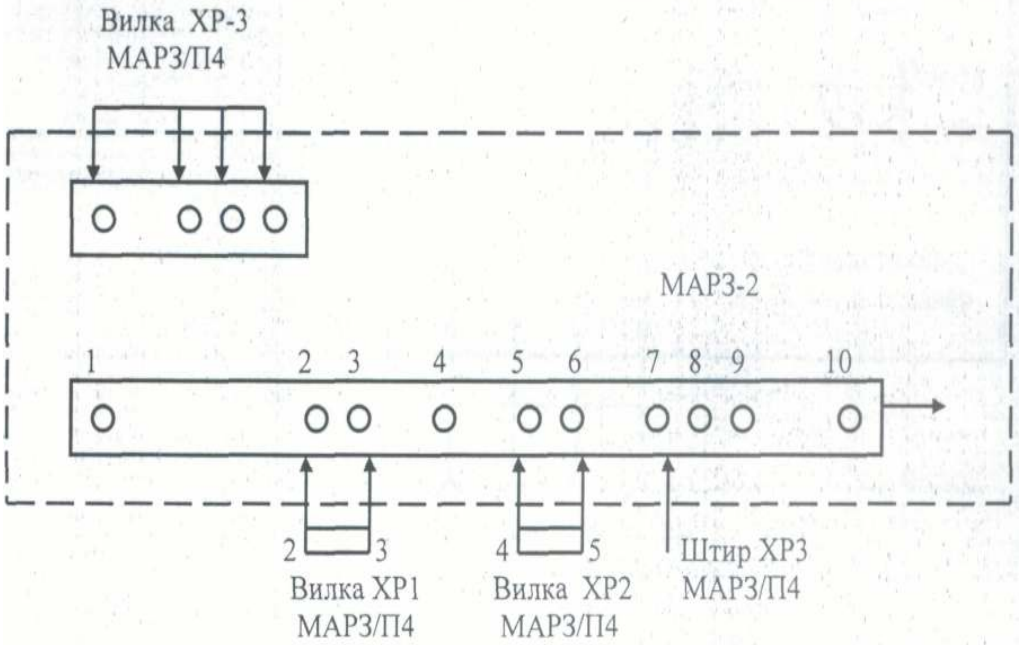

Рис.5.5 Схема підключення МАРЗ-2 до пристосування МАРЗ/П4.

Правила техніки безпеки та охорони праці, які необхідні при проведенні лабораторної роботи.

1. Підготовку радіозонда до вимірювання температури і вологості повітря необхідно проводити без вмикання джерел живлення.
2. В радіозонді є випромінення надвисокої частоти, тому час вимірювання температури і вологості повинне бути мінімальним (5-10 хвилин).
3. Вмикати живлення КВПАС тільки з дозволу викладача.
4. Закінчивши виконання лабораторної роботи, вимкнути живильну напругу установки і здати робоче місце завлабораторією.

ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

1. Залишати увімкненим генератор НВЧ радіозонда на час, більше ніж 10 хвилин.
2. Вмикати комплект вимірювальних приладів в мережу до тих пір, доки не буде повністю зібрана схема лабораторної установки.
3. Ремонтувати, розбирати і перевіряти схеми під час увімкненої напруги живлення.
4. Використовувати нестандартне обладнання під час проведення лабораторної роботи.
5. Без дозволу викладача робити вимірювання.
6. Для уникнення поразки високою напругою при роботі з пристроєм МАРЗ/П4, тумблери на стенді СП-Ім „195 В”, „6,1 В” і „2,4 В” вмикати ***категорично заборонено.*** Вмикати тільки тумблер „Мережа”.

Порядок проведення лабораторної роботи.

1. Перед виконанням лабораторної роботи проводиться усне опитування теоретичного матеріалу і визначення мети лабораторної роботи. Результати опитування заносяться до протоколу за підписом викладача.
2. Проводиться викладачем інструктаж з техніки безпеки. Після чого студент розписується в журналі з „Техніки безпеки”.
3. Якщо студент отримав незадовільну оцінку з теоретичного матеріалу, то до виконання лабораторної роботи він не допускається.
4. Кожний студент проводить вимірювання температури і вологості повітря за допомогою радіозонда повинна бути 65 ± 15мкс для МАРЗ-2-1 і 240 ±40-для МАРЗ-2.
6. Установити перемикач на стенді СП-1 і пристрою МАРЗ/П4 в положення „Модуляція”. За допомогою частотоміра 43-33 виміряти частоту проходження радіоімпульсів, яка повинна бути 800 ± 25 кГц.
7. Установити перемикач на стенді СП-1М в положення „Рахунок”. Перемикач на МАРЗ/П4 в положення „$Д_t$“ Тумблер на

МАРЗ/П4 установити в положення „Пуск” і дочекатися появи опорної частоти. При її відсутності протягом 90 с радіозонд бракується.

8. При появі опорної частоти тумблер „Пуск-стоп” установити в положення „Стоп” і відрахувати опорну частоту F_{on}. Порівняти її значення зі значенням F_{on}, яке наведене у сертифікаті радіозонда (градуйований графік - СХП). Радіозонд бракується, якщо відраховане значення виходить за межі 2080 ± 80 Гц для радіозонда МАРЗ-2-1 і 1080±40Гц для радіозонда МАРЗ-2-2.

9. Тумблер „Пуск-Стоп” установити в положення „Пуск” до пропадання опорної частоти на табло частотоміра. За час не більше 10 с після пропадання останньої тумблер „Пуск-Стоп” установити в положення „Стоп” і відрахувати частоту температури F_t по частотоміру. Якщо частота F_t за час 30с не з'явилася , радіозонд бракується.

10. Поставити перемикач пристосування МАРЗ/П4 в положення „$Д_u$“, тумблер „Пуск-Стоп” установити в положення „Пуск”. Через 30 с по табло частотоміра відрахувати частоту вологості F_u. Якщо частота відсутня, радіозонд бракується.

11. По градуйованому сертифікату радіозонда по відповідній частоті F_t і F_u визначають значення температури і вологості повітря.

Перелік використаної літератури

1. Павлов Н.Ф. Аэрология, радиометеорология й техника безопасности. — Л.: Гидрометеоиздат, 1980. - 430 с.

