

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Збірник методичних вказівок  
для виконання лабораторних робіт  
з дисципліни

**“МЕТОДИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ”**

Одеса – 2013

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Збірник методичних вказівок  
для виконання лабораторних робіт  
з дисципліни

**“МЕТОДИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ”**

для студентів 1 курсу гідрометеорологічного інституту

Затверджено  
на засіданні методичної комісії  
факультету КНМ  
протокол № 1 від 03 вересня 2013р.

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

Укладач: доцент кафедри АСМНС Лавриненко Ю.В. – Одеса: ОДЕКУ, 2013.- 94 с.

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

Укладач: доцент кафедри АСМНС Лавриненко Ю.В. – Одеса: ОДЕКУ, 2013.-94с.

*Підп. до друку*  
*Умовн. друк. арк..*

*Формат*  
*Тираж*

*Папір*  
*Зам. №*

*Надруковано з готового оригінал-макета*

---

Одеський державний екологічний університет  
85016, Одеса, Львівська, 15

## ЗМІСТ

Передмова.....	4
Лабораторна робота №1 “Вимірювання атмосферного тиску”.....	6
Лабораторна робота №2 “Вимірювання швидкості та напрямку вітру”.....	22
Лабораторна робота №3 “Методи та засоби вимірювання нижньої межі хмар”.....	30
Лабораторна робота №4 “Вимірювання метеорологічної дальності видимості”.....	36
Лабораторна робота №5 “Вимірювання температури і вологості повітря за допомогою радіозонда”.....	49
Лабораторна робота №6 “Визначення вологості повітря”.....	59
Лабораторна робота №7 “Вимірювання рівня радіації об'єктів. Вимірювання природного фону радіації”.....	67
Література.....	74
Додаток А.....	75
Додаток Б.....	89

## Передмова

Останнім часом проблема моніторингу навколишнього середовища є особливо актуальною. В наш час широко використовуються метеорологічні пристрої для контролю параметрів середовища, для їх грамотної експлуатації потребують спеціалістів. Фахівці подібного напрямку необхідні і у державних структурах, і в наукових установах, і в комерційних фірмах.

У дисципліні „Методи гідрометеорологічних вимірювань” вивчаються прилади призначені для вимірювання параметрів середовища. 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 – підготовка фахівців гідрометеорологів в галузі вимірювання параметрів 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 виконання лабораторних робіт дисципліни студенти повинні надбати:

### **Уміння:**

- отримувати стандартну гідрометеорологічну інформацію;
- отримувати загальні характеристики атмосфери;
- грамотно експлуатувати гідрометеорологічні прилади.

Лабораторний практикум включає в себе сім лабораторних робіт об’єднаних в три цикли:

- “Вимірювання атмосферного тиску”;
- “Вимірювання швидкості та напрямку вітру”;
- “Методи та засоби вимірювання нижньої межі хмар”;
- “Вимірювання метеорологічної дальності видимості”;
- “Вимірювання температури і вологості повітря за допомогою радіозонда”;
- “Визначення вологості повітря”;
- “Вимірювання рівня радіації об’єктів. Вимірювання природного фону радіації”.

Для виконання робіт підгрупа розбивається на бригади, які міняються робочими місцями в межах кожного циклу. Захист звітів по лабораторним роботам здійснюється по циклам. Студенти які не захистили звіти до здачі звіту не допускаються.

## Лабораторна робота № 1

### “Вимірювання атмосферного тиску”

**Мета роботи** – провести вимірювання атмосферного тиску барометрами різного типу: чашковим, станційним барометром з компенсованою шкалою та барометром-анероїдом, порівняти отримані результати.

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

**знати:**

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

**вміти:**

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

**Теоретичні положення [1,4,7].** 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 вище лежачих шарів і в свою чергу тисне на нижче лежачі. Тиск з висотою убиває; на висоті 5000 м він приблизно в два рази менше, ніж на рівні моря. Для порівняння результати систематичних вимірювань тиску на всіх метеорологічних станціях приводяться до тиску на рівні моря. Залежність атмосферного тиску від висоти виражена формулою Лапласа. Для приведення тиску до рівня моря на станціях користуються таблицями, обчисленими за спрощеною формулою

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



де  $p_0$  і  $p_z$  - відповідно тиск, обчислений на рівні моря і виміряний на висоті  $z$ ;  $\alpha$  - температурний коефіцієнт об'ємного розширення повітря;  $t = \frac{t_0 + t_z}{2}$ ;  $t_0$  і  $t_z$  - відповідно температура повітря, виміряна на станції і обчислена для рівня моря. Виходячи з середнього градієнта температури -  $0,6^\circ\text{C}$  на  $\text{м}^{-1}$  на  $100$  м висоти  $t_0 = t_z + 6 \cdot 10^{-3} z$ .

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 (ЗПС) 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:

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

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).

**Пристрій та принцип дії ртутного барометра.** 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.

Якщо скляну трубку довжиною приблизно  $90$  см, запаяну з одного кінця, заповнити ртуттю, потім, перекривши отвір, перекинути і заглибити незапаяним 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  $\rho$  - густина ртуті,  $g$  - прискорення вільного падіння. Таким чином, вимірюючи  $H$ , при відомих значеннях  $\rho$  і  $g$ , визначають атмосферний тиск  $p_a$ .

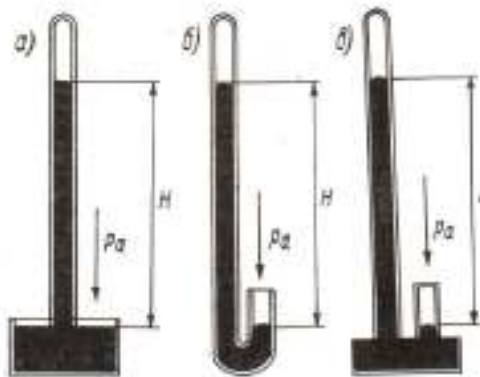


Рис. 1.1 – Типи ртутних барометрів: а–чашковий; б–сифонний; в–сифонно-чашковий

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 градується 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. В якості приклада розглянемо **барометр чашковий станційний з компенсованою шкалою**. Барометрична трубка 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. Чашка 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.

Вимірювання висоти ртутного стовпа проводиться за шкалою, яка нанесена біля краю наскрізного вертикального прорізу у верхній частині оправи, за допомогою ноніуса. 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.

Шкала захищена від забруднення скляною трубкою. Пластика ноніуса знаходиться в прорізі. Вона прикріплюється до трубки (кільця), що вставлене всередину оправы і може переміщуватися за допомогою кремальєри. Під час обертання рукоятки 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. 1.2, а і б).

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

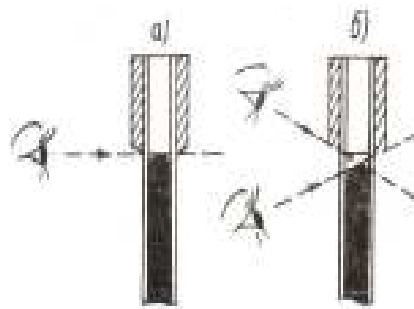


Рис. 1.2 – Положення ока при відліку по барометру: а – правильне; б – неправильне

Для визначення температури барометра (що необхідно для введення поправки в його показання) служить термометр, прикріплений біля прорізу в нижній частині барометра. Ціна поділки термометра  $1^{\circ}\text{C}$ .

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  $H_0$ . Зміна рівня ртуті в чашці відносно нуля шкали враховується компенсованою шкалою барометра. Побудова такої шкали ґрунтується на таких міркуваннях і розрахунках. При деякому тиску, коли рівень ртуті в чашці співпадає з нулем шкали, висота стовпа  $H_0 = n_0 x$ , де  $n_0$  - відповідний відлік за шкалою;  $x$  - ціна поділки шкали (рис.1.3). При деякій зміні тиску висота стовпа ртуті зміниться на  $\Delta H$  за рахунок зміни його рівня в трубці на  $(n - n_0)x$  і в чашці на  $y$ ;  $\Delta H = (n - n_0)x + y$  (відмітимо, що  $\Delta H$  і  $(n - n_0)x$  завжди одного знака, а  $y$  - зворотного ні).

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).

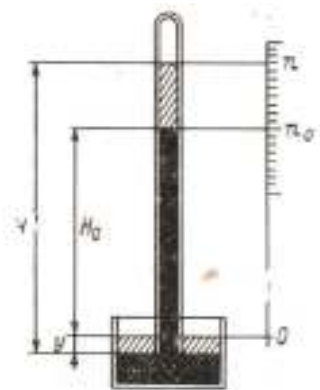


Рис. 1.3 – Схема барометра чашкового з компенсованою шкалою

Для станційних барометрів типа СР співвідношення площ перерізу чашки і трубки дорівнює 1:0,02. На основі цього  $y = 0,02 (n - n_o) x$ ;

$\Delta H = 1,02 (n - n_o) x$ , звідки  $x = \frac{\Delta H}{1,02 (n - n_o)}$  мм. Якщо шкала

градуйована в мм.рт.ст., то  $\frac{\Delta H}{n - n_o} = 1$  і  $x = 0,98$  мм; якщо в мбар, то

$$\frac{\Delta H}{n - n_o} = \frac{1}{1,33} \text{ і } x = 0,735 \text{ мм.}$$

На станції барометр поміщують в спеціальну шафу, яка прикріплюється до стінки. В шафі барометр підвішують за кільце до спеціального гаку з гайкою, який прикладений до барометра. Барометр не повинен зазнавати різких коливань температури, тому шафу з барометром не можна розміщувати поблизу обігрівальних систем та інших джерел тепла, віконних проїомів 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  $\rho$  - густини ртуті, що залежить від температури ртуті. Крім того, потрібно врахувати, що температура впливає також на розміри шкали барометра (нанесеної на металевій оправі барометра). Таким чином, прискорення вільного падіння

і температура є впливовими величинами на ртутний барометр. Зіставлення результатів вимірювання тиску ртутним барометром забезпечується приведенням їх до нормальних умов – при температурі  $0^{\circ}\text{C}$  і  $g_n = 980,665 \text{ см/с}^2$  (близьке до значення прискорення вільного падіння на широті  $45^{\circ}$ ). Нормування показань барометра здійснюють шляхом введення двох поправок: 1) на прискорення вільного падіння (постійна для даного місця) і 2) на відхилення температури від  $0^{\circ}\text{C}$  (визначається при кожному вимірюванні).

**Поправка на температуру** визначається на основі відомих залежностей від температури густини ртуті і довжини шкали барометра. Тиск, отриманий стовпом ртуті висотою  $H_t$  при температурі (ртуті)  $t$ , приводиться до рівного йому тиску стовпа ртуті висотою  $H_0$  і з температурою  $0^{\circ}\text{C}$ :  $H_t \rho_t g = H_0 \rho_0 g$ ,  $\rho_t$  і  $\rho_0$  - відповідно густина ртуті при температурі  $t$  і  $0^{\circ}\text{C}$ . Враховуючи залежність густини від температури:  $\rho = \frac{\rho_0}{1 + \alpha t}$ , отримаємо значення висоти цього стовпа при  $0^{\circ}\text{C}$ :

$$H_0 = \frac{H_t}{1 + \alpha t}, \quad (1.2)$$

де  $\alpha$  - 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  $l_t = l_n [1 + (t - t_n)\beta]$ , де  $\beta$  - температурний коефіцієнт лінійного розширення латуні. Тому результат вимірювання висоти стовпа ртуті за шкалою барометра при температурі  $t$ , що дорівнює  $h_t$ , буде відрізнятися від дійсного значення

$H_t$  на нормований множник  $\frac{l_t}{l_n} = 1 + (t - t_n)\beta$ ; отже,

$$H_t = h_t [1 + (t - t_n)\beta]. \text{ Підставивши це значення } H_t \text{ в (1.2), отримаємо}$$

$$H_0 = h_t \frac{1 + \beta(t - t_n)}{1 + \alpha t}.$$

Ця рівність дозволяє отримати значення систематичної температурної похибки  $(h_t - H_0)$  і поправку  $\Delta h_t = H_0 - h_t$ , яка виключається:

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

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

**Поправка на прискорення вільного падіння** 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 ( $g_0 = 978,05 \text{ см/с}^2$ ;  $g_{45} = 980,65 \text{ см/с}^2$ ;  $g_{90} = 983,25 \text{ см/с}^2$ ). Його залежність від широти місця  $\varphi$  визначається формулою  $g_\varphi = g_{45} (1 - 0,00265 \cos 2\varphi)$ . Враховуючи, що вимірний барометром тиск  $H$  (висота стовпа ртуті) знаходиться в обернено пропорційній залежності від прискорення  $g$ , тому  $H_{45} = H_\varphi \frac{g_\varphi}{g_{45}}$ . Звідси отримуємо вираз для нормованої поправки на широту місця  $\Delta H_\varphi = H_{45} - H_\varphi$ :

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

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:

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

В земних умовах  $z \ll R$  ( $R = 6,371 \cdot 10^6 \text{ м}$ ; порядок  $z$  не перевищує  $10^3 \text{ м}$ ), тому з достатньо високою точністю можна, обмежуючись членами

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

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

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

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

Прискорення вільного падіння на широті  $\varphi$  і висоті  $z$  над рівнем моря виражається формулою

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

Поправка, що нормує показання барометра по широті і висоті місця вимірювань, дорівнює  $\Delta H_{\varphi, z} = \frac{g_{\varphi, z}}{g_n} - 1$ ; на станціях її обчислюють як суму  $\Delta H_{\varphi, z} = \Delta H_{\varphi} + \Delta H_z$ , користуючись двома таблицями: в одній, складеній на основі формули (1.3), за значеннями  $H_{\varphi}$  і  $\varphi$  знаходять  $\Delta H_{\varphi}$ , в іншій, складеній на основі формули (1.4), за значеннями  $H_z$  і  $z$  знаходять  $\Delta H_z$ .

**Систематична інструментальна похибка** 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 вакуумованому 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  $\Delta$ , що дорівнює

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

де  $\sigma$  - поверхневий натяг ртуті,  $R$  - радіус меніска ртуті.

Через те, що  $\Delta$  пропорційний кривизні ( $1/R$ ) поверхні ртуті, яка убуває із збільшенням діаметру трубки, то барометрична трубка виготовляється достатньо великого діаметру. За цих умов  $\Delta = 0,7 \dots 0,8$  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 склою послаблюється і меніск приймає свою нормальну форму). В сифонно-чашковому барометрі при проведенні вимірювань верхню точку меніска підводять до нижнього індексу завжди знизу вгору.

**Вплив парів ртуті і повітря, яке залишилося.** Над ртуттю в барометричній трубці завжди є пари ртуті. Їх тиск направлений проти атмосферного, викликаючи цим зменшення висоти стовпа ртуті і, отже, заниження показань барометра. Тиск парів ртуті залежить від температури, так, наприклад, при  $0^{\circ}\text{C}$  він дорівнює  $3 \cdot 10^{-4}$  мбар, при  $20^{\circ}\text{C}$  дорівнює  $17 \cdot 10^{-4}$  мбар, при  $60^{\circ}\text{C}$  дорівнює  $353 \cdot 10^{-4}$  мбар; зміни його невеликі (перевірку роблять при температурі  $20^{\circ}\text{C}$ ), 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.1.4). При нахилі барометра (при незмінному тиску) на кут  $\alpha$  ця різниця (висота стовпа) залишається незмінною, хоч довжина стовпа збільшується до  $H_\alpha$ . Відлік по шкалі при такому положенні барометра приведе до додаткової не врахованої похибки  $\Delta H_\alpha = H_\alpha - H$ .

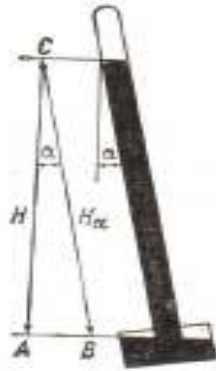


Рис. 1.4 – Вплив нахилу барометра на його показання

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

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

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.

**Пристрій та принцип дії барометра-анероїда.** Барометр-анероїд відноситься до приладів деформаційного типу. Кінематична схема барометра-анероїда представлена на (рис.1.5). Він складається з барометричної коробки, закріпленої на основі, важільного механізму, стрілки-показника та шкали.

Барометрична коробка представляє з себе металеву порожнину з якої вилучене повітря, т.е. усередині цієї порожнини створений вакуум. Торцеві стінки цієї порожнини гофровані та можуть стискатися і розтискатися (деформуватися) в залежності від величини атмосферного тиску, який діє на коробку зовні.

Переміщення гофрованих стінок барометричної коробки через важільний механізм приводить до переміщення кінця стрілки-показника по дузі окружності уздовж шкали з діленнями, що показують величину атмосферного тиску в одиницях в яких вона проградуєрована.

В склад важільного механізму також входять, не показані на рисунку, пружини і коректувальні гвинти. Пружини призначені для усунення люфтів в з'єднаннях важільного механізму.