2. Наставление Гидрометеорологическим станциям й постам.- Л.: Гидрометеоиздат, вып. IV, ч. IIIа, 1976. - 256 с.

3. Ермаков В.Й., Кузенков А.Ф., Юрманов В.А. Системы зондирования атмосфери. - Л.:Гидрометеоиздат, 1977.

Лабораторна робота № 6

“Вимірювання кількості та інтенсивності опадів”

Мета роботи: дослідження радіолокаційного методу вимірювання інтенсивності і кількості опадів, які випали.

Завдання на підготовку до лабораторної роботи. Під час виконання лабораторної роботи студент повинен

знати:

- радіолокаційну відоиваність хмар і опадів;
- функціональний зв'язок між радіолокаційною відбиваністю та інтенсивністю випадаючих опадів;
- функцію розподілу частинок за розмірами;

- рівняння радіолокації хмар і опадів;

вміти:

- підготувати радіолокаційну станцію для вимірювання інтенсивності опадів;
- вимірювати інтенсивність опадів за значеннями радіолокаційної відбиванності;
- проводити розрахунок інтенсивності опадів за значеннями відбиваності опадів.

Теоретичні положення. Рівняння дальності радіолокаційного спостереження метеорологічних цілей зв'язує між собою технічні характеристики РЛС, параметри хмар і опадів, які визначають їх відбивальні властивості, і дальність виявлення. Для отримання рівняння дальності радіолокаційного спостереження хмар і опадів можна скористатися рівнянням дальності радіолокаційного спостереження точкової цілі і підставити в нього вираз для ЕПР метеорологічних об'єктів. Якщо вважати, що коефіцієнт направленої дії антени в межах основного пелюстка діаграми направленості сталий і дорівнює значенню в максимумі діаграми, то в результаті підстановки співвідношення

$$\sigma = \frac{\pi^6 R^2 \theta^2 c\tau}{8\lambda^4} N d^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right| \qquad (6.1)$$

у вираз

$$P_{вд} = \frac{P_{вп} \sigma D A}{(4\pi)^2 R^4} F_E^2(\psi). \qquad (6.2)$$

Одержимо

$$P_{вд} = \frac{\pi^3 P_{вп} D^2 \theta^2 c\tau K K_3}{512 \lambda^2 R^2} N d^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2, \qquad (6.3)$$

де: *Рвп*- імпульсна випромінена потужність, *D* -коефіцієнт направленої дії антени, θ -ширина діаграми направленості, *c*-швидкість розповсюдження радіохвиль, τ - тривалість випромінених імпульсів, *К* - коефіцієнт затухання, коефіцієнт заповнення, *Кз* -довжина хвилі, *R* - відстань до відбивальної ділянки цілі, *N* - кількість частинок в одиниці об'єму, *d* - діаметр відбивальних частинок, *m* - комплексний коефіцієнт заломлення речовини частинок.

В метеорологічних РЛС, як правило, застосовуються антени з вісесиметричними діаграмами направленості і відбивачами дзеркального типу. Для таких антен коефіцієнт направленої дії *D*, ширина діаграми направленості *в*, реальна площина розкриву антени S_A та її ефективна

площина A зв'язані між собою співвідношеннями

$$D = \frac{16}{\theta^2},\ D = \frac{4\pi A}{\lambda^2},\ A = K' \cdot S$$

$$\theta^0 = (60 \ldots 80)\frac{\lambda}{d_3} \tag{6.4}$$

K' - коефіцієнт використання антени, d_3 - діаметр дзеркала.

Виражаючи одні параметри антени через інші, можна отримати різні форми запису рівняння дальності радіолокаційного спостереження. На практиці як основний параметр антени зручно використовувати її реальну площину. З врахуванням цього зауваження і співвідношення (6.4) вираз (6.3) може бути представлений у вигляді

$$P_{вд} = \frac{\pi^4 P_{вп} c\tau S_A K' K K_3}{8\lambda^4 R^2} N d^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2, \tag{6.5}$$

З порівняння виразу (6.5) з рівнянням дальності радіолокаційного спостереження точкової цілі (6.2) випливає, що, на відміну від спостереження точкової цілі, коли максимальна дальність виявлення пропорційна корню четвертого ступеня з випроміненої потужності та інших енергетичних характеристик, при радіолокаційному спостереженні метеоцілей максимальна дальність пропорційна квадратному корню з вказаних параметрів. Це обумовлено залежністю ЕПР метеорологічних цілей від відстані.

Аналіз співвідношення (6.5) показує, що дальність виявлення хмар і опадів визначається як технічними характеристиками РЛС, так і відбивальними властивостями метеорологічних цілей. Тому при практичному використанні співвідношення (6.5) його зручно представити у вигляді

$$P_{вд} = \frac{\Pi}{R^2} Z, \tag{6.6}$$

де Π і Z - потенціал РЛС і відбиваність метеоцілі, які визначаютьсяспіввідношеннями

$$\Pi = \frac{\pi^4 P_{вп} c\tau A}{8\lambda^4}, \tag{6.7}$$

$$Z = N d^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 K K_3 \tag{6.8}$$

Потенціал РЛС визначається тільки її технічними характеристиками і може бути розрахований заздалегідь. Якщо не враховувати вплив ослаблення радіохвиль при розповсюдженні *(К* = I) і прийняти $K_3 = 1$, то із співвідношення (6.6) випливає, що по вимірам потужності відбитих сигналів можна отримати інформацію про відбивальні властивості метеорологічних цілей. Саме на використанні цього співвідношення і основані кількісні вимірювання при використанні імпульсних РЛС. Радіолокаційна відбиваність метеорологічних цілей, які складаються з однакових сферичних частинок, у відповідності із співвідношенням (6.8) буде визначатися виразом

$$Z = Nd^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 .$$

Радіолокаційна відбиваність метеорологічних цілей із законом розподілу крапель за розмірами *N(d)* буде виражатися формулою (без врахування останнього множника)

$$Z = \int_0^\infty N(d) d^6 dd.$$

Радіолокаційна відбиваність хмар і опадів пов'язана з основними їхніми характеристиками - водністю хмар та інтенсивністю опадів. Це обумовлено тим, що як інтенсивність дощу, так і водність хмар залежать від розмірів частинок і закону їх розподілу за розмірами. Ці залежності можна представити такими співвідношеннями:

$$I = \frac{\pi\rho}{6} \int_0^\infty N(d) d^3 v(d) dd, \qquad (6.9)$$

$$W = \frac{\pi\rho}{6} \int_0^\infty N(d) d^3 dd, \qquad (6.10)$$

де ρ - густина води (льоду), $v(d)$ - закон розподілу швидкостей падіння крапель.