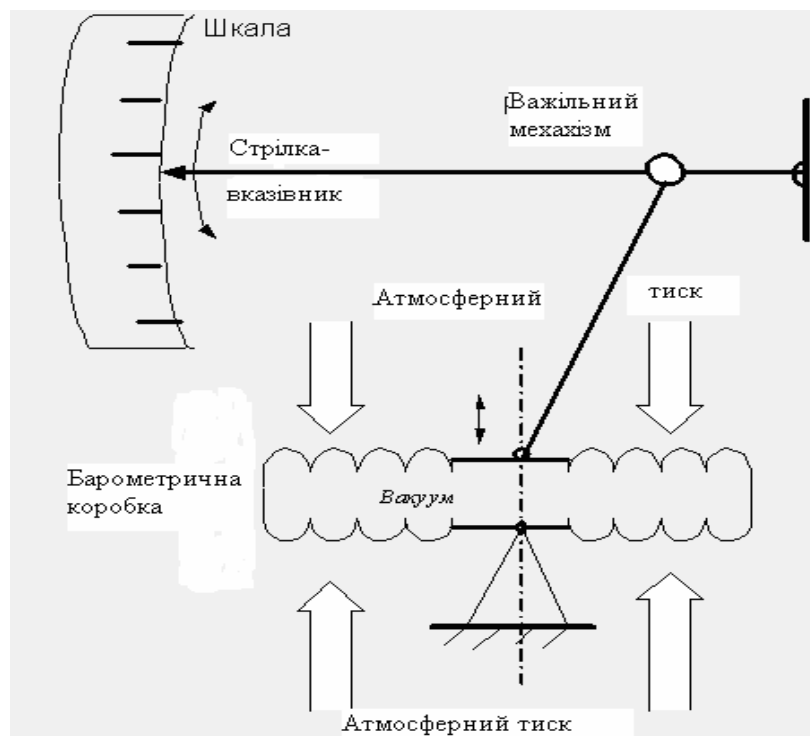


Рис. 1.5 - Кінематична схема барометра-анероїда

Коректировочні гвинти дозволяють шляхом зміни довжин плечей важелів установлювати необхідні показання барометра-анероїда при його налаштуванні та перевірці.

### **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?
- 10.3 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 прорізів і дверей?
13. Які існують похибки вимірювання атмосферного тиску за допомогою ртутних барометрів і поправки до їхніх показань?
14. На чому заснований принцип дії барометра-анероїда?

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

1. Станційний чашковий барометр з компенсованою шкалою (рис.1.2).
2. Спеціальна шафа, в якій розміщують барометр.
3. Джерело освітлення барометра.
4. Барометр-анероїд М-67.

### **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 дотримуватися певного порядку проведення вимірювань.
4. Отримати інструктаж у викладача з “Техніки безпеки” і розписатися в журналі.

### **Забороняється:**

1. Знімати ртутний барометр з гаку і виносити його з спеціальної шафи.
2. Нахилити ртутний барометр.
3. Загвинчувати гвинт на кришці чашки ртутного барометра.
4. Перевертати ртутний барометр чашкою верх.
5. Робити різкі удари по захисній трубці ртутного барометра.
6. Після проведення вимірювань залишати відкриті дверці шафи, де знаходиться ртутний барометр.
7. Залишати увімкнене джерело освітлення барометра після проведення вимірювань.
8. Трясти і стукати по корпусу барометра-анероїда, перевертати його вверх дном.

### **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) проводиться 2 відліки по станційному ртутному барометру і барометру-анероїду при вимірюванні атмосферного тиску через кожні 10 хвилин;

2) обчислення результатів вимірювань по ртутному барометру і порівняння отриманих результатів з показаннями барометру-анероїду.

#### **1. Проведення відліків по барометру-анероїду М-67 при вимірюванні атмосферного тиску:**

1.1 Установити барометр-анероїд на горизонтальній стійкій поверхні (на лабораторному столі) і відкрити кришку.

1.2 Після хвилинної перерви зняти показання барометра-анероїда і занести їх в таблицю 1.1.

## **2. Проведення відліків по станційному ртутному барометру при вимірюванні атмосферного тиску.**

2.1 Відкривають шафу і вмикають освітлення.

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

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

2.4 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).

2.5 Відрахувати показання барометра.

2.6 Вимкнути освітлення і закрити шафу.

## **3. Обчислення результатів вимірювань по ртутному барометру.**

Для визначення атмосферного тиску до відліку по ртутному барометру вводяться такі поправки:

а) інструментальна поправка, яка враховує не відповідність нульового індексу 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 барометра з інспекторським на місці установки барометра.

б) поправка для приведення показань барометра (ваги стовпа ртуті) до нормального прискорення сили тяжіння ( $g_n = 980,665 \text{ см/с}^2$ ); поправка обчислюється по широті станції і по висоті барометра над рівнем моря в табл.А1 додатку дані приведені для висоти  $H=50 \text{ м}$  - точка на якій знаходиться університет.

в) поправка на приведення показань барометра (довжини ртутного стовпа) до температури  $0^\circ\text{C}$  (додаток табл.А2) дана з точністю до десятих часток міліметра і мілібара для вимірюваних значень тиску (відліків) в межах від 400 до 1060 мм або мб, і для температури барометра в межах  $\pm 40,5^\circ$ . Поправка знаходиться на перетинанні графі, яка відповідає округленому до 10 мб значенню тиску, і строки, що відповідає округленому значенню до  $0,5^\circ\text{C}$  значенню температури. При температурі барометра вище  $0^\circ\text{C}$  ця поправка буде від'ємною, а при температурі нижче  $0^\circ\text{C}$  - додатною.

У тих випадках, коли температура в приміщенні, де знаходиться барометр, буде вище  $40,5^\circ\text{C}$ , поправка на приведення показань барометра до  $0^\circ\text{C}$  повинна бути обчислена наступним чином: значення температури розбивається на суму двох значень, кожне з яких менше  $40,5^\circ\text{C}$ . Для кожного значення з додаток табл.А2 знаходять поправку, а потім знайдені поправки складають.

При знаходженні поправки на приведення тиску до температури 0°C необхідно дотримуватися 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°C).

У випадку, коли відлік по барометру закінчується цілою п'ятіркою (995,0 мб, 1005 мб і т.д.), при відшукуванні 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°C, 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=20,0°C, після округлення - 20,0°C.

Поправка на приведення до температури 0°C для тиску 1000 мб при температурі барометра 20,0°C 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.

Отриманні результати занести в таблицю 1.1.

Вимірювання і розрахунки повторити два рази з інтервалом 10 хвилин.

4. Визначити абсолютну і відносну різницю показаній барометрів.

4.1. Абсолютна різниця визначається за формулою

$$\Delta D_{\text{абс}} = D_{\text{рт}} - D_{\text{ан}} ,$$

де  $D_{\text{рт}}$  – показання ртутного барометра;  $D_{\text{ан}}$  – показання барометра-анероїда.

Результат занести в табл.1.1

4.2. Відносна різниця визначається за формулою

$$\Delta\delta = \frac{\Delta D}{D_{\text{дод.-àí ää.}}} \cdot 100\%$$

Результат занести в табл.1.1.

Табл.1.1 - Результати вимірювання атмосферного тиску

№	Підрахунок за шкалою ртутного барометра	Температурна поправка	Поправка на широту	Поправка на висоту	Атмосферний тиск з урахуванням всіх поправок	Атмосферний тиск по М-67	Абсолютна різниця показників	Відносна різниця показників
1								
2								
Середнє значення відносної різниці показань за 2 вимірювання								

5. Визначити середнє значення відносної різниці показань за формулою

$$\Delta\delta_{\text{вд}} = \sum \frac{\delta_i}{i} \cdot [\%],$$

де  $\Delta p_i$  – відносна різниця показників при  $i$  – том вимірюванні; загальна кількість вимірювань  $n = 2$ .

Порівняти отриманий результат з класом точності барометра-анероїда (клас точності нанесені на шкалі анероїда арабською цифрою і показує максимально допустиму помилку приладу в процентах).

### 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 вмикаючи схеми проведення експериментів;
- 4) порядок проведення лабораторної роботи;
- 5) порядок обробки результатів досліджень;
- 6) таблиця отриманих результатів (табл.1.1);
- 7) висновки.

## Лабораторна робота № 2

### “Вимірювання швидкості та напрямку вітру”

**Мета роботи** – вивчити методи і засоби виміру швидкості і напрямку вітру.

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

**знати:**

- параметри вітру;
- будову різних датчиків швидкості і напрямку вітру;

**вміти:**

- вимірювати швидкість і напрямок вітру різними приладами;
- вимірювати справність вузла швидкості і напрямку вітру.

**Теоретичні положення** [1,4,7]. Вітер є одним з основних метеорологічних факторів що робить визначальний вплив на погоду, тому постійний вимір параметрів вітру є дуже важливою задачею, розв'язуваної метеорологічними станціями. Основними параметрами вітру являються:

- швидкість, вимірювана в м/с;
- напрямок (від куди дує вітер), вимірюване лише - у румбах і точно – у кутових градусах азимута.

Розрізняють миттєву, максимальну і середню швидкість вітру. З огляду на випадковий характер швидкості вітру - середня швидкість вітру є найбільш інформативним параметром. Вона вимірюється (усереднюється) за встановлений інтервал часу (звичайно 10 хвилин). Миттєва і максимальна швидкості вітру є додатковими характеристиками, що показують тенденції в зміні погоди. Прилади вітру, що вимірюють *швидкість, називаються АНЕМОМЕТРИ, а прилади вітру, що показують напрямок, називаються РУМБОМЕТРАМИ*. Відповідно, прилади що вимірюють і те й інше називаються **АНЕМОРУМБОМЕТРИ**.

У процесі проведення лабораторної роботи повинні бути вивчені:

- ручний чашковий анемометр МС-13;
- анемометр М-92;
- анеморумбометр М-49.

**Ручний чашковий анемометр МС-13** (рис.2.1). Застосовується для вимірювання середньої швидкості вітру в межах від 1 до 20 м/с (звичайно за 10 хв). Чутливим елементом цього приладу є невелика вертушка з чотирма напівсферичними чашками 1. Вона закріплена на осі 3, обидва кінці якої упираються в агатові підшипники. Верхній підшипник осі 3 знаходиться у гвинті, вгвинченому в гніздо зверху захисних дужок 2, нижній підшипник знаходиться всередині корпусу 4.



На нижньому кінці осі є черв'як 5, який зв'язує вісь 3 з вхідним черв'ячним колесом механічного лічильника кількості обертів.

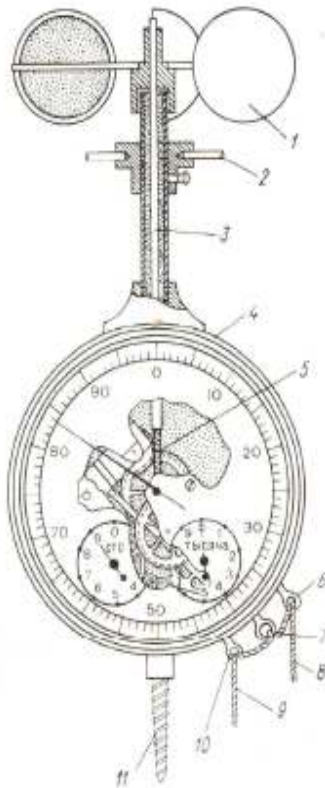


Рис.2.1 - Ручний чашковий анемометр з лічильним механізмом:  
1 – чашка; 2 - захисна дужка; 3 – вісь; 4 – корпус; 5 – черв'як; 6 і 10 - кільця; 7 – важіль з кільцем; 8 і 9 – шнури; 11 – гвинт

Редуктор лічильника складається із зубчастих коліс і зв'язаний з трьома стрілками, які при обертанні вертушки переміщуються по трьом шкалам.

Центральна шкала має 100 поділок з ціною поділки три оберти. Один оберт центральної великої стрілки відповідає 300 обертам вертушки. Малі шкали мають по 10 поділок. Ціна поділок нанесена на шкалах: на лівій – 100 обертів вертушки, на правій – 1000 обертів. Збоку з корпусу 4 виступає важіль 7 аретира лічильника, обортом якого за годинниковою стрілкою лічильник вмикається, проти годинникової - вимикається. Переключення важелю 7, коли до нього безпосередньо не можна дістати рукою, здійснюють шнуром. Для цього на корпусі по обидва боки важелю є кільця 6 і 10, через які протягуються кінці шнура, прикріпленого до кільця важелю 7. Потягнувши шнур за кінець, протягнутий через кільце 10, вмикають лічильник, а потягнувши за кінець, протягнутий через кільце 6, вимикають його.

**Анемометр М-92** (рис.2.2). Прилад призначений для вимірювання середньої швидкості вітру в межах від 0,6 до 40 м/с і придатний до тривалої експлуатації. Для вимірювання вітру на різній висоті встановлюється на щоглах, телевізійних щоглах та інших спорудженнях.

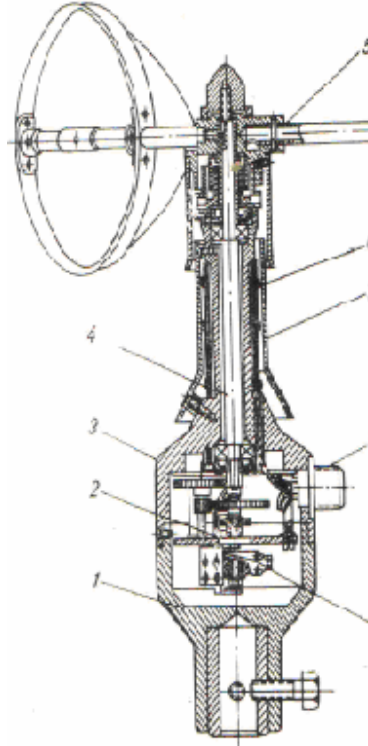


Рис.2.2 - Загальний вигляд анемометра:

1 і 3 – корпус; 2 – редуктор; 4 – вісь; 5 - вертушка; 6 - обігрівач; 7 - кожух; 8 - вилка штепсельного роз'єму; 9 - контактна група

Анемометр М-92, також як анемометр М-25, застосовується спільно з реєстраторами і лічильниками. Його тричашкова вертушка кріпиться на осі, установленій на двох шарикових підшипниках. На нижньому кінці осі 4 є трубка, що зчіплюється з шестірнею редуктора 2, закріпленого на платах. На платі закріплена контактна група 9, яка складається з двох пластин, що закінчуються щупами. На вихідній осі редуктора закріплені два кулачка, на які спирається щуп однієї з двох пластин контактної групи. Кулачки установлені так, що краї їхніх виступів зміщені відносно один одного на 3 мм, тому при обертанні кулачків замикання і розмикання контактної групи 9 відбувається так же, як і в анемометрі М-25. Нижня частина корпусу закінчується патрубком для кріплення анемометру на штирі щогли. Для підключення до датчика з'єднувального кабеля служить штепсельний роз'єм 8.

В конструкції анемометру передбачений пристрій, який запобігає поломці контактної групи 9, коли випадково (від руки) обертають

чашки анемометру в напрямку, зворотному нормальному. Принцип пристрою такий же, як у анемометру М-25.

В анемометрі є обігрівальний пристрій, який в окремих випадках може запобігти осадженню на ньому паморозі і ожеледиці. Обігрівач 6 складається з ізоляційної втулки з дротовою спіраллю 6, яка одягнена на верхню частину корпусу 3 і захищеною кожухом 7.

В періоди, коли можливе обледеніння, пристрій для обігрівання вмикається в мережу (36 В; 50 Гц).

При обертанні вертушки повітря (нагріте обігрівальним елементом) піднімається вгору і центробіжною силою викидається через отвори в спицях в середину чашок.

Реєстрація і вимірювання кількості імпульсів, які надходять від анемометра М-92, і обчислення швидкості вітру проводиться так же, як для анемометра М-25.

Випускається модифікація М-92 з геконом і магнітом. Похибка анемометра  $(0,2 + 0,03 V)$  м/с.