Через те, що закон розподілу частинок за розмірами в хмарах і опадах носить виражений регіональний характер, то зв'язок між радіолокаційною відбиваністю дощу і його інтенсивністю і між радіолокаційною відбиваністю хмар та їх водністю для різних районів буде різною. Так, для помірних широт задовільно узгоджуються з експериментальними даними такі залежності:

- для дощу

$$Z = 200 I_{д}^{1.6};$$

- для снігу

$$Z = 2000 I_{сн}^{2};$$

- для хмар з $d \le 29$ мкм і $W \le 1.3$ г/м^3

$$Z = 0,048 W^2,$$

де $I_д$ - інтенсивність дощу, мм/год; $I_{сн}$ - інтенсивність снігопаду, перерахована на воду, мм/год; W - водність хмар, г/м^3.

Вказані залежності можуть бути покладені в основу радіолокаційного вимірювання водності хмар та інтенсивності опадів. При практичній реалізації такого метода вимірювань необхідно, щоб в процесі спостережень значення коефіцієнта заповнення дорівнювало б одиниці. Ця умова досягається вибором вузьких діаграм направленості антен. Правда, зменшення ширини діаграми направленості внаслідок зменшення дозволяючого об'єму метеоцілі приводить до зменшення ЕПР. Це зменшення може бути скомпенсоване вибором відповідної довжини хвилі РЛС, яка забезпечує як можна менше ослаблення сигналів на трасі розповсюдження.

Запитання для самоперевірки:

1. Дайте визначення метеорологічного потенціалу МРЛС.
2. Охарактеризуйте рівняння радіолокації хмар і опадів.
3. Дайте характеристику відбиваності опадів.
4. Охарактеризуйте емпіричний зв'язок між відбиваністю та інтенсивністю опадів.
5. Як готується МРЛ до вимірювання інтенсивності опадів?
6. Як вимірюється радіолокаційна відбиваність опадів?
7. Під яким вертикальним кутом антени МРЛС вимірюється радіолокаційна відбиваність?
8. В яких осередках простору вимірюється радіолокаційна відбиваність?
9. Як визначається висота нульової ізотерми?
10. Яка послідовність включення МРЛ-2?

Опис приладів, устаткування та інструментів, які використовуються при виконанні лабораторної роботи.

1. Метеорологічна радіолокаційна станція МРЛ-2 (рис.6.1).

Правила техніки безпеки та охорони праці, які необхідні при проведенні лабораторної роботи.

Увага! В МРЛ є висока напруга 22 000 В.

1. Включення МРЛ-2 робити тільки з дозволу викладача.
2. Не знаходитися під антеною МРЛ під час роботи передавача і випроміненні електромагнітної хвилі антеною МРЛ.
3. Категорично забороняється заходити до приміщення, де установлений передавач, під час роботи МРЛ.
4. Строго дотримуватися порядку включення і виключення МРЛ.
5. Після закінчення роботи на МРЛ вимкнути всі системи і джерела живлення. Робоче місце здати завідуючому лабораторії.

ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

1. В МРЛ використовується напруга високої частоти і великої потужності, небезпечна для життя і здоров'я, тому категорично забороняється проводити ремонт вузлів станції.
2. Вмикати МРЛ без наявності заземлення і відкритих дверцятах передавача.
3. Проводити вимірювання напруги і струмів передавача, індикаторів, блоків живлення.
4. Використовувати для вимірювання нестандартні прилади.
5. Працювати на МРЛ без діелектричних килимків.
6. Проводити вимірювання на МРЛ без працюючої системи захисту, яка забезпечує безпеку шляхом автоматичного вимкнення електрообладнання.

Методика виконання лабораторної роботи.

Підготовити МРЛ-2 до вимірювання інтенсивності опадів, для чого:

1. Перевірити правильність вихідної установки органів управління, тумблерів включення і автоматів станції.
2. Перемикач режиму роботи (передня панель блоку БВ-029) установити в положення „Робота”. При цьому спалахує сигнальна лампочка „Робота” на панелі управління і контроля РЛС (ПІ-001).
3. Увімкнути автомат „Загальний 50 Гц” (щит ЩЛ-009) і перевірити наявність напруги 380 В (50 Гц) у всіх положеннях перемикача фаз за вольтметром „Мережа 50 Гц 380В”.
4. Увімкнути перетворювач натисненням кнопки „Пуск” (щит ЩЛ-009). Після набору двигуном номінальної кількості обертів над пусковою кнопкою спалахне сигнальна лампочка.

Примітка. *В агрегатному приміщенні автомати „Загальний-мережа живлення” і „Генератор” на щиту дистанційного запуску ПСЧ-15 (ЩЛ-011) повинні бути в положенні „Увімкнено”.*