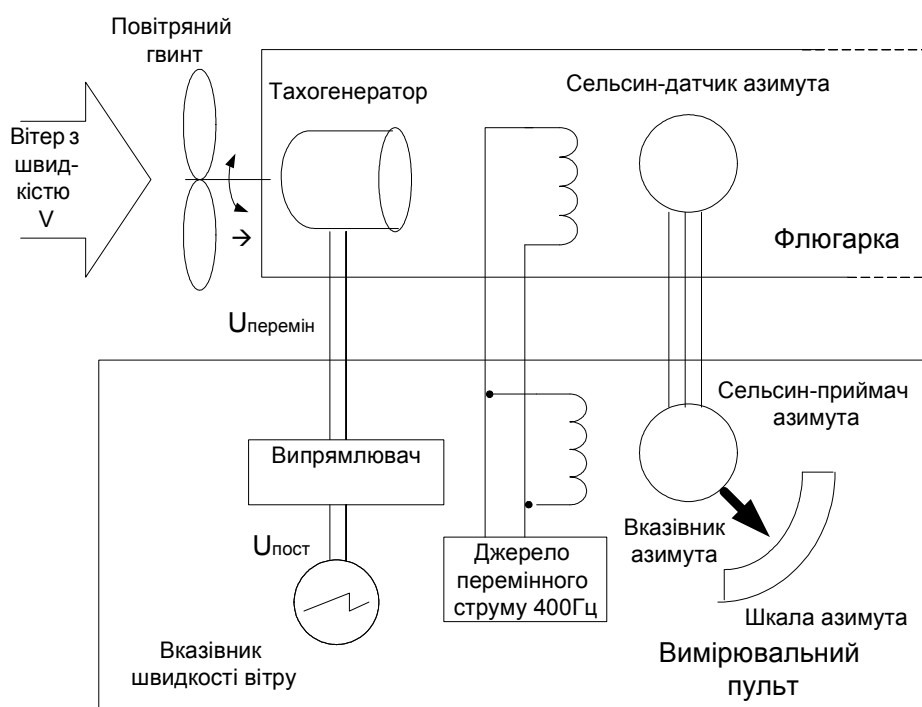


Рис. 2.3 Структурна схема анеморумбометра М-49

Прилад для вимірювання напрямку вітру і вологості повітря має дві шкали - у градусах (для напрямку) і у відсотках (для відносної вологості). Стрілка цього приладу насаджена на вісь ротора сельсину (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.

### **Запитання для самоперевірки:**

1. Для чого призначений анемометр М-13?
2. Які параметри вітру і з якою точністю може вимірювати анемометр М-13?
3. Який принцип роботи анемометра М-13?
4. Для чого призначений анемометр М-92?
5. Які параметри вітру і з якою точністю може вимірювати анемометр М-92?
6. Який принцип роботи анемометра М-92?
7. Для чого призначена дистанційна метеорологічна станція ДМС-49?
8. На яких елементах побудована М-49?
9. З яких блоків складається ДМС-49?
10. Для чого призначені і з чого складається флюгерка?
11. Що робить первинний перетворювач анемометра М-49?
12. Що робить вторинний перетворювач анемометра М-49?
13. У яких одиницях проградуйована шкала анемометра на вимірювальному пульті?
14. Який принцип покладений в основу роботи анеморумбометра М-49?
15. Для чого використовується сельсин-датчик і сельсин-приймач?
16. Яким термометром вимірюється температура в ДМС-49?
17. Що є чутливим елементом датчика вологості?
18. Якою напругою живитися ДМС-49?

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

1. Анемометри М-13, М-92 і анеморумбометр М-49.
2. Блок датчиків температури і вологості.
3. Вимірювальний пульт.
4. Електричний вентилятор.
5. Лабораторна аеродинамічна установка.
6. Універсальний вольтметр постійний і перемінний токи.

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

1. Вивчити правила техніки безпеки і розписатися в журналі.
2. Включати живлення лабораторних установок дозволяється тільки в присутності викладача чи завідувача лабораторією.

3. Підключати лабораторні установки тільки в мережу змінного струму напругою 220 В 50 Гц. Якщо зникла напруга в мережі, та прилади потрібно перевести в початкове положення і доповісти про це викладачу.

4. Закінчивши роботу, потрібно вимкнути всі прилади і здати робоче місце завідувачу лабораторії.

### **Забороняється:**

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.

### **Методика виконання лабораторної роботи**

Проведення лабораторної роботи здійснюється в 4 етапи:

- 1) вивчення і градування анемометра М-13;
- 2) вивчення і градування анемометра М-92;
- 3) вивчення і градування анемометра М-49 ;
- 4) вимірювання температури і вологості повітря (за указівкою викладача).

**1. Вивчення і градування анемометра М-13** проводиться за допомогою лабораторної аеродинамічної установки.

1.1. Вивчити конструкцію лабораторної аеродинамічної установки, звернувши особливу увагу на спосіб створення і зміни швидкості потоку повітря імітуючи вітер і розташування анемометра М-13.

1.2. Установити ручку ЛАТРа в крайнє ліве положення, подати живлення на установку.

1.3. Записати показання стрілок анемометра М-13.

1.4. За указівкою викладача за допомогою ручки ЛАТРа установити швидкість повітряного потоку використовуючи градуований графік лабораторної установки.

1.5. Зафіксувати положення стрілок анемометра і записати результат у табл.2 у рядку *Апоперед*.

1.6. Розааретувати механізм анемометра одночасно запустивши секундомір, через 2 хв зупинити секундомір, зааретувати механізм анемометра і зафіксувати положення стрілок анемометра, результат занести в таблицю 2 у рядок *Апослед*.

1.7. Повторити операції по пунктах 1.3-1.5 для інших значень швидкості повітряного потоку.

Таблиця 2.1 - Градування анемометром М-13

Номер вимірювання	1	2	3	n
Швидкість повітряного потоку, $V$ , м/с				
Попередні показання стрілок, $A$ <i>поперед</i>				
Послідуючі показання стрілок, $A$ <i>послед</i>				
Різниця показників $\Delta A = A$ <i>поперед</i> – $A$ <i>послед</i>				

1.8. За результатами табл. 2.1 побудувати градуйовану криву для анемометра М-13, відклавши по горизонтальній осі різниця показання стрілок -  $\Delta A$ , а по вертикальній осі швидкість повітряного потоку (вітру) -  $V$ .

## 2. Вивчення і градування анемометра М-92

2.1. Установити анемометр на рівній поверхні, з'єднати кабелем з лічильником і подати живлення.

2.2. Зафіксувати показання лічильника і занести їх у табл.2.2. у рядок *Впоперед*.

2.3. Вручну зробити 30 оборотів повітряного гвинта і зафіксувати нові показання лічильника і занести їх у табл.2.2 у рядок *Впослед*.

2.4. Повторити три рази операції по пунктах 2.2-2.3

2.5. Обчислити коефіцієнт пропорційності між реальною кількістю оборотів повітряного гвинта і показаннями лічильника за усередненими даним за чотири експерименти –  $ДО = \Sigma \Delta B_i / 40$ .

Таблиця 2.2 - Визначення коефіцієнта пропорційності анемометра

Номер вимірювання	1	2	3	4
Кількість оборотів повітряного гвинта	30	60	90	120
Попередні показання лічильника, $B$ <i>поперед</i>				
Послідуючі показання лічильника, $B$ <i>послед</i>				
Різниця показаний $\Delta B_i = B$ <i>поперед</i> - $B$ <i>послед</i>				

## 3. Вивчення і градування анемометра М-49. Вимірювання швидкості і напрямку вітру.

Операції по виміру швидкості і напрямку вітру виконуються в наступній послідовності:

3.1 На вимірювальному пульті установити перемикач живлення “ $V$ ” у положення “220В”; перемикач “Режим работы” у положенні “ $\varphi$ ”; обертаючи корпус флюгерки вручну установити співвісні повітряні гвинти вентилятора і флюгерки, зафіксувати положення показчик азимута і занести в перший стовпчик табл. 2.3.

3.2 Включити вентилятор, підключити універсальний вольтметр до гнізд “УТГ” і вимірити напругу на виході тахогенератора, вважати значення швидкості вітру  $V$  по шкалі приладу вимірювального пульта і записати їхні величини в перший стовпчик табл.2.3.

3.3 Вручну повернути й утримувати флюгерку так, щоб кут між віссю повітряного гвинта вентилятора і віссю повітряного гвинта флюгерки склав  $30^\circ$  (кут контролювати за показником азимута вимірювального пульта) і повторити виміри по пункту 3.2.

3.4 Вручну установити й утримувати флюгерку так, щоб кут між віссю повітряного гвинта вентилятора і віссю повітряного гвинта флюгерки склав  $60^\circ$  (кут контролювати за показником азимута вимірювального пульта) і повторити виміри по пункту 3.2.

3.5 Вручну установити й утримувати флюгерку так, щоб кут між віссю повітряного гвинта вентилятора і віссю повітряного гвинта флюгерки склав  $90^\circ$  (кут контролювати за показником азимута вимірювального пульта) і повторити виміри по пункту 3.2.

3.6 За даними табл.2.3 побудувати графік залежності перемінної напруги на виході тахогенератора  $U_{перем}$  швидкості повітряного потоку (вітру)  $V$ .

Таблиця 2.3 - Вихідна напруга тахогенератора

Кут між осями повітряного гвинта	$0^\circ$	$30^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$
Напруга на вих тахогенератора, УТГ, В				
Швидкість вітру за показником, $V$ , м/с				

**Вимірювання вологості повітря.** При вимірюванні вологості повітря перемикач “ $V$ ” – “Питание” ставиться в положення “220В”. Перемикач “Режим работы” установлюється в положення “%”. При цьому до сельсина приймача  $M4$  підключається сельсин датчик  $M3$  вимірювання вологості і на них подається живлення – відбувається вимірювання вологості. Виміряти величину вологості повітря приладом на вимірювальному пульті (шкала для відносної вологості в %). Зафіксувати результат.

**Вимірювання температури повітря.** При вимірюванні температури повітря перемикач “ $V$ ” – “Питание” ставиться в положення “220В”. Далі

слід провести контрольну перевірку роботи моста опорів  $R_2, R_3, R_4, RK$ . Для чого перемикач “Режим работы” устанавлюється в положення “ $K$ ”. При цьому в мості вмикається еталонний контрольний опір  $RK$ , потім підключається вимірювальний прилад і живлення моста. Стрілка приладу на керувально-вимірювальному пульті повинна устанавитися на контрольній поділці шкали температури. Якщо стрілка встанавлюється на іншій поділці, то її потрібно підвести до контрольної поділки рукояткою потенціометра  $R_7$ , виведеної на передню панель пульта, який регулює напругу живлення моста.

Потім провести вимірювання температури повітря, для чого перемикач “Режим работы” устанавлюється в положення “ $T_в$ ” або “ $T_n$ ”. При цьому замість контрольного опору  $RK$  в діагональ моста вмикається терморезистор  $R_t$  послідовно з опором  $R_5$  або  $R_6$ ). Виміряти за допомогою приладу на вимірювальному пульті в першому або другому діапазоні температурної шкали. Зафіксувати результат.

### **Порядок оформлення звіту та його представлення і захист**

За результатами виконання лабораторної роботи студент представляє звіт, кожний студент представляє і захищає звіт індивідуально. Звіт повинен містити такі дані:

- 1) тема лабораторної роботи;
- 2) мета лабораторної роботи;
- 3) короткі теоретичні відомості;
- 4) порядок проведення лабораторної роботи;
- 5) виміряні параметри і порядок обробки результатів досліджень, таблиці і графіки;
- 6) висновки.

## **Лабораторна робота № 3**

### **“Методи та засоби вимірювання нижньої межі хмар”**

**Мета роботи** – вивчити методи і засоби вимірювання нижньої межі хмар.

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

**знати:**

- фізичну основу світлолокаційного методу;
- склад вимірювання висоти нижньої межі хмар ИВО-1М;



- принцип роботи датчика світлових імпульсів;
- принцип роботи приймача світлових імпульсів;
- принцип роботи пульта керування та індикаторно-вимірювального пристрою;

**вміти:**

- перевіряти й настраювати апаратуру ИВО-1М;
- вимірювати висоту нижньої межі хмар.

**Теоретичні положення** [1,4,5,7]. В світлолокаційних установках висота нижньої межі хмар визначається за часом  $\tau$ , за який світло проходить шлях від точки вимірювання до хмари і назад (рис. 3.1). Через те, що швидкість світла відома ( $c = 3 \cdot 10^8$  м/с), то, вимірявши  $\tau$ , можна визначити  $H$  за формулою

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

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  $\tau$  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 ИВО-1М** складається з передавача і приймача світлових імпульсів, пульта керування з індикаторно-вимірювальним пристроєм і комплекту з'єднувальних кабелів.

Передавач і приймач імпульсів установлюються в місці вимірювань, а пульт керування - в приміщенні, віддаленому від них не більше ніж на 150 м. ИВО-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 ИВО-1М датчик за допомогою імпульсної лампи, яка поміщена у фокусі увігнутого дзеркала, посилає вертикально вгору імпульси світла. Після відбивання від хмари ці імпульси світла попадають до приймача на увігнуте дзеркало, у фокусі якого розташований катод фотоелектронного множника. Оптичні системи передавача (дзеркало і лампа) і приймача (дзеркало і фотомножник) змонтовані на карданних підвісах, які забезпечують при установці їх самоустановку таким чином, що оптичні осі їх установлюють строго вертикально.

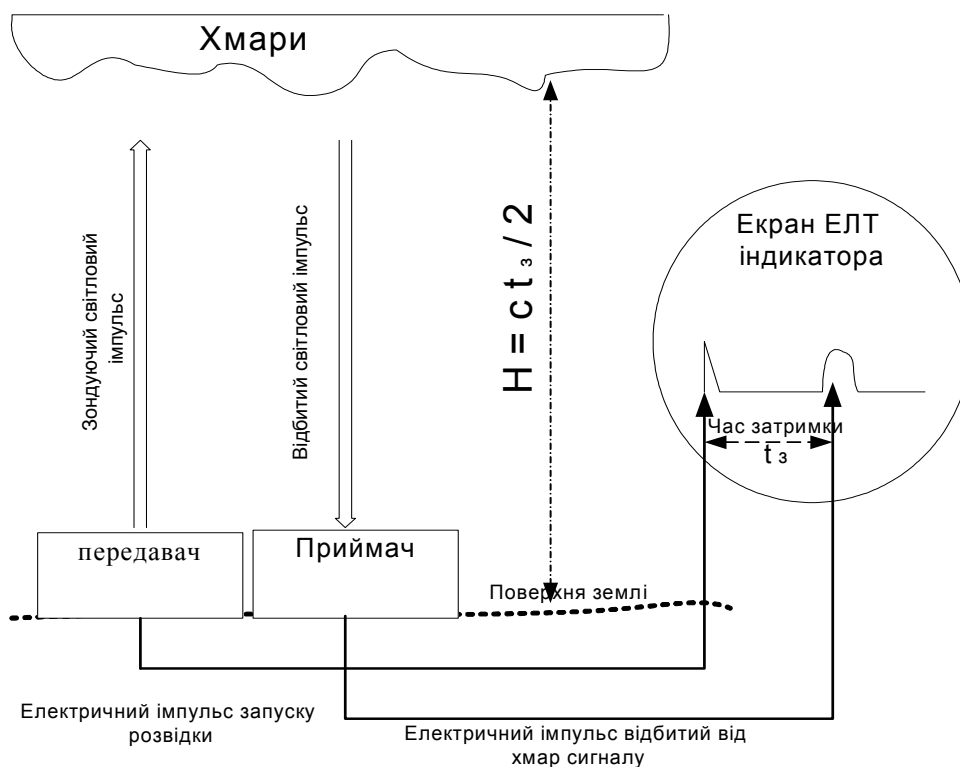


Рисунок 3.1- Принцип дії ИВО-1

Датчик і приймач імпульсів змонтовані в прямокутних (кубічних) корпусах з круглим скляним вікном з кришками, які керуються електродвигунами. Корпуса датчиків встановлюються 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. У пульт управління надходять електричні імпульси від передавача в момент посилки світлових імпульсів, що утворюються з частотою 20 Гц у плинні 5-10 і від приймача, у момент приходу відбитих від нижньої межі хмар світлових імпульсів. 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 передавача) і від приймача у вигляді зображення розгорнутого в часі імпульсу. Відстань між зображеннями точки і переднього фронту імпульсу 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. В якості джерела світлових імпульсів використовується імпульсна лампа, яка установлена в фокусі параболічного дзеркала.

### **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 ИВО-1М?
5. Як розміщується апаратура ИВО-1М на робочій площадці?
6. В яких межах вимірюється висота НМХ ИВО-1М?
7. В чому полягає принцип роботи передавача світлових імпульсів ИВО-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 повністю зібраному приладі і закритих кришках і люках.
3. Ввімкнення приладу та початок роботи з ним дозволяється лише в присутності викладача або завідуючого лабораторії.

4. При відключенні в мережі електричної енергії, всі органи керування перевести в початкове положення, і доповісти про це викладачу.

5. Закінчивши вимірювання, необхідно відключити ИВО-1М від мережі.

### **Забороняється:**

1. Вмикати ИВО-1М без дозволу викладача і без заземлення корпусу 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 час більше 10 секунд та частіше ніж через 2 хвилини.

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

6. Користуватися у випадку горіння електричного кола пінним вогнегасником, а лише порошковим або вуглекислотним.

7. 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 розйому або провідника, прилад повинен бути вимкнений, а при зняттю 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 ИВО-1М для проведення вимірювань нижньої межі хмар.

2. Тумблером, який знаходиться на передній панелі пульта справа внизу увімкнути живлення від мережі 220 В 50 Гц. При цьому повинна загорітися підсвітка шкали висоти; упевніться що стрілка вимірювального приладу, яка показує напругу живлення що знаходиться в межах темного сектора.

3. Дати прогрітися апаратурі в межах п'яти хвилин після чого потенціометром “Яркость” відрегулювати яскравість освітлення трубки індикатора.

4. Ручку потенціометра “РРУ” (Ручная регулировка усиления) установити в середньому положенні.