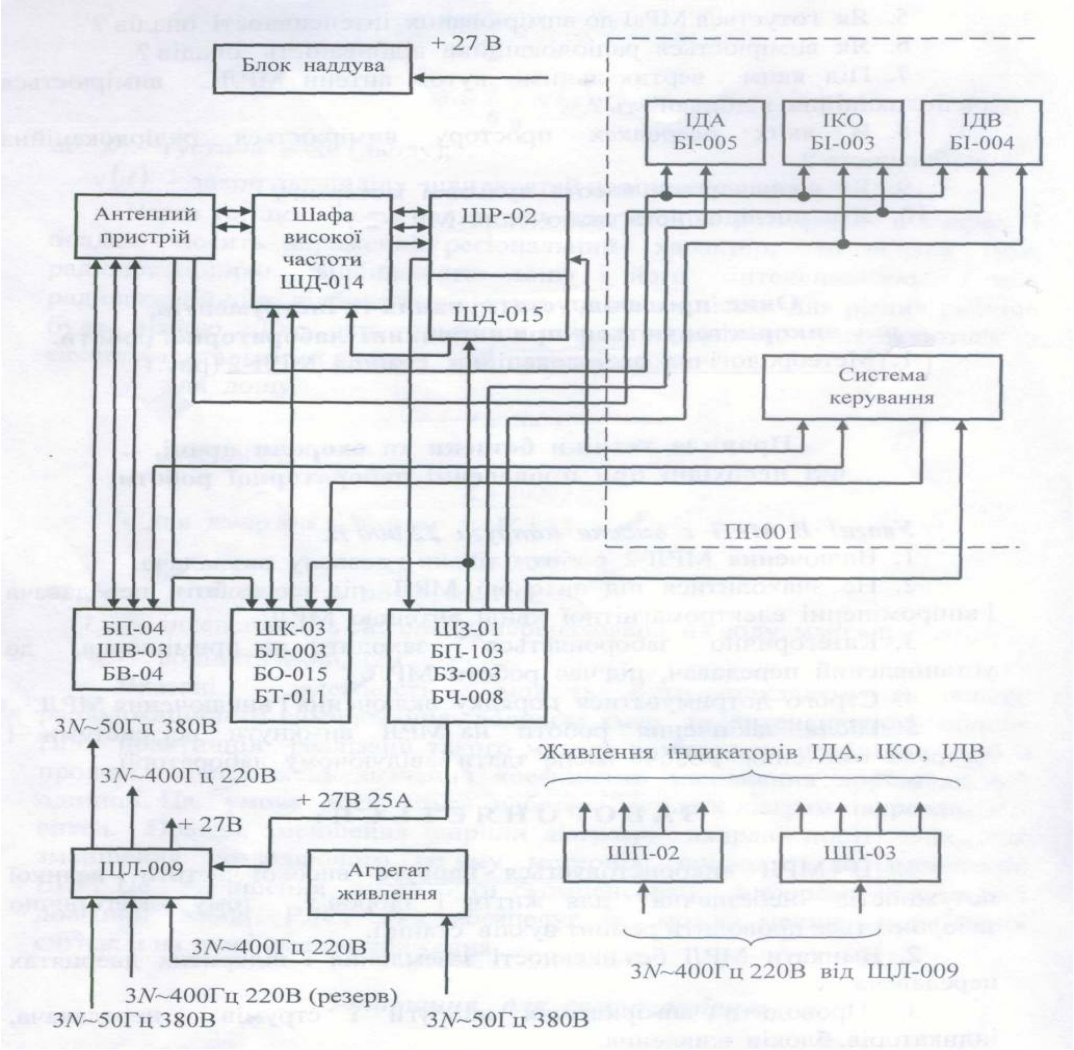

Рис.6.1 - Структурна схема МРЛ-2

5. Перевірити наявність вихідної напруги перетворювача 220 В (400 Гц) за вольтметром „Напруга генератора” (щит ЩЛ-009) у всіх положеннях перемикача фаз.

Примітка. *1. У випадку необхідності коректування вихідної напруги 220 В 400 Гц перетворювача ПСЧ-15 робиться реостатом «Установка напруги» на перетворювачі або реостатом „Установка напруги” на блоці дистанційного керування генератора ПСЧ-15 в залежності від роду регулювання напруги (автоматична або ручна) по вольтметру «Напруга генератора» на щиті ЩЛ-009.*

2. У випадку несправності основного перетворювача типу ПСЧ-15 живлення станції здійснюється від резервного перетворювача типу ВПЛ-ЗОМД. Запуск ВПЛ-ЗОМД здійснюється з пульту дистанційного керування (ПДК), установленного в апаратному приміщенні. Для переходу на резервне живлення тумблер „Основний-резервний” (щит ЩЛ-009) переводиться в положення „Резервний”.

6. Увімкнути автомат „Загальний 400 Гц” (щит ЩЛ-009) і

перевірити наявність напруги по вольтметру „Мережа 220 В 400 Гц” у всіх положеннях перемикача фаз. Перевірити ізоляцію мережі 220 В (400 Гц) по рівномірному горінню ламп „Контроль ізоляції”.

7. Увімкнути автомат „ШЗ-01” (щит ЩЛ-009). При подачі напруги 220 В (400 Гц) на шафу запуску на щиті ЩЛ-009 повинна з'явитися напруга +27 В від блоку живлення БЖ-103 (знаходиться в шафі ШЗ-01).

8. Увімкнути автомати „Повітреохолодження”. При цьому вмикається охолодження повітря станції. Одночасно вмикається контактор, який подає напругу +27 В в ланцюзі керування апаратурою. Врезультаті появи напруги +27 В спалахують сигнальні лампочки відключених автоматів.

9. Увімкнути послідовно всі автомати шафів (ЩЛ-009). Силова напруга подана на всі блоки апаратури МРЛ-2.

10. Увімкнути індикаторний пристрій БІ-003, БІ-004, БІ-005, для чого перемикачі „Мережа”, які знаходяться на передніх панелях блоків живлення БЖ-11, БЖ-114, БЖ-110, установити в положення „Вкл.”. Перевірити напругу відповідними контрольними приладами.

Примітка, *В процесі експлуатації МРЛ-2 ці перемикачі молена весь час залишати в положенні „Вкл.”.*

11. Увімкнути МРЛ-2 натисненням кнопки „Вкл.”, яка знаходиться на панелі керування і контролю МРЛ(ПІ-ООІ). При цьому:

- подається команда на блоки керування БВ-029 (ШД-014) і БВ-030 (ІІІД-015);
- на панелі керування і контролю МРЛ спалахує лампочка „Розж.”, що свідчить про подачу напруги розжарення на блоки станції;
- на панелі керування і контролю МРЛ через 3 хв спалахує лампочка „Анод”, що свідчить про включення першої ступені високої напруги передавача;
- спалахує сигнальна лампочка на блоці БЗ-003, на індикаторах з'являються лінії розгортки;
- регулюються фокусування і яскравість ліній розгорток на екранах індикаторів.

12. Увімкнути вимірювач коефіцієнта шума БТ-001 натисненням кнопки „Вкл.”, яка знаходиться на передній панелі блоку живлення БЖ-169 (ШК-03). При цьому спалахує лампочка підсвітлення шкали БТ-011.