5. Натиснути на рукоятку “Высота” вимірювального потенціометру на передній панелі блоку керування. При натисненні освітлення шкали гасне, а загоряється імпульсна лампа передавача і на екрані ЕПТ повинна з'явитися лінія розгортки (тривалість положення рукоятки в натисненому стані не повинна перевищувати 10 с). При цьому перемикається вимірювальний прилад з кола контролю напруги живлення в коло контроль частоти спалахів імпульсної лампи.

6. Поставити тумблер на лівій стінці пульта керування в положення „Калибр”. При короткому натисненні на рукоятку вимірювального потенціометру “Высота” на екрані ЕПТ повинні з'явитися калібрувальні мітки, підрахувати їх кількість; повинно спостерігатися не менше 12 міток.

7. При обертанні натисненої рукоятки “Высота” калібрувальні мітки на екрані ЕПТ переміщуються відносно риски. Поділки шкали висот будуть зменшуватися в сторону збільшення висоти.

8. Закрити отвір приймача світонепроникаючою кришкою і переконатися, що відображений імпульс на екрані зник, забрати кришку.

9. Виміряти відстань за шкалою висот від початку розгортки “Импульс датчика” до середини відбитого імпульсу. Ця відстань відповідає висоті нижньої межі хмар ( ціна поділки шкали висот пульта керування дорівнює 20 м і оцифрована через 100 м).

11. Повторить операції по пунктам 8-10 три рази і усереднить отримані значення нижньої межі хмар, використовуючи формулу

$$H = \Sigma Hi / 3,$$

де  $Hi$  – значення висоти нижньої межі при  $i$ - том вимірюванні;  
 $i = 1, 2, 3$  – номер вимірювання.

12. Потенціометром “Яркость” зменшити яскравість освітлення трубки індикатора і вимкнути тумблером прилад з 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 і отриманні результати (таблиці і графіки);
- 5) висновки.

### **Лабораторна робота № 4**

#### **“Вимірювання метеорологічної дальності видимості”**

**Мета роботи** – навчитися вимірювати коефіцієнт пропуску шару атмосфери і його перетворення в метеорологічну дальність видимості за допомогою приладу ФІ-1.

**Задача на підготовку до лабораторної роботи.** Під час виконання лабораторної роботи студент повинен

**знати:**

- діапазони вимірів метеорологічної дальності видимості (МДВ) і коефіцієнта пропуску атмосфери;
- відносну інструментальну погрішність виміру МДВ;
- склад фотометра;
- будівлю і роботу фотометра;
- методику виміру МДВ;

**уміти:**

- підготувати фотометр до роботи;
- проводити перевірку працездатності фотометра;
- проводити виміри МДВ.

Фотометр призначений для безперервного дистанційного виміру і реєстрації коефіцієнта пропуску шару атмосфери, що відповідає довжині бази (20 або 100м). Перетворювач функціональний (ПФ), що входить до складу фотометра, перетворює виміряне значення коефіцієнта пропуску атмосфери в метеорологічну дальність видимості. Виміри можуть проводитися в будь-який час пори. Фотометр може бути використаний чи автономно в складі метеостанцій.

Фотометр складається з: блоку фотометричний (БФ), функціональний перетворювач (ПФ), блоку реєстрації (БР), щит розподільний (ЩР), вольтметра цифрового, відбивач дальній (ВД),

відбивач ближній (ВБ), штативів фотометричного блоку і відбивачів, стабілізатор напруги (СН), оптичних замикачів.

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

Фотометр зберігає працездатність при температурі навколишнього середовища від  $-6^{\circ}\text{C}$  к  $+55^{\circ}\text{C}$  і відносної вологості до 98 %, при температурі не більше  $+40^{\circ}\text{C}$  - для блоків БФ, ПФ, ЩР, ВД, ВБ, СН. При температурі навколишнього середовища від  $+5^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  і відносної вологості до 80 %, при температурі не більше  $30^{\circ}$ . Для блоків ПФ, ВД, БР, що розміщені в приміщенні.

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

- від 50 до 600 м (автоматичний режим) до 1200м (ручний режим) - вимір забезпечується при роботі з відбивачем ближнім (ВБ) на базі 20 м;
- від 240 до 6000 м - вимір забезпечується з відбивачем дальнім (ВД) на базі 100.

Діапазон виміру коефіцієнта пропуск (за шкалами ПФ, БР) - від 8 до 90 % для зазначених значень МДВ.

Основна відносна інструментальна погрішність виміру МДВ:

- у діапазоні 50-150 м не більше  $\pm 20\%$ ;
- у діапазоні 150-250 м не більше  $\pm 15\%$ ;
- у діапазоні 250-400 м не більше  $\pm 10\%$ ;
- у діапазоні 400-1500 м не більше  $\pm 7\%$  (з відбивачем ближнім у діапазоні 400-600 м  $\pm 15\%$ , у діапазоні 600-1200 м -  $\pm 20\%$ );
- у діапазоні 1500-3000 м не більше  $\pm 10\%$ ;
- у діапазоні 3000-5000 м не більше  $\pm 15\%$ ;
- у діапазоні 5000-6000 м не більше  $\pm 20\%$ .

Приведена основна інструментальна погрішність виміру коефіцієнта пропуск нейтральних світлофільтрів не перевищує  $\pm 2\%$  за шкалою ПФ і БР. Верхня границя вихідної напруги фотометричного блоку, що відповідає коефіцієнту пропуску  $100\%-(45 \pm 1) B$ , а границі зміни вихідної напруги функціонального перетворювача при зміні МДВ - від 50 до 6000м  $(0,05-6) B$ .

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

Вимірювальна база фотометра дорівнює  $(100 \pm 0,5)$  м для роботи з дальнім відбивачем і  $(20 \pm 0,1)$  м - для роботи з ближнього.

Автоматичний перехід і індикація переходу з однієї вимірювальної бази на іншу забезпечується відповідно до вимірюваного МДВ. Границя

переходу з далекого відбивача на ближній  $-300\text{м} \pm 20\%$ , із ближнього на дальній  $-600\text{ м} \pm 20\%$ .

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

Передача даних вимір і сигналу переключення діапазонів відбувається по чотирьох провідній лінії зв'язку на відстані до 5 км.

Напруга живлення фотометра 220В (+10% + -15%), частота  $(50\pm 1)\text{Гц}$ . Потужність, що споживають блоки фотометра, включаючи обігрівання не перевищує 300 Вт. Час приготування фотометра до роботи після першого включення складає 60 хв.

Метою даної роботи є вивчення оптичної і структурної схем імпульсного фотометра ФІ-1, призначеного для наземних вимірів метеорологічної дальності видимості (МДВ) і прозорості атмосфери.

**Теоретичні положення [1,4,5,7].** Фотометр ФІ-1 використовується як окремий прилад, так і в складі комплексних метеорологічних станцій (наприклад, станції КРАМС).

Структурна схема фотометра представлена на рис. 4.1. Принцип дії приладу наступний. Світло від джерела – імпульсної газорозрядної лампи – збирається оптичною системою в слабо розводящий промінь і зондує ділянку атмосфери від фотометричного блоку до відбивачів. Їх два: ближній – ОБ і дальній – ОД. Відбиті промені приймаються фотометричним блоком. Їхня інтенсивність залежить від прозорості атмосфери до метеорологічної дальності видимості (МДВ). Фотометричний блок вимірює інтенсивність відбитих променів, порівнює їх з випроміненим і в такий спосіб визначається прозорість атмосфери і МДВ. Для розширення діапазону вимірів прилад забезпечений двома відбивачами. Ближній відбивач установлюється на відстані 20 м від фотометричного блоку і використовується при малих значеннях МДВ – від 50 до 600 м; дальній відбивач установлюється на відстані 100 м і використовується при значеннях МДВ от 240 до 6000 р. Таким чином, діапазон виміру МДВ за допомогою ФІ-1 складає від 50 до 6000 м.

До складу приладу входить щит розподілу живлення (ЩР), що одержує мережа живлення 220В 50Гц і розподіляє його через стабілізатор напруги (СН) на блок фотометра (БФ) і не стабілізоване на живлення обігріву ОБ і ОД. Блок фотометра працює разом з функціональним перетворювачем (ПФ), що за допомогою команд керує вибором режиму роботи ВБ або ВД.

Крім цього геть перетворити вихідний сигнал блоку фотометра до виду зручному для роботи цифрового вольтметра (ОЦ) і блоку реєстрації (БР). Живлення ПФ, ОЦ і БР 220В 50Гц одержують від мережі крім стабілізатора напруги.





дальнього відбивача проходить через діафрагму  $D_2$ , розташовану на оптичній осі приладу, а пучок від ближнього відбивача – через діафрагму  $D_3$ , розташовану трохи вище оптичної осі. Для того, щоб скористатися одним з відбивачів, потрібно відкрити одну з діафрагм, а другу закрити. Це робиться за допомогою оптичного комутатора  $ДО_2$ .

Для визначення МДВ необхідний вимірити яскравість зондувального пучка. Але його яскравість залежить не тільки від МДВ, але й від інтенсивності світіння лампи. У процесі вимірів лампа може змінювати свою яскравість, отже, буде змінюватися яскравість зондувального пучка. Для виключення залежності вихідної напруги від яскравості лампи вводиться опорний канал. Опорний пучок світла проходить через діафрагму  $D_1$  (рис. 4.3.а). Обидва пучки – зондувальний і опорний – попадають на клинчастий розсіювач  $P$ , і далі розсіяне світло йде на катод фотоумножувача.

Для забезпечення черговості надходження на розсіювач опорного і зондувального пучків передбачений оптичний комутатор  $ДО_1$ , що закриває по черзі діафрагми  $D_1$  і  $D_2$  (у випадку роботи з **ОД**) чи  $D_1$  і  $D_3$  (при роботі з **ОД**). Частота комутації світлових пучків складає 0,25 Гц. У такий спосіб протягом двох секунд на розсіювач попадає зондувальний пучок, протягом наступних двох секунд – опорний. У свою чергу кожний з пучків модулюється частотою 50 Гц – саме з такою частотою спалахує імпульсна лампа. Фотоелектронний множник (**ФЭУ**) перетворить світлові імпульси в імпульси електричного струму.

Для приведення чутливості ФІ-1 до чутливості ока в оптичній схемі передбачений коригувальний фільтр (**КФ**). Захисне скло (**ЗС**) охороняє прилад от впливу вологи і пилу.

**Електрична схема фотометра.** Блок-схема електричної частини фотометра зображена на рис. 4.3.б.

Електричний сигнал, що знімається з виходу **ФЭУ**, по суті справи подібний оптичному сигналу, що надходить на катод **ФЭУ**. Вид цього сигналу – еюра його напруги – показаний на рис. 4.4 а. Це ж напруга, але знімає з навантаження **ФЭУ** при вимірах удень, зображене на рис. 4.4 б. Постійна складова напруги  $U_0$  обумовлена влученням на катод денного світла.

Піковий детектор (**ПД**), що містить RC-фільтр, побудований за частотою 50 Гц, **ПД** відфільтрує постійну складову  $U_0$  і продетектує вхідний сигнал. На виході **ПД** буде напруга, що представляє собою огибающий вхідних імпульсів, - рис. 4.4 в.

Далі за допомогою електронного комутатора **ДО** сигнал розходить по двох каналах: опорному і зондувальному. Електронний комутатор працює синхронно з оптичним комутатором  $ДО_1$ , зображеним на оптичній схемі (рис. 4.3.а).

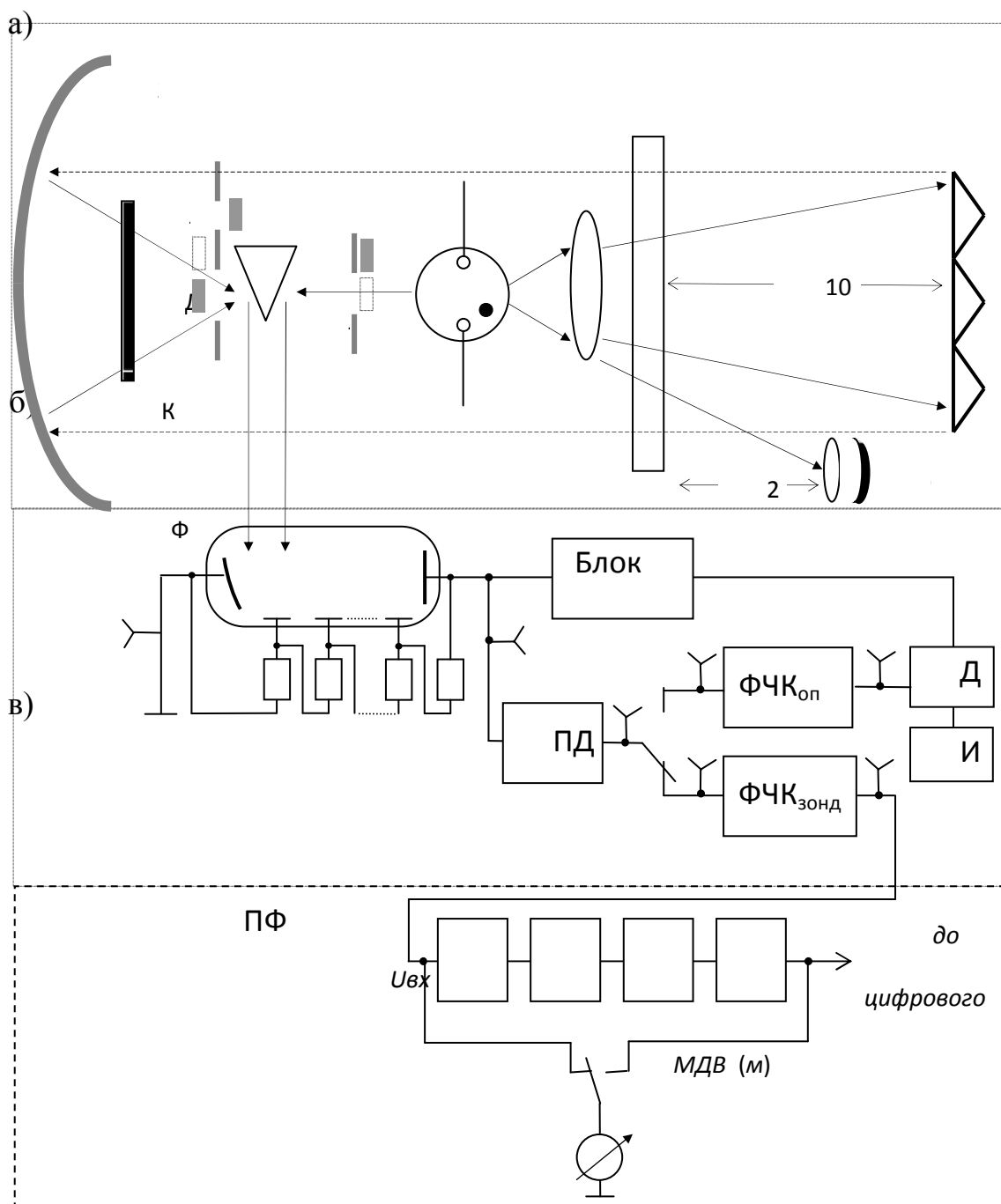


Рис. 4.3 - Схема імпульсного фотометра ФІ-1

а – Оптична схема ФІ-1: **ПГЛ** – імпульсна газорозрядна лампа; **ОБ** – об'єктив; **ЗС** – захисне скло; **ОБ**, **ОД** – відбивачі (ближній і далекий); **З** – сферичне дзеркало; **Д<sub>1</sub>**, **Д<sub>2</sub>**, **Д<sub>3</sub>** – діафрагми; **ДО<sub>1</sub>**, **ДО<sub>2</sub>** – оптичні комутатори, **Р** – клинчастий розсіювач, **КФ** – коригувальний фільтр; б - блок-схема електричної частини ФІ-1: **ФЭУ** – фотоелектронний умножитель; **ПД** – піковий детектор; **ДО** – електронний комутатор; **ФЧК<sub>зонд</sub>**, **ФЧК<sub>оп</sub>** – фільтри частоти комутації (зондувальний і опорний), **ИСН** – джерело стабілізованої напруги, **блок жив**; **БРН** – блок регулювання напруги живлення **ФЭУ**; в - блок-схема ПФ функціонального перетворювача: **ПР** - перетворювач, **СК** - каскади, що погодять, **Ф** – формувач, **БР** - блок релейний

Фільтри частоти комутації являють собою детектуючі ланки з великим значенням постійної часу, набудовані на частоту комутації 0,25 Гц. Епюра напруги, що знімається з виходів **ФЧК**, показана на рис. 4.4 е. Це практично постійна напруга з невеликими коливаннями, обумовленими процесами заряду – розряду детектуючої ємності.