13.Виміряти коефіцієнт шума приймача *($F_ш=10lgN$)* і, якщо чутливість $P_Вд.min$, обчислена для даного коефіцієнту шума за формулою *-142+10lgN*, не відрізняється більше ніж на 1± 2 дБ) від чутливості, виміряної за допомогою ГК4-19, то в журнал спостережень записати значення $P_{вд\ \min}$ по ГК4-19. Після проведення вимірювань $F_ш$

прилад ВКШ необхідно вимкнути натисненням кнопки, яка розташована на передній панелі блока живлення БЖ-169 „Викл.”.

14. Підняти високу напругу передавача за допомогою кнопки „Високе більше”. Напругу збільшувати до тих пір, доки струм магнетрону не досягне номінального значення (15-17 мА). Кнопки „Висока напруга” і прилади, які контролюють роботу передавача („Струм магнетрона”, „Висока напруга” і „Потужність”), розташовані на панелі керування і контролю РЛС.

15. Перевірити стабільність роботи приймального пристрою за показаннями вбудованих приладів „Проміжна частота ПЧ”, „Підсилення” і „Чутливість”, які знаходяться на панелі керування і контролю МРЛ-2. Робота приймального пристрою вважається стабільною, якщо стрілки приладів знаходяться в червоному секторі при положенні перемикача „РРЧ-АПЧ” в положенні „АПЧ”, „РРЧ-АСП” і в положенні „АСП”, а в положенні „РРП” і „РРЧ” їх можна поставити в червоний сектор відповідними органами регулювання. При натисненні кнопки „Контроль калібрування ізолуни” прилад „Чутливість” контролює напругу +200 В, яка подається на лінійку ізолуни і катодних повторювачів. Перевірити показання контролю корекції натисненням кнопки „Контр. Корекції”. Всі перемикачі знаходяться на панелі „Керування і контроль МРЛ”.

16. Зняти показання потужності передавача, записати в журнал спостережень.

17. За виміряними значеннями коефіцієнта шуму і потужності передавача обчислити по таблиці 1. потенціал станції *Пм* і переконатися, що він більше 47 дБ.

18. Увімкнути привід антени. Увімкнення здійснюється з панелі керування приводом антени при наявності на панелі підсвітлення шкал. Вибір режиму роботи антени (круговий огляд, вертикальне сканування та ін.) робиться за допомогою клавішного перемикача.

19. Перевірити правильність настроювання приймального пристрою. Антена установлюється в таке положення, при якому на екрані БІ-005 спостерігаються відбиті сигнали. Перемикач „РРЧ-АПЧ” на панелі керування і контролю пульта метеоролога ПІ-001 ставиться в положення „РРЧ”. Перемикачем „Частота Б-М” на ПІ-001 установлюється максимальна амплітуда вихідного сигналу на екрані індикатора. При цьому показання приладу „ПЧ” на пульті ПІ-001 повинне бути максимальним. Потім перемикач „РРЧ-АПЧ” ставиться в положення „АПЧ”, при цьому амплітуда сигналу на екрані БІ-005 і показання приладу „ПЧ” не повинні змінюватися. Випробування проводяться на обох режимах роботи передавача: „1 мкс” і „2 мкс”, надалі робота проводиться тільки при положенні тумблера „2 мкс”.

Примітка. *У випадку відсутності відбиття від місцевих предметів або хмарності перевірку даного пункту потрібно проводити по приладу „Контроль ПЧ”. Різниці показань по приладу „Контроль ПЧ” в режимах „АПЧ” і „РРЧ” не повинно бути.*

20. Перевірити готовність індикаторів до роботи. Для цього необхідно:

- перевірити співпадання початку розгортки з центром;
- перевірити тривалість розгортки (крайня мітка масштабу повинна йти по краю видимої частини екрану індикатора);
- перевірити концентричність масштабних міток дальності (мітки повинні описувати правильні концентричні окружності). Недопустима робота з індикатором, мітки яких виписують еліпси, а тривалість розгортки менше радіуса екрану.

21. Підготовити індикатори до вимірювань. Перед початком спостережень і зніманні масштабів необхідно виставити правильну яскравість розгортки. Для цього необхідно:

- відключити корекцію;
- вивести вліво до упору ручку „амплітуда відео”;
- виставити ручкою „яскравість” яскравість променю розгортки так, щоб вона була ледве помітна при логарифмічному режимі роботи приймача;
- установити ручкою „амплітуда відео” доріжку шумів, яка повинна бути ледве помітною;
- увімкнути корекцію.

22. Вимкнути станцію в такому порядку:

а) вимкнути фотореєстраційну апаратуру, для чого на командних приладах ФАРМ-2А ручки включення інтервалів зйомки поставити в положення „Вимк.”;

б) тумблер В „РРЧ-АПЧ” на панелі керування і контролю станції поставити в положення „РРЧ”;

в) знизити високу напругу до мінімального рівня натисненням кнопки „Високе менше” на панелі керування і контролю станції;

г) вимкнути пристрій ізо-луни (ПІЛ), для чого натиснути на клавішу „Вимк.” перемикача, розташованого на панелі керування ПІЛ пульта метеоролога ПІ-001;

д) відключити електропривід антени, для чого натиснути клавіші „Вимк.” з групи „Режим” і „Вимк.” з групи „Програма”;

ж) відключити блоки індикаторів БІ-005, БІ-004, БІ-003, для чого перемикачі „Мережа вимк.”, які знаходяться на передніх панелях блоків БЖ-110, БЖ-112 і БЖ-114, установити в положення „Вимк.”.

При щоденній експлуатації вимкнення живлення станції можна проводити так:

- відключити автомат В15 „Загальний 400 Гц” на ЩЛ-009;

- відключити (зупинити) кнопкою „Вимк.” на ЩЛ-009 перетворювач ПСЧ-15;

- відключити мережу 50 Гц на ЩЛ-009 автоматом В1 „Загальний 50 Гц”. Всі інші автомати залишають увімкненими.

23. Отримати якісну картину горизонтального розподілу радіолуни та вимірювання максимальних кутів підвищення антени *εi,*-в кожному осередку простору 30х30 км або 15х15 км. В Гідрометцентрі отримати відомості про висоту нульової ізотерми.

24. На екран ІКО установити шаблон *з* координатною сіткою без орнаменту.

25. Установити масштаб розгортки 300 км.

26. Відключити корекцію на відстань.

27. Увімкнути режим обертання антени.

28. Установити кути підвищення антени від 0-3°, при яких на ІКО спостерігається найбільша площа радіолуни.

29.Задати такий кут підвищення антени, при якому по шкалі керування антенною на ІКО, починаючи з 30 км, пропадає радіолуна.

30.При послідовному зменшенні кута підвищення антени на 1° в кожному осередку шаблона, де з'являється відбитий сигнад , фіксується кут *εi;* (рис.6.2).

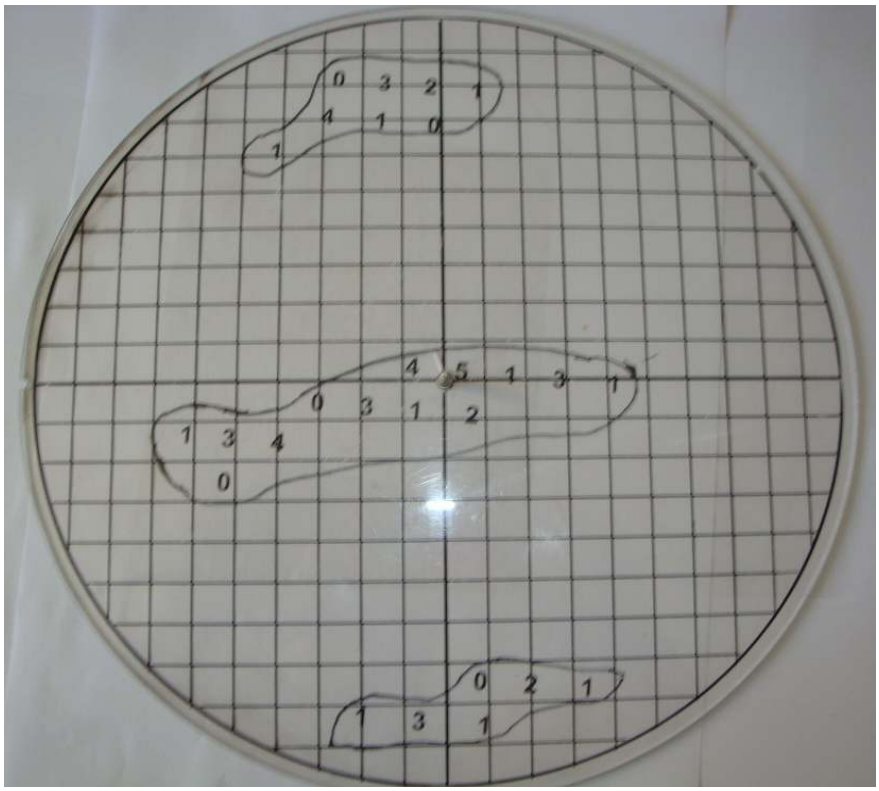

Рис.6.2 - Приклад запису кутів підвищення антени ε на прозорому табло із координатною сіткою

31. По табл.6.1 визначити максимальні висоти. Інформацію перенести на бланк форми № 1.

Таблиця 6.1 - Залежність висоти радіолуни Н від відстані до центра осередку r_i і кута підвищення антени ε

ε (^{0})	r_i, км											
	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						
10.0	5	8	11	13	16							
11.0	6	9	12	14	18							
12.0	6	9	13	15								
13.0	7	10	14	16								
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										

32. Виміряти відбиваність по індикатору дальність-висота (ІДВ) для максимального азимуту, для чого увімкнути вертикальне сканування антени від -1 до +105° і з використанням шаблона (рис.6.4)

Для ІДВ виміряти відбиваність в кожному осередку контура ізолуни нижче нульової ізотерми. Інформацію перенести на бланк форми № 2 (рис.6.5).