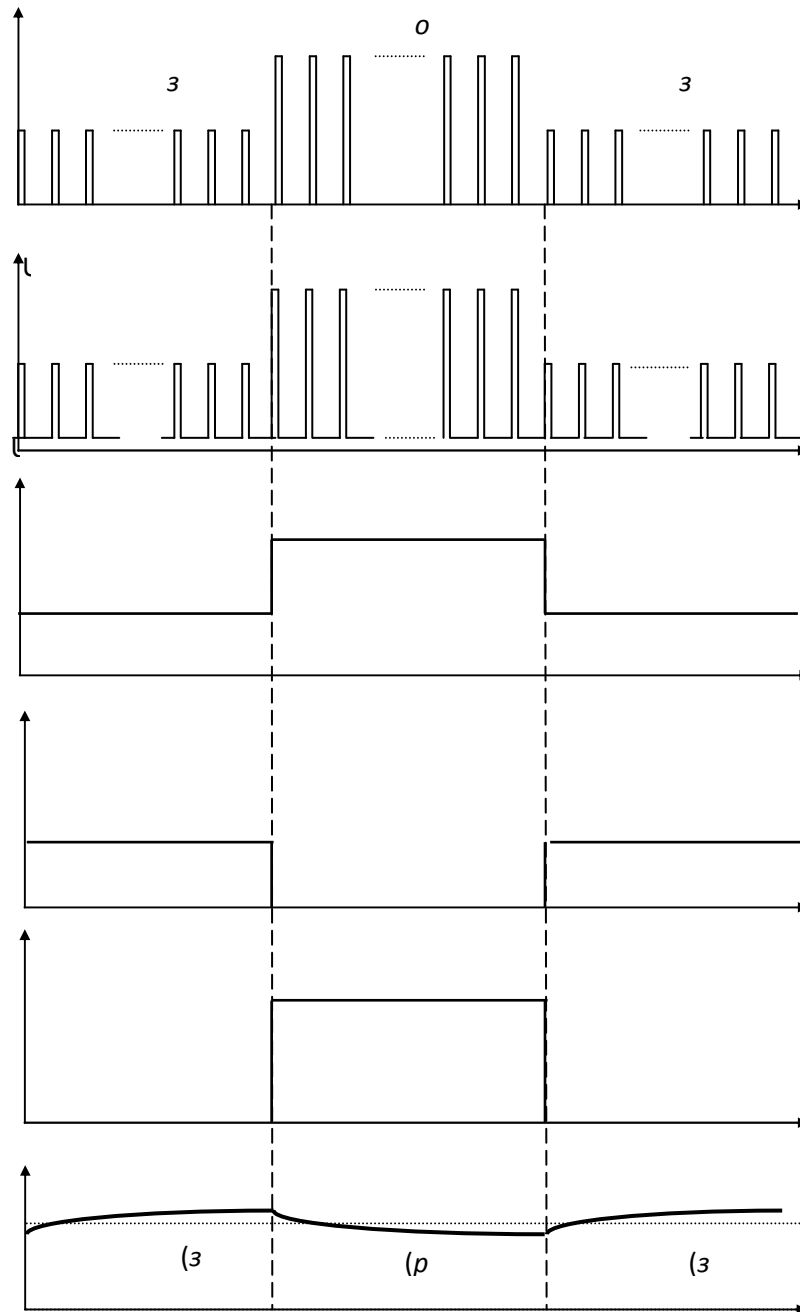


Рис. 4.4 - Епюри напруги в різних точках схеми

Напруга, що знімається з виходу **ФЧК<sub>зонд</sub>**, як уже говорилося, залежить від прозорості атмосфери і від яскравості джерела світла. Це обставина не дозволяє використовувати вихідна напруга **ФЧК<sub>зонд</sub>** для

виміру прозорості атмосфери без введення в прилад пристрою, що знищує таку неоднозначність.

Ідея цього пристрою полягає в наступному. Представимо собі, що напругою живлення **ФЭУ** можна регулювати. Тоді, якщо яскравість лампи слабшає, а отже зменшується амплітуда світлових імпульсів, що приходять на катод **ФЭУ**, будемо збільшувати напругу живлення, що приведе до збільшення амплітуди вихідних електричних імпульсів. Ця операція повинна здійснюватися автоматично.

Опорний канал схеми саме і передбачений для такого автоматичного керування напругою живлення **ФЭУ**. Постійна напруга, що знімається з виходу **ФЧК<sub>оп</sub>**, залежить тільки від яскравості лампи. Подамо його на один із входів диференціального підсилювача (**ДУ**), а на другий його вхід – постійна напруга від джерела стабілізованої напруги (**ДСН**).

Диференціальний підсилювач підсилює різницю між ними. Ця різниця може мати різний знак у залежності від того, яка з напруг більше. Якщо напруги на обох входах рівні, то на виході **ДУ** буде нуль.

Напруга з **ДУ** керує блоком живлення **ФЭУ**. Блок живлення **ФЭУ** збільшує чи зменшує напругу живлення **ФЭУ** в залежності від знака, що надійшов на його напругу з **ДУ**, тим самим збільшуючи чи зменшуючи амплітуду вихідних імпульсів з навантаження **ФЭУ**. Таке коло негативного зворотного зв'язку приводить до тому, що напруга з виходу **ФЧК<sub>оп</sub>** завжди дорівнює напрузі, що надходить з **ДСН**, а якщо ця рівність порушується, тоді коло зворотного зв'язку через **БЖ – блок живлення, ФЭУ – ФЭУ** – його відновлює. Тим самим, знищується залежність напруги з **ФЧК<sub>зонд</sub>** від яскравості лампи, і тепер ця напруга може служити мірою прозорості атмосфери.

Таким чином, на виході **ФЧК<sub>зонд</sub>** створюється напруга, пропорційне прозорості атмосфери. Для перетворення його в напругу, пропорційна дальності видимості, до складу приладу входить ще один окремий блок - функціональний перетворювач. Його блок-схема зображені на рис. 4.3 в.

Як відомо, ослаблення світлового потоку на довжині шляху  $l$  в атмосфері відбувається за законом Бугера:

$$J = J_0 e^{-\alpha l} \quad (4.1)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт ослаблення,  $l$  – довжина шляху світлового потоку в атмосфері,  $J_0$  – яскравість джерела світла.

Виражаючи звідси  $\frac{J}{J_0}$ , маємо:

$$\frac{J}{J_0} = e^{-\alpha l} = T^l ,$$

де  $T$  – коефіцієнт пропущення шара атмосфери одиничної довжини, тобто

$$T = e^{-\alpha}.$$

Значення МДВ одержимо з рівняння Кошмідера:

$$\text{МДВ} = \frac{\ln \varepsilon}{\ln T} = l \frac{\ln \varepsilon}{\ln \frac{\Phi}{\Phi_0}}$$

де  $\varepsilon$  - поріг контрастної чутливості ока, рівний приблизно 0,03.

Приймаючи значення  $l$  і  $\varepsilon$  постійними, дійдемо висновку, що для перекладу значення напруги  $U$ , пропорційного коефіцієнту  $T$ , у фізичну величину  $F$ , пропорційну МДВ, необхідний здійснити наступне перетворення:

$$F = \frac{A}{\ln U} \quad (4.2)$$

де  $A = \text{const.}$

Перетворювач **П** (рис. 4.3 в) здійснює таке перетворення. Він являє собою мультівібратор з керованою частотою, причому елементом, що задає частоту мультівібратора, є вихідна напруга з **ФЧК**<sub>зонд</sub>. При цьому частота  $F$  мультівібратора зв'язана з напругою  $U$  вираженням (4.2). Подальша задача - вимір частоти - може бути легко вирішена за допомогою стандартних цифрових приладів. Каскади, що **погоджують**, СК необхідні для узгодження вхідного опору формувач з вихідним опором перетворювача.

Формувач **Ф** виконаний за схемою мультівібратора, що чекає, навантаженого на інтегруючу RC-коло. Частота імпульсів на виході мультівібратора, що чекає, дорівнює частоті вихідного імпульсного сигналу з формувача, а їхня амплітуда і тривалість є постійними величинами. Інтегрування такого сигналу перетворить його в постійну напругу, значення якого визначається частотою імпульсів, тобто МДВ. Стрілочний прилад на передній панелі функціонального перетворювача може показувати прозорість атмосфери і метеорологічну дальність видимості. Перемикач розташовується під кришкою, що знаходиться на передній панелі **ПФ**.

### **Правила техніки безпеки й охорони роботи, що необхідні при проведенні лабораторної роботи**

1. Одержати 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 мережі живлення.
5. Установлювати відбивачі дальній і ближній так, щоб виключити влучення прямих сонячних променів у фотометричний блок.
6. Обслуговування відбивачів дальнього і ближнього і їхнє націлювання проводити при обов'язковому відключенні напруги живлення їхніх обігрівачів.

### **Забороняється:**

1. Під час налаштування і регулювання блоків **категорично забороняється** торкатися до всіх струмопровідних проводів та радіоелементів схеми.
2. Експлуатація приладу зі знятим кожухом.
3. Експлуатація приладу без заземлення.
4. Для запобігання удару електричним струмом після відключення приладу заборонений проводити ремонт, чищення й огляд приладу протягом 5 хвилин.

### **Методика виконання 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 одержав незадовільну оцінку з теоретичного матеріалу, то до виконання лабораторної роботи він не допускається.
4. Кожен студент проводить вимірювання метеорологічної дальності видимості індивідуально.

### **Підготовка ФІ-1 до роботи**

1. Розставте і з'єднаєте для перевірки прилади і блоки БФ, ПФ, БР, ОЦ, ЩР, Т8 відповідно до схеми (рис.4.1) у приміщенні, де будуть експлуатуватися ПФ, БР і ОЦ, для чого під'єднайте:
  - кабель № 1 до стабілізатора (до клем стабілізатора 1 і 5 приєднаєте 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 Х1 БФ і Х5 ЩР;

- кабель № 3 до роз'єму X5 БФ, а його кінці з наконечниками - до клем розподільної коробки лінії зв'язку; лінію зв'язку забезпечує споживач;

- кабель № 5 - до роз'єму X2 ПФ, а його кінці з наконечниками до клем розподільної коробки лінії зв'язку разом з наконечниками кабелю №3, з огляду на номери наконечників і номери ліній;

- кабель №6 - до роз'єму XI ПФ;

- кабель №8 - до клем XT2 -XT4 ПФ і до клем „Вход 1” і “Вход 2” ОД;

- 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 “сеть” ОЦ;

- кабель № 13 - до клем 6 і 13 БР і до клем XT3 і XT2 ПФ.

2. Поставте тумблери включення мережі на ЩР, ПФ, БР у положення „Выкл.”

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

4. Підключите кабелі живлення ЩР, ПФ, ОЦ (№№ 11, 6, 10, 12) до мережі 220 В, 50 Гц. Вигвинтите гвинти задньої панелі БФ.

5. Уключить тумблери “Сеть” на ЩР, а потім на ПФ, поставте тумблер роду робіт ПФ у положення “Ручн.”, а діапазонів - ОД.

### **Методика виконання лабораторної роботи**

1. Ввімкнути прилад у мережу. Для цього поставте тумблер “сеть” на щитку живлення в положення “220 В”. Уключити тумблер “сеть” на панелі ПФ. Переконаєтеся в тім, що напруга надходить на прилад, по запалюванню індикаторної лампи “сеть”. Переключити тумблер “Авт – Ручн” у положення “Ручн”. Переключити тумблер “ОД” у положення “ОБ”, а відчувши характерні клацання комутатора, переведіть його знову в положення “ОД”, при цьому повинні запалюватися відповідні лампочки.

2. Підключити цифровий вольтметр Щ4300 на границі 200В по гніздах XS1 “Корпус” і XS4 “Напряжение опоры” і вимірюйте цю напругу; воно повинно бути в границях  $U_{опор}=120\pm 20В$ . Наявність цієї напруги установленної величини характеризує роботу і здатність джерела і приймача світлового променя, частково, електронної схеми приладу.

3. Надягніть на передню частину фотометричного блоку спеціальний пристрій - оптичний замикач (ОД), що поставляється призмою, що повертає, діафрагмою і щілиною для світлофільтрів. Вимірювальний світловий промінь при цьому не виходить із приладу, а відбивається назад повертає призмою, проходячи через діафрагму й один із



установлених світлофільтрів. Величина відкриття діафрагми регулюється двома гвинтами на С.

4. Підключити цифровий вольтметр Щ4300 на границі 200В к гніздам XS1 “Корпус” і XS2 “Выходное напряжение” не уставляючи світлофільтр, обертайте гвинти керування діафрагмою й установите стрілку вимірювального приладу ПФ на оцінку “100 %”. Таким чином, вимірювальний світловий промінь, що проходить через оптичний замикач, буде імітувати світловий промінь у реальних умовах при 100 % прозорості атмосфери. Зафіксуйте величину вихідної напруги  $U_{вих}$ .

*Увага!* Оскільки період комутації складає 2 секунди, стрілка рухається до положення, що встановлюється, дуже повільно, ривками. Це необхідно враховувати при налаштуванні і регулюванні величини діафрагми повільно, щораз чекаючи, поки стрілка не установиться в новому положенні.

5. Отримайте в лаборанта набір контрольних світлофільтрів. Уставляючи їх по черзі в щілину оптичного замикача (починаючи з найбільш темного) вимірте прозорість кожного з них за стрілкою в приладі ПФ і відповідне кожному з них вихідна напруга  $U_{вих}$ , результати занесіть у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 - Дослідження приладу ФІ-1 з оптичним замикачем ОД

Колір світлофільтра	Показання приладу ПФ по шкалі «Прозорість», %	Вихідна напруга $U_{вих}$ , В	Показання приладу ПФ по шкалі «МДВ», км
Без світлофільтра			
Чорний СФ			
Червоний СФ			
Голубий СФ			
Салатний СФ			

6. Повторіть пункти 3-5 для каналу ближнього відбивача, установивши оптичний замикач ЗО-ОБ; переведіть прилад у режим роботи з ближнім відбивачем, переключивши тумблер блоку ПФ у положення “ОБ”, результати занести в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Дослідження приладу ФІ-1 з оптичним замикачем ОБ

Колір світлофільтра	Показання приладу ПФ по шкалі «Прозорість», %	Вихідна напруга $U_{вих}$ , В	Показання приладу ПФ по шкалі «МДВ», км
Без світлофільтра			
Чорний СФ			
Червоний СФ			
Голубий СФ			
Салатний СФ			

7. Зніміть оптичний замикач ЗО-ОБ; за допомогою оптичного прицілу приведіть прилад ФІ-1 на ближній відбивач, розташований у лабораторії; зображення ОБ повинно знаходитися в четвертому квадранті (рис.4.5.), тобто праворуч унизу. Зафіксуйте показання вимірювального приладу блоку ПФ і цифрового вольтметра, занесіть у таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 - Дослідження приладу ФІ-1 із ближнім відбивачем (ОБ)

Колір світлофільтра	Показання приладу ПФ по шкалі «Прозорість», %	Вихідна напруга $U_{вих}$ , В	Показання приладу ПФ по шкалі «МДВ», км
Без світлофільтра			
Чорний СФ			
Червоний СФ			
Голубий СФ			
Салатний СФ			

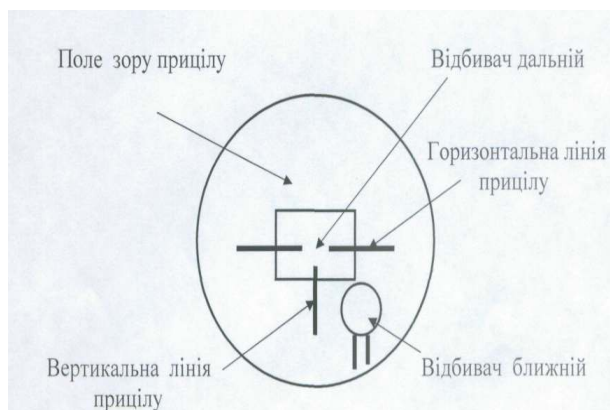


Рис. 4.5 Розташування зображення ОД і ОБ у поле зору оптичного прицілу

8. Уставляючи по черзі світлофільтри в бленду ОБ (починаючи з найбільш темного) вимірюйте прозорість кожного з них за стрілочкою на приладі ПФ і відповідне кожному з них вихідна напруга  $U_{вих}$ , результати занесіть у таблицю.

9. Зробіть висновки.

### Порядок оформлення звіту його представлення і захист

Результати проведеної лабораторної роботи оформляються протоколом. Він повинний 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.

### **Запитання для самоперевірки:**

1. Для якої мети в приладі ФІ-1 вводиться опорний канал?
2. Чому в приладі ФІ-1 використовується два відбивачі? Як здійснюється переключення режимів роботи з одного відбивача на інший?
3. Чому для виміру МДВ у приладі ФІ-1 використовується модульований світловий пучок?
4. Яку роль виконує вимірювальний блок?
5. Припустимо, що в приладі вийшов з ладу ФЧК<sub>оп</sub>. Як зміниться робота приладу? Чи буде він давати показання?
6. Чому дорівнює відносна інструментальна погрішність виміру МДВ?
7. Скільки потрібно часу для підготовки фотометра до роботи?
8. Який закон лежить в основі методу виміру коефіцієнта пропуск шару атмосфери?
9. Яких потрібно дотримувати правил техніки безпеки під час роботи з фотометром.