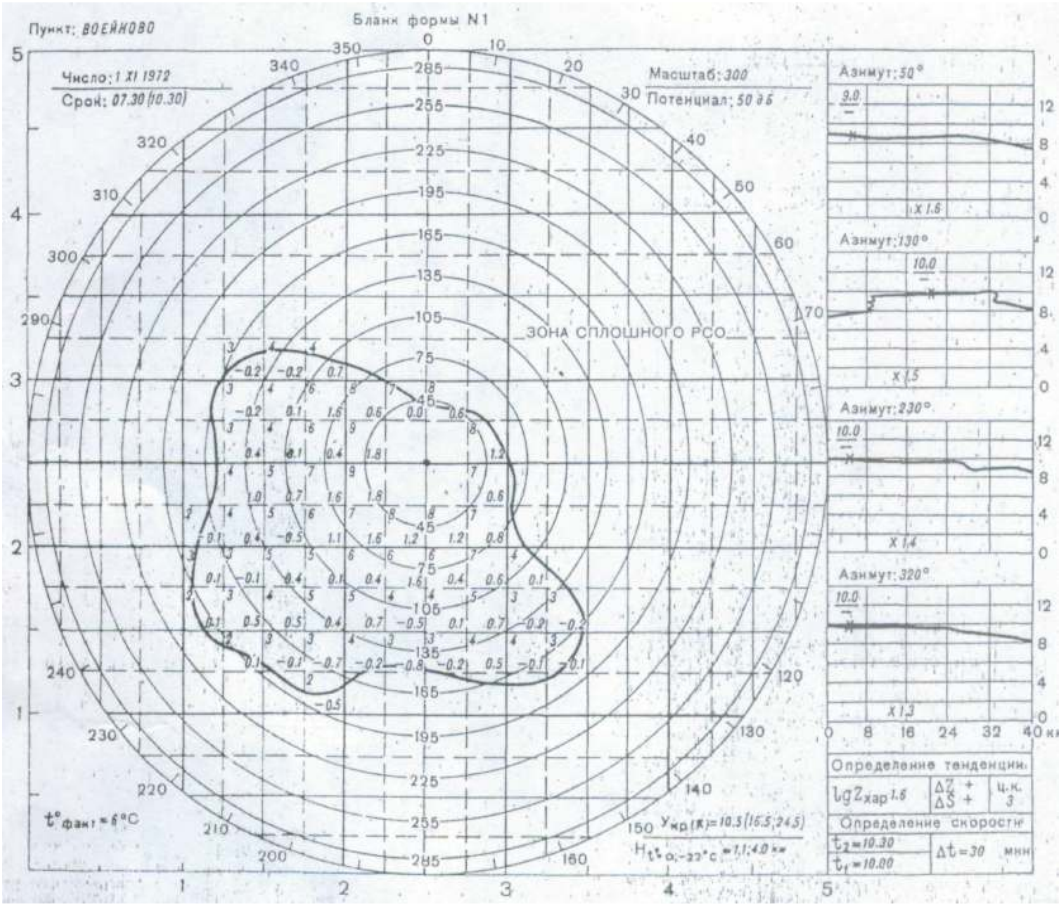

Рис.6.3 - Зразок бланка форми № 1

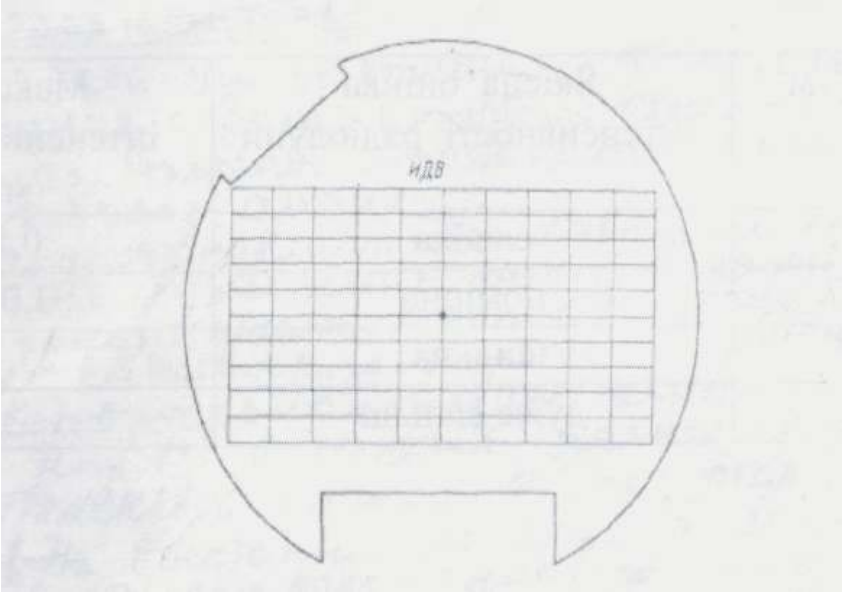

Рис.6.4 - Шаблон для знімання значень $P_{пр}/P0$ на ІДВ

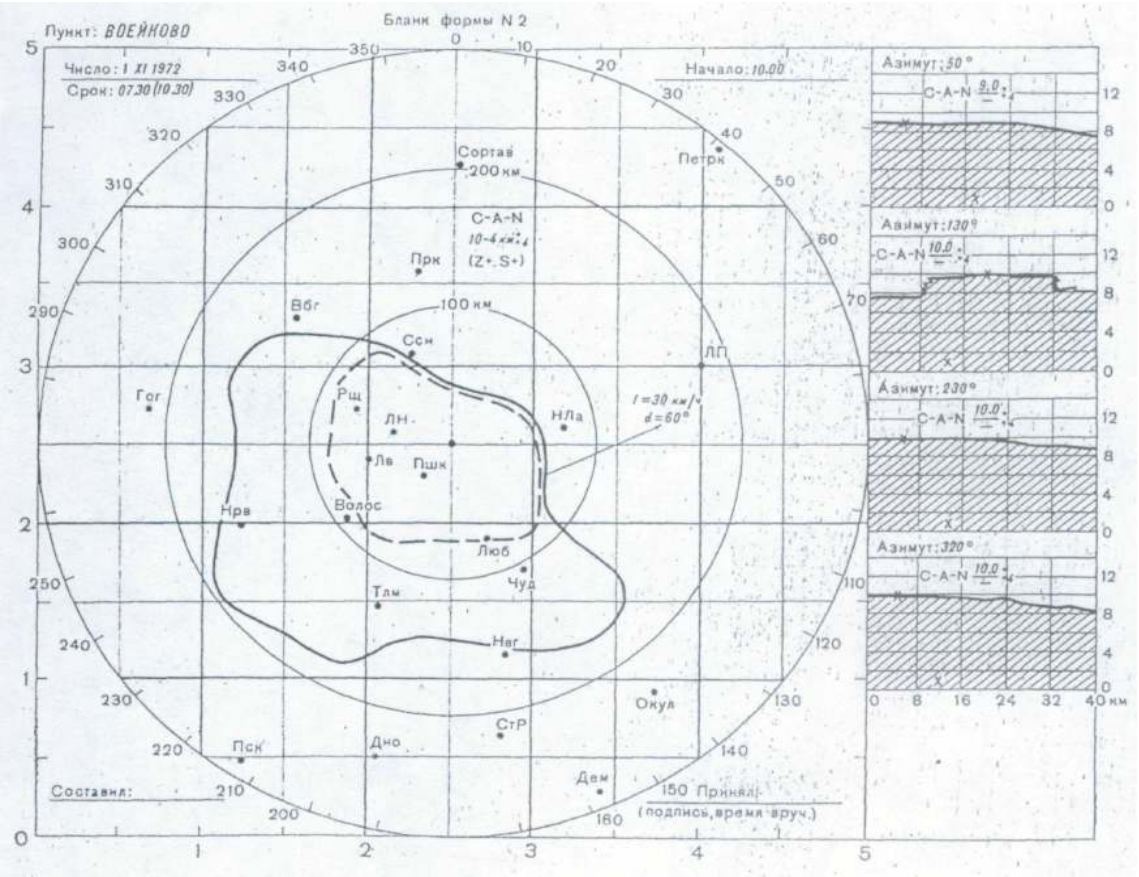

Рис.6.5 - Зразок бланк форми № 2

33. Визначити максимальну інтенсивність рідких опадів по радіолокаційній відбиваності з використанням табл.6.2.

Таблиця 6.2 - Оцінка максимальної інтенсивності рідких опадів по lg*Z*

$lgZ, мм^6/м^3$	Якісна оцінка інтенсивності радіолуни	максимальна інтенсивність опадів мм/год
0.1-1.1	слабка	0.5-2.9
1.2-2.7	помірна	3.0-25.0
2.8-3.9	сильна	25.1-140
>3.9	дуже сильна	>140

34. По радіолокаційним даним за допомогою співвідношення $Z=220\ I^{1.6}$ розрахувати інтенсивність опадів і оцінити її миттєве максимальне значення і порівняти з експериментальним результатом.

Порядок обробки результатів.

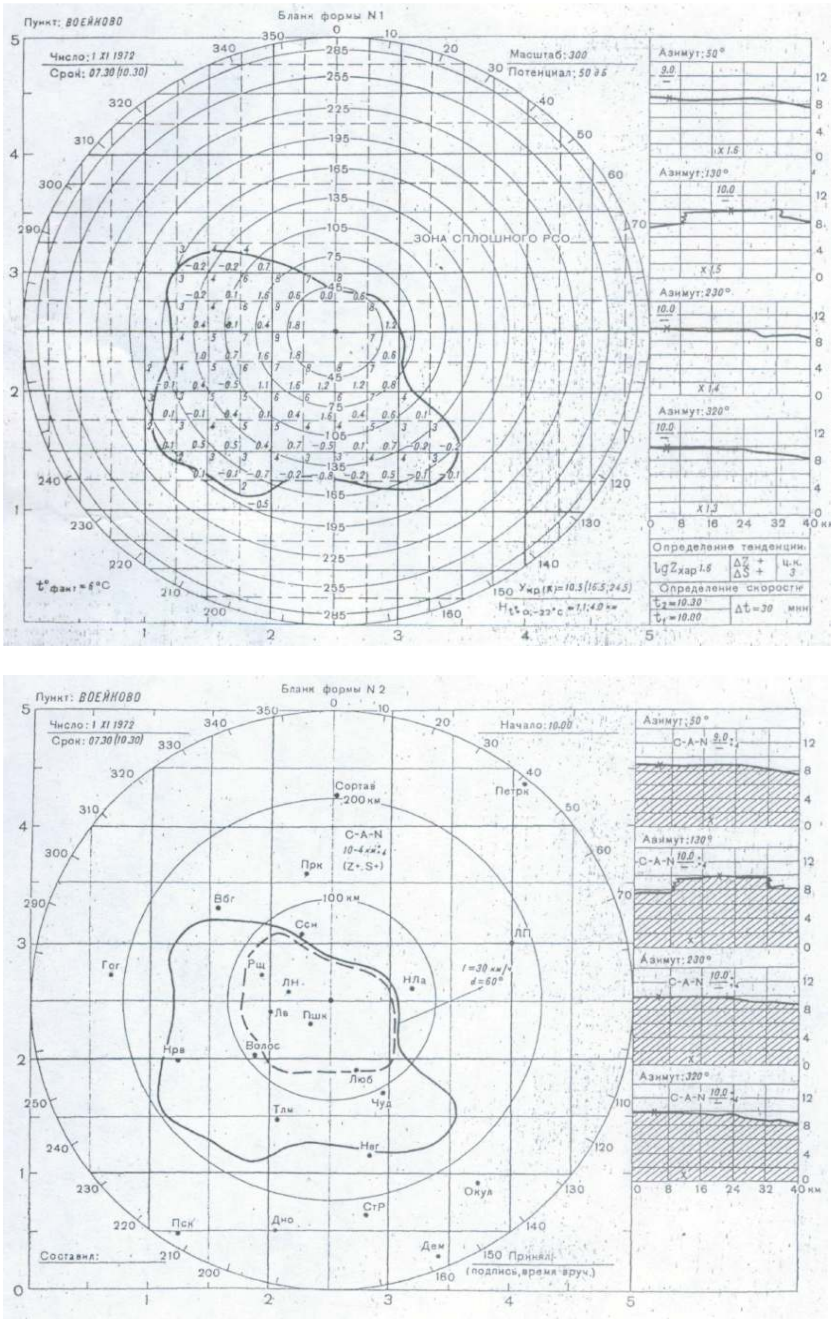

Рис.6.6 - Зразок заповнення бланків форми №1

1. Зарисувати з шаблону ІКО первинний контур радіолуни хмар і опадів в масштабі 150 км або 300 км на бланку форми № 1 (рис.6.6).

2. По виміряним вертикальним кутам визначити висоту радіолуни в кожному осередку простору 30х30 км. або 15х15км в перенести на бланк форми №1.

3.Визначити значення радіолокаційної відбиваності в кожному осередку простору 30х30 км. або 15х15км в перенести на бланк форми №1.

4. В просторі від висоти нульової ізотерми до поверхні Землі визначити радіолокаційні відбиваності і перенести на бланк форми №2.

5.По значенням радіолокаційної відбиваності визначити миттєву максимальну інтенсивність опадів.

6. По виміряним вертикальним кутам визначити висоту радіолуни в кожному осередку простору 30х30 км. або 15х15км в перенести на бланк форми №1.

7.Визначити значення радіолокаційної відбиваності в кожному осередку простору 30х30 км. або 15х15км в перенести на бланк форми №1.

8. В просторі від висоти нульової ізотерми до поверхні Землі визначити радіолокаційні відбиваності і перенести на бланк форми №2.

9.По значенням радіолокаційної відбиваності визначити миттєву максимальну інтенсивність опадів.

Порядок оформлення звіту та його представлення і захист.

Результати проведеної лабораторної роботи оформлюються протоколом. Він повинен містити такі дані: *1*

1) тема лабораторної роботи;
2) мета лабораторної роботи;
3) короткі теоретичні відомості;
4) порядок проведення лабораторної роботи;
5) порядок обробки результатів досліджень;
6) висновки.

Перелік використаної літератури

1. Белов Н.П. Метеорологические радиолокационные станции.- Л.:Гидрометеоиздат, 1976. - 367 с.

2. Руководство по производству наблюдений й применению информации с радиолокаторов МРЛ-1 й МРЛ-2.- Л.:Гидрометеоиздат,1974.-334с.