## **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;
- методика 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 Ч2-9А;
- вимірювати частоту вимірювального генератора при увімкненні в коло опорного опору, датчиків температури і вологості.
- по виміряним частотам визначати температуру і вологість повітря.

**Теоретичні положення** [3,4,6]. 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, 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  $1782 \pm 8$  МГц;
- частота проходження імпульсів (супер частота) 800 кГц;
- чутливість до імпульсів запиту РЛС - 50дБ;
- частоти у МАРЗ-2-1 складає 2080 - 80 Гц;
- діапазон вимірювання температури  $+50^{\circ}\text{C}$ - $80^{\circ}\text{C}$ ;
- вологості 15 - 98 % при температурі не нижче  $-40^{\circ}\text{C}$ ;
- діапазон зміни опорної МАРЗ-2-2 яка відповідає 1080 - 40 Гц;
- тривалість паузи у випромінюванні радіозонда МАРЗ-2-1 складає  $65 \pm 15$  мкс, МАРЗ-2-2 яка відповідає -  $240 \pm 40$  мкс;
- черговість надходження телеметричної інформації *Fon, Ft, Fu* при тривалості циклу 25с;

Живлення здійснюється від батареї 28-МХМ-01, яка видає напругу 28В і 9,5 В.

Вага радіозонда в зборці не більше 430 г, а передавача -310г.

Структурна-схема радіозонду типу МАРЗ-2 представлена на рис.5.1.

Автогенератор СВЧ безперервно утворює електромагнітні коливання несучої частоти (1780 МГц). На ці коливання накладаються майже синусоїдальні коливання з частотою 800 кГц, які утворюються (теж безперервно) генератором 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 %) випроміненим з наступною паузою у випроміненні. Завдяки цьому за часом запізнення між

імпульсом запиту РЛС і відповідною паузою радіозонда можливе вимірювання дальності до радіозонду.

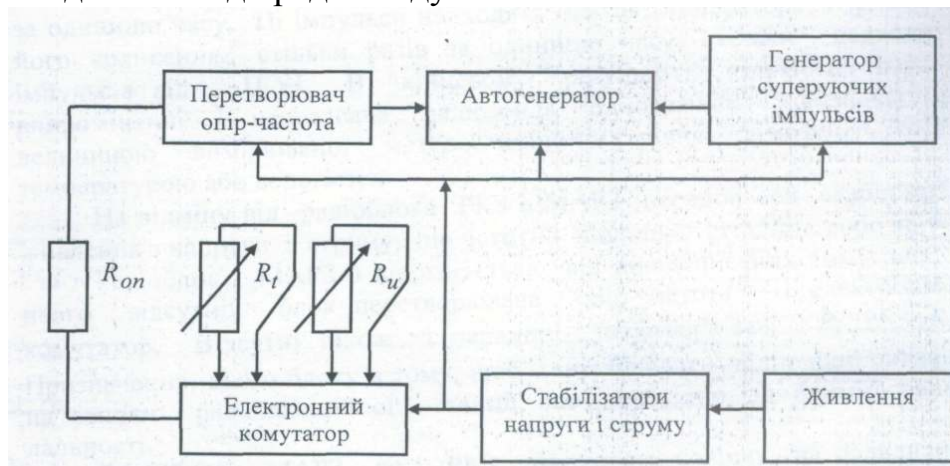


Рис 5.1. Структурная-схема радіозонда типу МАРЗ:  $R_{on}$  - резистор опорної частоти;  $R_t$  - резистор температурної частоти;  $R_u$  - резистор частоти вологості

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

У мікрозондів типу МАРЗ первинні перетворювачі підключені послідовно з 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  $R_{on} + R_u$  утворюється 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 випромінненні передавача радіозонда однозначно визначається величиною вимірюваної метеовеличин на рівні радіозонда, тобто температурою або вологістю.

В МАРЗ передбачена стабілізація живлення з напруги і струму, що істотно підвищує стійкість роботи та точність перетворення метеовеличин.

Радіоблоки МАРЗ проходять перевірку 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.

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 утворює 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 180 мкс. Завдяки цьому АВК-І впевнено розділяє сигнали датчика температури від сигналів датчика вологості. В цьому полягає друга істотна відмінність радіозондів типу МРЗ.

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 супер імпульсів (ГСІ), який утворює прямокутні імпульси з частотою надходження 800 або 600 кГц, що забезпечують роботу НВЧ-АГ в режимі над генерації.

Функціональні вузли радіоблока змонтовані на печатній платі, установленій всередині замкнутого циліндричного стакану, який спільно з випромінюваним вібратором і ємнісною шайбою утворюють антену радіозонда. Модуль НВЧ закріплюється до дна стакану всередині нього, а зовні розташована з'єднана з ним антена. Остання являє собою чверть хвильовий 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 МАРЗ-2А випускаються в двох модифікаціях: з частотою надходження супер імпульсів 800 і 600 кГц. Відповідно вони мають

додаткові позначення ЗА8 і ЗА6. Девіація частоти надходження супер 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 каналних інтервалів”) дорівнює 5,1 -5,4 с, а для другого - 6,7 - 7,8 с. Черговість надходження каналів: вологісний, температурний, опорний.

Діапазон зміни періоду надходження імпульсів вимірювального перетворювача такий:

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

- у вологому 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 вологому каналах -435-765 мкс.

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

Радіозонди МАРЗ-2А поставляються в упаковці по 30 шт. При цьому 15 шт. типу МАРЗ-2А (ЗА6) і 15 шт. типу МРЗ-3А (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. При отриманні обладнання радіозондів перевіряють збереженість і повноту комплектації у відповідності з пакувальним 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 випромінювання;
- чутливість прийомо-передавача до запасного каналу;
- якість відповідного сигналу радіозонда;
- мінімальна частота суперування;
- працездатність датчиків радіозонда;
- працездатність електронного комутатора;
- мінімальні періоди повторення телеметричного сигналу в опорному, температурному і вологісному каналах;
- струми, які проходять по колам 9,5 і 27 В.

Перевірка технічних характеристик МРЗ-3А проводиться за допомогою комплекту приладів КПР-І для перевірки малогабаритних

радіозондів (аналог КВПАСа). Іноді для цього використовують безпосередньо АВК-І.

Живлення радіозондів здійснюється від батареї 28 МХМ-0,1 водоналивного 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, набраних 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, розміщених в одному корпусі. Мінуси обох батарей для зручності з'єднані разом. Виводи оформлені у вигляді спеціальної чотирьох штиркової вилки, де стоїть окремо „мінус”, а потім „9,5 В” і далі два виводи по 28,5 В.

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

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 посуд з водою при температурі 15-35°C.

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

В посуд батарея заглиблюється у вертикальному положенні чотирьох штирковою 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 поліетиленові чохла. В чохлах, в замоченому стані батарея може зберігатися не більше 5 годин. Чохол потрібно зав'язувати ниткою.

Потім приступають до формування батареї, для чого її підключають до формувального 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 колу 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 чохла окремо.



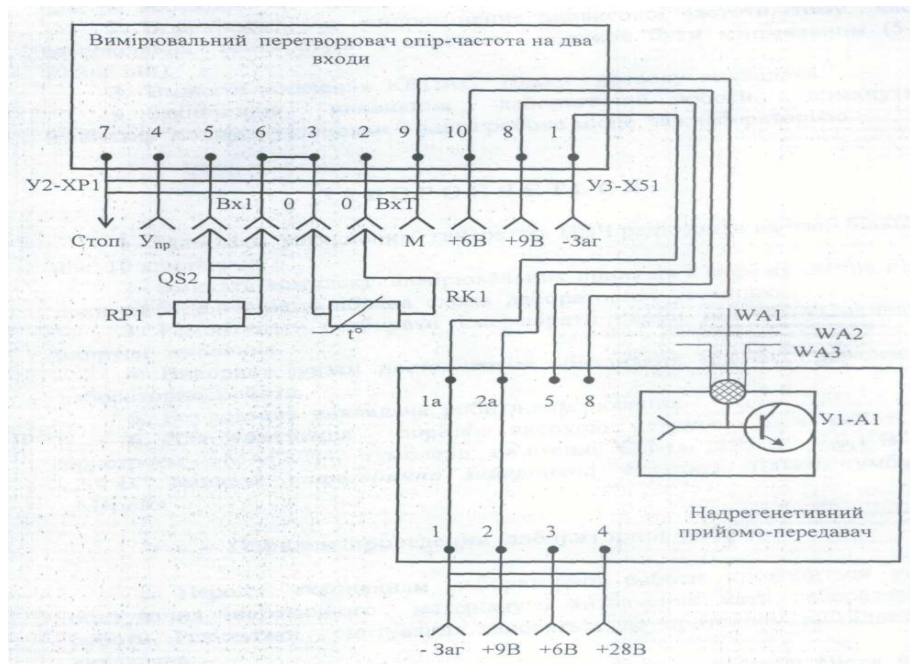


Рис.5.2 - Схема електричних з'єднань: RP1 - датчик вологості; RK1- датчик температури, WA1 - антена; WA2 - шайба ємнісна; WA3-екран антени

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 підготовленого радіоблоку. Батарею укладають в спеціальний відсік при підключенні до радіоблоків типу MAP3-2.

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

1. Радіозонд MAP3-2 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. Застосування MAP3/П4.
6. Застосування MAP3/П5.

### **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 випромінювання 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 ураження високою напругою при роботі з пристроєм МАРЗ/П4, тумблери на стенді СП-Ім 195 В2, 6,1 В2 і „2,4 В” вмикати **категорично заборонено**. Вмикати тільки тумблер „Сеть”.

### **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 індивідуально.

### **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 по колам живлення, потрібно:

- зібрати вимірювальну схему;

- установити для застосування МАРЗ/П4 на штирі роз'єму Ш6 стенду СП-Ім комплекту КВПАС-Ім;
- підключити радіоблок радіозонда до застосування МАРЗ/П4;
- установити радіозонд для застосування МАРЗ/П4 і підключити датчики температури і вологості до гнізд “ $\dot{A}_t$ ” і “ $\dot{A}_u$ ” пристосування;
- підключити штекери пристосування МАРЗ/П4 до джерел живлення Б5-45 згідно 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 колам 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 „Напряжение”, а по мініальному 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 напруги 28 і 9,5 В.

3. Увімкнути джерело живлення Б5-45.

4. Увімкнути захисник 3-2 на КВПАС-Ім, установити перемикач на стенді СП-1 в положення „Ответ” 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.

5. Установити перемикач на стенді СП-1 в положення „Пауза” і при тривалості розгортай осцилографа  $\tau = 0,1$  мс, виміряти тривалість пауз  $\tau_n$  у випроміненні радіозонда. Тривалість пауз повинна бути  $65 \pm 15$  мкс для МАРЗ-2-1 і  $240 \pm 40$  мкс - для МАРЗ-2-2. Результат занести в табл.5.1

6. Установити перемикач на стенді СП-1 і пристрою МАРЗ/П4 в положення „Модуляция”. За допомогою частотоміра ЧЗ-33 виміряти частоту проходження радіоімпульсів, яка повинна бути  $800 \pm 25$  кГц. Результат занести в табл.5.1

7. Вимірити несучу частоту  $F_{i\text{ан}}$  за допомогою частотоміра Ч2-9А в діленнях хвилеміра, перевести отриманий результат за допомогою градуйованих таблиць в мегагерци і занести в табл.5.1.

8. Установити перемикач на стенді СП-1М в положення „Счет”. Перемикач на МАРЗ/П4 в положення „ $\dot{A}_t$ ” Тумблер на МАРЗ/П4 установити в положення „Пуск” і дочекатися появи опорної частоти. При її відсутності протягом 90 с радіозонд бракується.

9. При появі опорної частоти тумблер „Пуск-стоп” установити в положення „Стоп” і відрахувати опорну частоту  $F_{оп}$  Результат занести в табл. 5.1. Порівняти її значення зі значенням  $F_{оп}$ , яке наведене у сертифікаті радіозонда (градуирований графік - СХП). Радіозонд бракується, якщо відраховане значення виходить за межі  $2080 \pm 80$  Гц для радіозонда МАРЗ-2-1 і  $1080 \pm 40$  Гц для радіозонда МАРЗ-2-2.

10. 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. Результат занести в табл. 5.1. Якщо частота  $F_t$  за час 30 с не з'явилася, радіозонд бракується.

11. Поставити перемикач пристосування МАРЗ/П4 в положення, тумблер „Пуск-Стоп” установити в положення „Пуск”. Через 30 с  $F_u$  по табло частотоміра відрахувати частоту вологості  $F_u$ . Результат занести в табл. 5.1. Якщо частота відсутня, радіозонд бракується.

12. По градуированому сертифікату радіозонда по відповідній частоті  $F_t$  і  $F_u$  визначають значення температури і вологості повітря. Результат занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1 Результаты проверки аппаратуры МАРЗ

	тпауз, мкс	Гимп, кГц	Гнес, МГц	Гоп, Гц	Ft, Гц	FU, Гц
Результаты измерений						
Результаты определенные по сертификату					°C	%

### 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) таблицю результатів досліджень;
- 6) висновки.

### Запитання для самоперевірки:

1. З яких вузлів складається радіозонд МАРЗ-2М?

2. Які датчик для вимірювання температури повітря використовуються в радіозонді?
3. Які датчик для вимірювання вологості повітря використовуються в радіозонді?
4. Поясніть роботу радіозонда МАРЗ-2 за функціональною схемою.
5. Які частоти відповідають вимірюванні температури і вологості повітря?
6. Як проводиться підготовка радіозонда до вимірювання метеопараметрів?
7. Який принцип вимірювання температури і вологості повітря за допомогою радіозонда МАРЗ-2.
8. Як проводиться перевірка технічних характеристик радіозонда?
9. Для яких цілей використовується опорна частота?
10. Які прилади використовуються при перевірці радіозонда МАРЗ-2?

## **Лабораторна робота № 6**

### **“Визначення вологості повітря”**

**Мета роботи** – провести вимірювання вологості атмосферного повітря приладами різного типу: стаціонарним психрометром, аспіраційним психрометром і конденсаційним гігрометром, порівняти отримані результати.

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

**знати:**

- одиниці вологості повітря;
- будову стаціонарного психрометра, аспіраційного психрометра і конденсаційного гігрометра;
- обчислення результатів вимірювань вологості повітря;

**вміти:**

- відраховувати температуру повітря по термометру з точністю до десятих часток градуса;
- відраховувати показання психрометрів і гігрометра;
- виявляти грубі прорахунки у вимірюванні.

**Теоретичні положення** [1,4,7]. У навколишній атмосфері завжди знаходиться деяка кількість водяних парів, що надходять в атмосферу при випаровуванні води з поверхні водойм, ґрунту, рослинності. Вміст у

повітрі водяних парів може мінятися в досить широких межах і є однією з основних характеристик погоди.

Абсолютною вологістю повітря  $\alpha$  називається кількість водяних парів (у грамах) в одному кубічному метрі повітря.

Часто замість маси водяних парів при визначеній вологості користаються пружністю водяних парів, що містяться в повітрі (тобто парціальним тиском водяної пари  $e$ ).

Для більш повної характеристики вводиться поняття відносної вологості. Відотною вологістю  $r$  називається відношення пружності водяних парів, що містяться в повітрі, до максимальної пружності водяних парів при даній температурі:

$$r = (e / E) \cdot 100\%,$$

де  $E$  – пружність водяних парів, що насичують простір при даній температурі.

Якщо ізобарично знижувати температуру навколишнього повітря, то його відносна вологість буде підвищуватися, тому що чим нижче температура, тим менше пружність пару, що насичує простір. При визначеній температурі відносна вологість стає рівною 100%, тобто пара – насиченим, і при подальшому зниженні температури частина водяних парів сконденсується. Температура, до якої потрібно остудити повітря при даній абсолютній вологості, щоб водяна пара, що міститься в ньому, стала насиченим, називається точкою роси і позначається –  $t_d$ .

**Методи визначення вологості повітря.** Існує кілька методів визначення абсолютної і відносної вологості повітря. До приладів, за допомогою яких вимірюють вологість, відносяться гігрометри і психметри. Існують гігрометри різних типів.

**У ваговому гігрометрі** використовують властивості деяких речовин (наприклад, хлористого кальцію  $CaCl_2$ ) добре поглинати водяні пари з навколишнього середовища. За допомогою насоса протягують повітря через трубки, наповнені хлористим кальцієм, що зважується до досліду і після його закінчення. Визначивши зміну ваги хлористого кальцію і знаючи обсяг минулого повітря, знаходять абсолютну вологість.

**В електролітичному гігрометрі** використовують властивість деяких плівок змінювати свою електропровідність при зміні відносної вологості повітря. Звичайно застосовується скляна трубка, покрита водяним розчином хлористого літію. Точність такого гігрометра невелика, тому що електропровідність плівки залежить також від температури і, крім того, міняється згодом.

**У волосяному гігрометрі** використовують властивість знежиреного людського волосся подовжуватися при збільшенні відносної вологості і коротшати при її зменшенні. Відносне подовження складає + 2,5% при

зміні відносної вологості від 0% до 100%. Як і електролітичний, цей гігrometer вимагає час від часу повторної градування, тому що властивості волосся згодом міняються.

У **конденсаційному гігметрі** використовують для визначення абсолютної вологості точки роси  $t_d$ . Знижуючи температуру в якому обсязі, спостерігають появу роси на його стінках і по температурі, при якій вона з'являється, визначають абсолютну, а дізнавшись її, і відносну вологість. Ці гігметри найбільш точні і тому одержали широке поширення. Вони є абсолютними і можуть служити для градування електролітичного і волоссяного гігметрів.

Використовуваний у даній роботі конденсаційний гігметр із термоелектричним охолодженням (рис. 6.1) складається з напівпровідникової пластини, що є охолоджуючою поверхнею термоелектричного холодильника. Для реєстрації температури пластини застосовується електронний цифровий термометр.

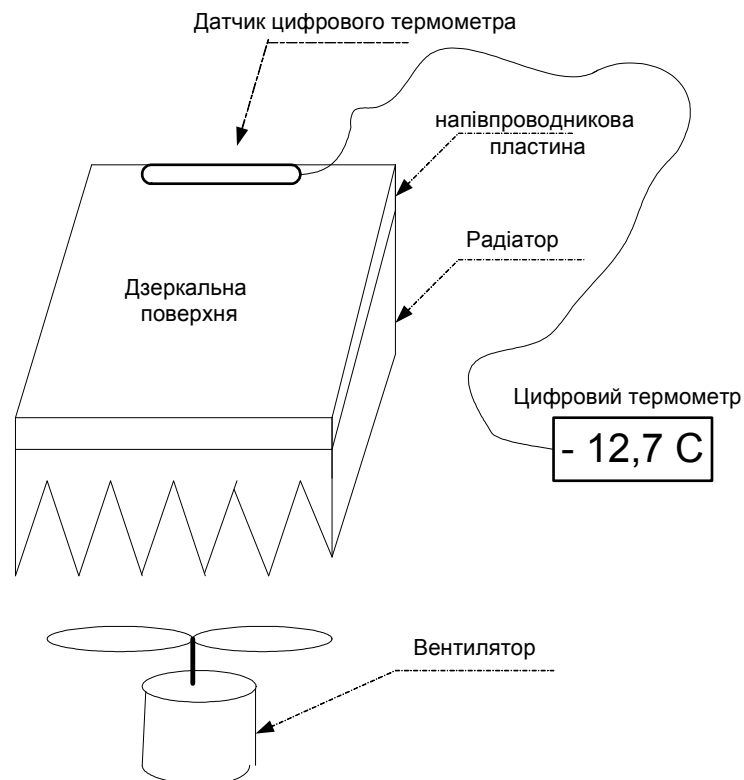


Рис. 6.1 - Конденсаційний гігметр

Верхня поверхня напівпровідникової пластини дзеркальна. При включенні термоелектричного холодильника температура пластини починає знижуватися й у деякий момент вона тьмяніє. Це запотівання свідчить про росу, що випала. Поглинання роси означає, що температура

поверхні пластини відповідає тієї, при якій відносна вологість дорівнює 100% і водяна пара починає конденсуватися.

Точно зареєструвати цей момент важко, тому що на поверхні повинне накопитися кількість роси, достатня для візуальної фіксації запотівання поверхні. Тому для збільшення точності вимірів рекомендується досвід проводити кілька разів, оцінюючи щораз температуру початкового (  $t_1$  ) і явного (  $t_2$  ) запотівань поверхні. Як точку роси беруть  $\tau$  - середнє значення температур  $t_1$  і  $t_2$ .

$$\tau = (t_1 + t_2) / 2$$

Знаючи точку роси, визначають (додаток Б) відповідне значення тиску водяних пар, що *насичують*,  $e$  і далі відносну вологість  $r$ .

**Принцип роботи термоелектричного холодильника.** Основним елементом холодильника є термоелектрична батарея, робота якої заснована на ефекті Пельтьє. Цей ефект полягає в тому, що при пропущенні постійного струму через спаї різнорідних напівпровідників (термопар) одні спаї (“холодні”) прохолоджуються, а інші (“гарячі”) нагріваються. Термоелектрична батарея утворена безліччю таких термопар. “Холодні” спаї термопар, зібрані разом, прохолоджують вимірювальний блок установки. Тепло від “гарячих” спаїв термопар приділяється за допомогою системи охолодження, що вмикає радіатор і вентилятор, що обдуває його.

**УВАГА!**

1. При виконанні роботи не слід наближатися ближче 0,5 м і не рекомендується дихати на поліровану поверхню вимірювального блоку.

2. Термоелектричний холодильник необхідно відключати негайно після визначення температури  $t_2$ .

3. Включення холодильника без включення вентилятора категорично забороняється!

4. У вимірювальній установці і термостаті використовується напруга 220В. Строго дотримуйте при роботі правила техніки електробезпеки.

**У станційному психрометрі** є два однакових термометри, розташованих поруч. Один має сухий резервуар, а іншої – вологий завдяки змоченню дистильованою водою батистовій тряпочці. Кожний з термометрів має шкалу з робочою частиною від  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ціна розподілу шкали  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Якщо змочити батист водою, то при її випарі понизиться температура термометра. Чим менше відносна вологість повітря, тим інтенсивніше випаровування, тим нижче температура вологого термометра. По різниці температур сухого і вологого термометрів можна, використовуючи психрометричні таблиці (додаток Б), визначити відносну вологість повітря.



**В аспіраційном психрометрі Ассмана** (рис. 6.2) прийняті міри для стабілізації умов при вимірюванні. З цією метою є аспіратор годинниковий механізм, що представляє із себе, що приводить у дію вентилятор. З металевих корпусу, у якому розміщений аспіратор виходять дві металеві трубки, що служать направляючими для повітряних потоків і, одночасно захистом для двох однакових ртутних термометрів, встановлених усередині. Один має сухий резервуар, а інший – вологий завдяки змоченою дистильованою водою батистовій тряпочці.

Кожний з термометрів має шкалу з робочою частиною від  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ціна розподілу шкали  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Трубчастий захист резервуарів разом з повітряним прошарком охороняє термометри від нагрівання сонцем, для чого труби нікелюються і ретельно поліруються.

У психрометрі Ассмана обертанням вентилятора в прилад засмоктується повітря, що обтікаючи резервуари термометрів, проходить головним повітряним проводом до аспіатора і викидається останнім назовні через наявні прорізи. Швидкість обертання вентилятора постійна. Тому що швидкість обертання вентилятора залишається увесь час постійною, то залишається постійною і швидкість потоку повітря, отже й аспіраційна постійна  $A = \text{const}$ . Таким чином, вимірюючи температуру обох термометрів, сухого  $t_1$  і змоченого  $t_2$ , можна визначити по номограмі (Додаток Б) величину відносної вологості -  $r_{\text{від}}\%$ .

## Порядок проведення експерименту й обробка результатів

6.1. Визначення відносної вологості за допомогою волосяного гігрометра.

1. Вивчити конструкцію волосяного гігрометра. **Увага!** При вивченні дотримуватися обережності і не доторкатися руками до деталей гігрометра.

2. Зафіксувати результат вимірювання відносної вологості за допомогою волосяного гігрометра –  $r_{\text{від}}\%$ .

6.2. Визначення відносної вологості за допомогою станційного психрометра.

Зафіксувати температуру сухого і вологого термометрів станційного психрометра з точністю до десятих часток градуса. Використовуючи таблицю 6.1 з додатку Б визначити відносну вологість повітря –  $r_{\text{від}}\%$ .

Таблиця 6.1 - Визначення вологості повітря

Температ. сухого термометра, $t_1$ , $^{\circ}\text{C}$	Температ. вологого термометра, $t_2$ , $^{\circ}\text{C}$	Різниця температур. $\Delta t$ , $^{\circ}\text{C}$	Відносна вологість, % $r_{\text{від}}\%$

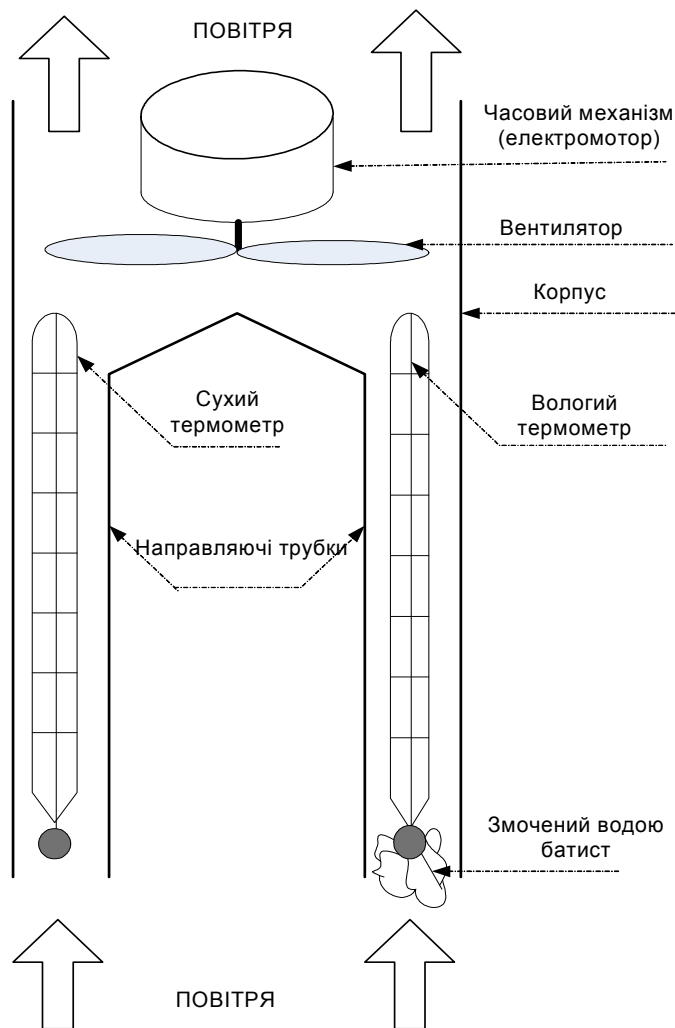


Рис.6.2 - Аспіраційний психрометр Ассмана

### 6.3 Визначення вологості за допомогою конденсаційного гігрометра

1. Ввімкнути вентилятор радіатора холодильника, для чого ввімкнути в мережну розетку адаптер  $\sim 220\text{В}/=12\text{В}$ .

2. Ввімкнути живлення термоелектричного холодильника, для чого:

- установити ручку регулювання вихідної напруги блоку живлення холодильника в крайнє ліве положення;

- перемикач “Охлаждение/Выкл/Подогрев” на вимірювальній установці встановити в положення “Охлаждение”;

- Ввімкнути блок живлення холодильника, тумблер “Сеть” - у верхнє положення;

- почати процес охолодження дзеркала, для чого обертанням ручки регулювання збільшується вихідна напруга блоку живлення холодильника, установивши на амперметрі величину струму  $4,5\text{А}$  та не допускаючи перевищення порога, зазначеного на холодильнику ( $5\text{А}$ );

3. Спостерігаючи за пластиною гігрометра визначити момент випадання роси (помутніння пластини) і зафіксувати початкову  $t_1$  і кінцеву

$t_2$  температури запотівання пластини гігрометра по цифровому термометрі, знайти середнє значення  $\tau$ , занести в табл. 6.2

Таблиця 6.2 - Обчислення відносної вологості

Номер виміру	Температура повітря в приміщенні, $t_{\text{в}}^{\text{пр}} , ^\circ\text{C}$	Середня температура випадання роси, $\tau, ^\circ\text{C}$	Відносна вологість, %
1			
2			
3			
Середнє значення відносної вологості			$r_{\text{в}}^{\text{пр}}$

4.Поставити перемикач “Охлаждение/Выкл/Подогрев” у положення “Подогрев”, дочекатися зникнення роси і перевести перемикач у положення “Выкл” (середнє положення перемикача).

5. Витримати паузу 5 хвилин у плинні якої вентилятор продовжує прохолоджувати радіатор холодильника.

6.Повторити попередні пункти 2-5 три рази.

7. Визначаємо по термометру температуру повітря в приміщенні  $t_{\text{в}}^{\text{пр}}$ .

8. Використовуючи додаток Б визначити значення відносної вологості при температурі в приміщенні  $t_{\text{в}}^{\text{пр}}$ .

9. Визначити середні значення відносної вологості повітря, результати вимірів і обчислень занести в табл. 6.2

6.4. Визначення вологості за допомогою аспіраційного психрометра Ассмана

1. Витягти психрометр із футляра, завести пружину годинного механізму.

2. За допомогою піпетки змочити дистильованою водою батист правого термометра.

3. Ввімкнути вентилятор і після 2 хвилин зафіксувати температуру сухого (лівого)  $t_1$  і вологого (правого)  $t_2$  термометрів. По номограмі додатку Б визначити відносну вологість -  $r_{\text{в}}^{\text{пр}}$ , отримані експериментальні результати занести в табл. 6.3

Таблиця 6.3 - Обчислення відносної вологості

Температ. сухого термометра, $t_1, ^\circ\text{C}$	Температ. вологого термометра, $t_2, ^\circ\text{C}$	Різниця температур. $\Delta t, ^\circ\text{C}$	Відносна вологість, % $r_{\text{в}}^{\text{пр}}$

6.5. Визначення погрішностей вимірювання вологості волосяним гігрометром і станційним психрометром і психрометром Ассмана

У силу використовуваних принципів побудови найбільшу точність і відтворюваність результату дають конденсаційні гігрометри. Волосяний гігрометр підлягає періодичній перевірці і коректуванню оскільки чуттєвий елемент (волосся) старіє, забруднюється і витягується. Точність вимірювання вологості аспіраційним психрометром також підлягає перевірці через можливі зміни величини аспіраційної постійної, наприклад – ослаблення пружини годинного механізму, що приводить до зменшення швидкості повітряного потоку, що обдуває резервуари термометрів.

Приймаючи за еталон величину відносної вологості отриману за допомогою конденсаційного гігрометра  $r_{\text{еііа}}$  знайдемо абсолютну і відносні погрішності волосяного гігрометра і аспіраційного психрометра по формулах:

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{аіе}} &= r_{\text{еііа}} - r_{\text{аіе}}; \\ \Delta_{\text{інедд}} &= r_{\text{еііа}} - r_{\text{інедд}}; \\ \Delta_{\text{ан³д}} &= r_{\text{еііа}} - r_{\text{ан³д}},\end{aligned}$$

відповідно. А знайшовши відношення абсолютної погрішності до еталонного значення – визначимо відносну погрішність для кожного виду приладів:

для волосяного гігрометра  $\delta_{\text{аіе}} = (\Delta_{\text{аіе}} / r_{\text{еііа}}) 100\%$ ;

для станційного психрометра  $\Delta_{\text{інедд}} = r_{\text{еііа}} - r_{\text{інедд}}$ ;

для аспіраційного психрометра  $\delta_{\text{ан³д}} = (\Delta_{\text{ан³д}} / r_{\text{еііа}}) 100\%$ .

Порівняйте отримані результати і зробіть висновок.

### **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) таблиці результатів досліджень;
- 6) висновки.

### Запитання для самоперевірки:

1. Назвіть основні параметри, що визначають стан вологого повітря.
2. Дайте визначення абсолютної вологості повітря.
3. Дайте визначення відносної вологості повітря.
4. Якими методами визначається вологість повітря?
5. Опишіть будову різних гігрометрів.
6. Опишіть будову різних психрометрів.
7. Які погрішності впливають на точність вимірювання вологості повітря?

### Лабораторна робота №7

#### “Вимірювання природного фону радіації та рівня радіації об'єктів”

**Мета роботи:** ознайомитися з приладами радіаційної розвідки, дію яких засновано на іонізаційному методі, і з методами контролю забруднення поверхонь, а також набути навички в роботі з ними.

**знати:**

- одиниці рівня радіації і доза радіоактивного зараження;
- будову лічильника Гейгера і принцип дії приладів радіаційної розвідки;
- обчислення результатів вимірювання рівня радіації;

**вміти:**

- виміряти рівень фонові радіації і радіаційного випромінювання об'єктів;
- виявляти грубі прорахунки у вимірюванні.

**Теоретичні положення** [1,2,4,7]. Природною радіоактивністю називається здатність деяких ядер мимовільно перетворюватися в інші ядра з випускненням деяких видів випромінювань. Ці види в процесі вивчення явища були названі:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  - випромінюванням.

Згодом було показано, що  $\alpha$  - випромінювання являє собою потік ядер гелію ( ${}^4_2\text{He}$ ), тобто потік часток, що мають заряд  $+2e$  і масу  $8m_e \cdot 10^{-3}$ ;  $\beta$  - випромінювання — потік електронів чи позитронів;  $\gamma$  - випромінювання це короткохвильове ( $\lambda < 10^{-12}\text{м}$ ) електромагнітне випромінювання, що володіє високою проникаючою здатністю. У силу короткохвильової природи  $\gamma$  - випромінювання слабке виявляє хвильові властивості. Тут на перший план виступають корпускулярні властивості і тому  $\gamma$  - випромінювання розглядають як потік часток —  $\gamma$  -квантів. При розпаді різних ядер  $\gamma$  - кванти можуть мати енергію від 10 кЕВ до 5 МєВ ( $1\text{ев} =$

$1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж). Проходячи через речовину,  $\gamma$ -кванти можуть взаємодіяти як з електронними оболонками атомів, так і з ядрами. Володіючи нульовою масою спокою,  $\gamma$ -кванти не можуть сповільнюватися, а можуть тільки розсіюватися. Основними процесами взаємодії  $\gamma$  - випромінювання з речовиною є комптоновське розсіювання й утворення електрон-позитронних пар.

При комптоновському розсіюванні  $\gamma$  - кванти передають частину своєї енергії електронам. Випущені (звільнені) при цих процесах електрони, володіючи досить високою енергією, теж можуть служити іонізуючим фактором, причому їхні енергії може виявитися досить для іонізації не одного, а декількох атомів.

Вплив  $\gamma$  - випромінювання на речовину характеризується дозою іонізуючого випромінювання. Розрізняються:

а) поглинена доза випромінювання – фізична величина, рівна відношенню поглиненої енергії випромінювання до маси речовини, що опромінюється. Одиниця виміру грій (Гр),  $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ .

б) експозиційна (польова еквівалентна) доза випромінювання – фізична величина, рівна відношенню суми електричних зарядів всіх іонів одного знака, створених електронами, звільненими в опромінену повітря (за умови повного використання іонізуючої здатності електронів) до маси цього повітря. Одиницею виміру експозиційної дози випромінювання є Кл/кг. Несистемною одиницею є рентген ( $1 \text{ Р} = 2,56 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ ).

в) біологічна доза – величина, що визначає вплив випромінювання на живий організм. Одиниця виміру біологічної дози – біологічний еквівалент рентгена (бер).  $1 \text{ бер}$  – доза будь-якого виду іонізуючого випромінювання, що робить таку ж біологічну дію як і доза рентгенівського  $\gamma$  - випромінювання в  $1 \text{ Р}$  ( $1 \text{ бер} = 10^{-2} \text{ Дж/кг}$ ).

У даній роботі проводиться вимір потужності експозиційної (польовий еквівалентний) дози  $\gamma$  - випромінювання. Потужність дози випромінювання – фізична величина рівна відношенню дози випромінювання до часу опромінення. Потужність експозиційної дози випромінювання вимірюється в Р/год частіше в дольних одиницях мкР/год ( $1 \text{ мкР/год} = 10^{-6} \text{ Р/ч}$ ).

Крім природної радіоактивності в даний час існує можливість підвищення радіаційного фону в наслідку діяльності людини (техногенні катастрофи, бойові дії з застосуванням радіаційних матеріалів і т.п.). Тому на метеостанціях організуємося і проводиться постійне спостереження за рівнем радіаційного фону з метою одержання даних для оцінки ступеня радіаційного зараження місцевості, ураження людей, визначення необхідності надання медичної допомоги.

Не можна виключати можливість забруднення робочих поверхонь, шкірних покривів, одягу, місцевості і будівель, що може привести до зовнішнього опромінення персоналу. Але це може виявитися потенційним

джерелом внутрішнього опромінення. Проникнення радіоактивних речовин (РР) усередину організму може відбутися разом з пилом чи аерозолі. РР можуть проникнути в усередину організму також внаслідок усмоктування через забруднену шкіру чи попадати через рот із забруднених рук; з їжею, рідиною, при палінні.

Величину внутрішнього опромінення визначити дуже важко, тому що вона залежить від багатьох факторів, наприклад, усмоктування РВ через шкіру залежать від стану шкіри даного індивідуума, фізико-хімічних властивостей речовин, що знаходяться на шкірі, вологості і температури повітря в приміщенні, характеру виконуваної роботи й ін.

Припустимі рівні забруднення поверхонь об'єктів установлюються для найбільш сприятливих умов проникнення РР, при цьому враховується коефіцієнт безпеки, дотримання санітарних правил, виходячи з досвіду роботи з радіоактивними матеріалами, ефективності дезактиваційних і миючих засобів.

У даній роботі використовуються прилади ДП-5В і ДП-24. Прилад ДП-5В, призначений для контролю радіаційної обстановки на місцевості й у побуті. Прилад виконує функції радіометра і забезпечує можливість виміру:

- потужності польової еквівалентної дози гамма-випромінювання;
- щільності потоку бета-випромінювання з поверхні.

В основі принципу дії приладу лежить явище іонізації газу під дією радіоактивного випромінювання. Основною частиною приладу є лічильник Гейгера (рис. 7.1) . Він представляє із себе металеву тонкостінну трубку яка служить катодом. Усередині натягнутий тонкий металевий дріт, що служить анодом. Трубка заповнена інертним газом (аргон, неон) під невеликим тиском. Для роботи лічильника потрібно досить висока напруга (порядку 350-400В). Квант  $\gamma$  – випромінювання потрапляючи на датчик вибиває з атомів матеріалу стінки вторинні електрони. Ці електрони потрапляють під дією що прискорює поле і збільшують свою енергію, що стає достатньою для лавинної іонізації молекул газу. Аніони, що утворилися, спрямовуються до катода, а електрони - до анода, чим і обумовлюється імпульс струму, що протікає в зовнішньому колі. Тривалість імпульсу струму порядку  $10^{-4}$  с.

Спадання напруги, що знімається з резистора навантаження використовується для індикації – візуальної і звукової. Візуальна індикація здійснюється стрілочним індикатором на який подається інтегрований (накопичений) сигнал з резистора навантаження. Звуковий сигнал прослуховується в вигляді коротких щигликів у головних телефонах, частота проходження яких пропорційна інтенсивності радіаційного випромінювання.

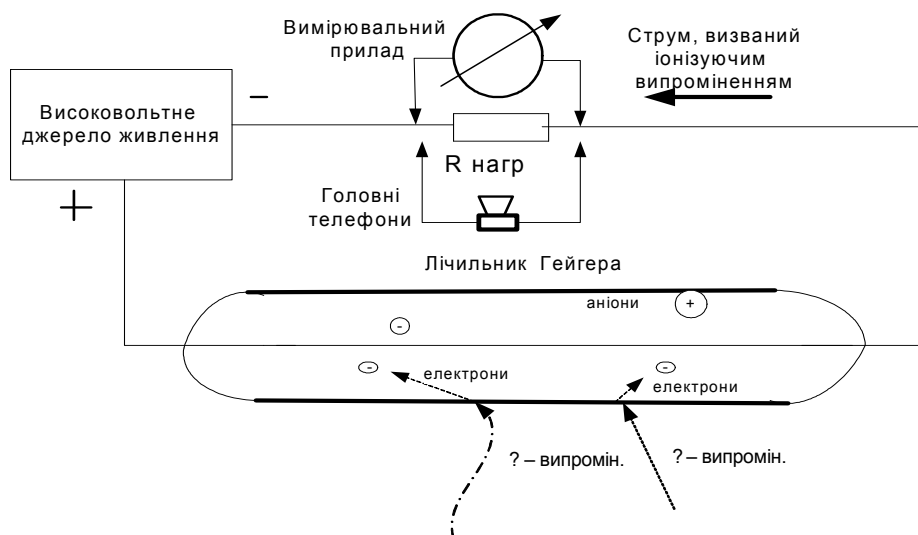


Рис. 7.1 - Структурна схема лічильника Гейгера

Взаємодія іонізуючого випромінювання з вимірювальним приладом наносять стохастичним (випадковий) характер, тому при малих значеннях потужності дози (на рівні природного фону від 5 до 60 мкР/ч) може спостерігатися значний розкид у показаннях приладу.

Систематична погрішність приладу складає  $\epsilon_{\text{сист}} = 1$  мкР/ч.

### Опис приладів, використовуваних у роботі

Радіометр-рентгенометр ДП-5В призначений для виявлення і виміру рівнів радіації на зараженій місцевості - рівнів гамма-випромінювання і виявлення бета-випромінювання. Діапазон вимірів від 0,05 мр/год до 200 Р/год розбитий на шість піддіапазонів (табл.7.1) у залежності від положення перемикача режиму роботи (ПРР)

Таблиця 7.1- Піддіапазони приладу ДП-5В

Положення ПРР	Діапазон	Шкала	Межі вимірювання
1	200	0 - 200	5 -200 Р/ч
2	x 1000	0 - 5	0,5 – 5 Р/ч
3	x 100	0 - 5	50 – 500 мР/ч
4	x 10	0 - 5	5 – 50 мР/ч
5	x 1	0 - 5	0,5 – 5 мР/ч
6	x 0,1	0 - 5	0,05 – 0,5 мР/ч

Виміри приладом можна робити в межах температур – 40°C до + 50°C по гамма-випромінюванню і від - 50°C до + 50°C по бета-випромінюванню.



Прилад не має “зворотного” ходу стрілки мікроамперметра при перевантажувальних опроміненнях до 300 р/ч на 1 - 3 піддіапазонах і до 1 р/ч на 4-6 піддіапазонах, тому обнуління показань здійснюється за допомогою кнопки “Сброс”.

Електроживлення приладу здійснюється від двох елементів А336, що забезпечують безупинну роботу протягом 40 годин. Третій елемент А336 використовується для забезпечення підсвічування шкали. Прилад укомплектований колодкою живлення, що забезпечує підключення відповідної модифікації приладу до джерела постійного струму напругою 3, 6, 12 або 24 вольти.

Дозиметр ДП-24 призначений для реєстрації експозиційної (накопиченої) дози, отриманої індивідуюмом під час перебування на РЗ місцевості в приміщенні. Діапазон вимірів 0 – 50 Р. У комплект приладу входять:

- індивідуальні датчики ДП-50 – п'ять штук;
- зарядна станція;
- укладальна шухляда.

Індивідуальний датчик ДП-50 представляє із себе металеву трубку усередині якої установлений конденсатор, що заряджається від зарядної станції до напруги порядку 300В. Під дією радіаційного випромінювання конденсатор заряджається. Розряд відбувається тим швидше, чим вище рівень радіації. Ємність конденсатора підібрана так, що для повного його розряду накопичена доза повинна складати 50Р. Ступінь розряду індикуюється за допомогою стрілочки, що вказує отриману експозиційну дозу. Для спостереження за стрілочкою у торці трубки є діоптричний окуляр. Трубка має затиск (типу авторучки) для постійного носіння дозиметра в кишені.

Зарядна станція представляє із себе перетворювач постійного струму. Джерелом енергії служать два сухих елементи які забезпечують живлення постійним струмом напругою 3,6 В. Транзисторний перетворювач типу постійний – перемінний – трансформація – випрямлення дозволяє одержати постійний струм напругою 300 В, що і використовується для заряджування конденсаторів датчиків ДП-50.

### **Методика виконання лабораторної роботи**

Вимоги заходів безпеки при виконанні роботи:

- при виконанні роботи керуватися правилами техніки безпеки в лабораторії;
- до початку виконання роботи вивчити пристрій, експлуатацію і підготовку до роботи приладів, використовуваних у лабораторній роботі;

- при роботі з джерелами іонізуючих випромінювань дозволяється звільняти їх від запобіжних екранів тільки на час виконання виміру, пам'ятаючи про шкідливість впливу їхнього випромінювання;

- не залишати прилади включеними під час перерв у роботі, тому що це приводить до витрати ресурсів джерел живлення;

- оберегати прилад від поштовхів, ударів, падінь, при перенесенні використовувати його укладальна шухляда;

- при виявленні несправностей або сумніві в працездатності зібраних схем звертатися до викладача чи лаборанта.

Підготовка приладу ДП-5В до роботи містить у собі:

- відкрити кришку футляра, зробити зовнішній огляд приладу;

- перемикач режиму роботи повинний стояти в положенні “Виключено”, для чого ручка повинна бути повернена проти ходу годинникової стрілки до упора (не застосовувати надмірних зусиль);

- перевірити установку стрілки мікроамперметра на нуль (механічний нуль приладу встановлюється за допомогою коректора, розміщеного під гвинтом, що забезпечує герметичність приладу);

Підключити, дотримуючи полярності, кабель живлення приладу до джерела постійного струму напругою 3,5 В.

Включення приладу ДП-5В:

- забезпечити стійке положення приладу при відкритій кришці футляра;

- підключити головні телефони (навушники);

- кришка-екран на щупі поставити в положення “К”;

- уключити прилад, для чого перемикач режиму роботи перевести в положення “Δ”;

- переконатися, що стрілка приладу встановлюється на позначений сектор;

- якщо цього зробити не вдається, тоді перевірити справність джерела живлення.

- установити кришка-екран зонда в положення “Б” (вікно зонда відкрите) і правильно розмістити зонд над контрольним джерелом;

- перемикач режиму роботи провести по всім піддіапазонами, при цьому на 1 - 3 піддіапазонах стрілка приладу практично не відхиляється; на 4 піддіапазоні (“x10”) показання приладу повинне бути в межах 12-40 мілірентген/година, а на 5 і 6 піддіапазонах стрілка повинна “зашкалити”, що вказує на відсутність зворотного ходу її при “переопроміненні”, зареєструвати результат виміру;

- закрити контрольне джерело кришкою;

- установити кришка-екран зонда в положення “Г”, укласти зонд зі сполучним кабелем у спеціальний відсік футляра і закріпити його там.

Прилад готовий до роботи в будь-якому штатному режимі.

Замір фонового рівня радіації:

- установити піддіапазон вимірів у залежності від очікуваної потужності дози, кришка футляра закрита, зонд у відсіку футляра, кришка-екран зонда в положенні “Г”, головні телефони підключені;

- прилад розмістити на висоті 0,7 - 1,0 м від поверхні землі, використовуючи переносні ремені приладу;

- при русі по вказаному викладачем маршруту зробити вимір рівнів радіації шляхом регулярного зняття відліків;

Замір радіоактивної зараженості об'єктів (шкірних покривів, одягу, техніки, продуктів, рідин, фуражу):

- визначити величину гамма-фону навколишнього простору (до приміщення на це місце чи об'єкт), як зазначено в попередньому пункті;

- повторити вимір, піднести зонд до поверхні об'єкта на відстань 2 -3 см, тобто величину РЗ об'єкта в сумі з гамма-фоном місцевості;

- зараженість об'єкта визначається різницею зроблених вимірів.

Замір величини бета-випромінювання:

- установити кришка-екран зонда в положення “Г”, а перемикач режиму роботи на відповідний піддіапазон;

- розмістити зонд у 1 - 2 див від поверхні об'єкта і зняти відлік;

- установити кришка-екран зонда в положення “Б” і повторити вимір;

- різниця відліків указує величину бета-випромінювання об'єкта виміру.

Підготовка приладу ДП-24 до роботи містить у собі:

- відкрити кришку укладальної шухляди і витягти зарядну станцію і дозиметри ДП-50;

- зняти показання дозиметрів (накопичену дозу) і занести в таблицю;

- по черзі вставити дозиметри в гніздо зарядної станції, натиснути на трубку й утримувати приблизно 10с у цьому положенні, очікуючи повної зарядки конденсатора;

- переконавшись, що дозиметр приведений у робочий стан – стрілочка знаходиться на нульовій оцінці шкали.

Таблиця 7.2 - Реєстрація накопичених доз

Дата	Накопичена доза (наростаючим числом), Р	Номер дозиметра				
		1	2	3	4	5

### 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) таблицю результатів вимірювань;
- 6) висновки.

### **Запитання для самоперевірки:**

1. Класифікація дозиметричних приладів.
2. Міри безпеки при роботі з джерелами випромінювань.
3. Одиниці виміру радіоактивних випромінювань.
4. Гранично допустимі рівні і ступені радіоактивного зараження об'єктів.

### **Література**

1. Григоров Л.Г. Методы и средства гидрометеороизмерений. Санкт-Петербург РГГМУ, 2008. Электронный вариант gmi.rshu.ru; Grigorov46g@mail.ru.
2. Измеритель мощности дозы (рентгенметр) ДП-5В. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ЕЯ2.807.028 ТО, 1986. - 38с.
3. Качурин Л.Г. Методы зондирования атмосферы.— Л.:Гидрометеоздат, 1985. — 455 с.
4. Корбан В.Х. “Методи гідрометеорологічних вимірювань”. — Одеса”, ТЕС, 2010. - 400 с.
5. Наставление Гидрометеорологическим станциям й постам. - Л.:Гидрометеоздат, вып. IV, ч.Ша, 1976. - 256 с.
6. Павлов Н.Ф. Аэрология, радиометеорология и техника безопасности. — Л.:Гидрометеоздат, 1980. - 430 с.
7. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения. — Л.:Гидрометеоздат, 1978. — 390 с.

## **Додаток А**

Таблиця А1 - 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.А1

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.А1

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.А1

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 А 2 - Приведення показань барометра до температури 0°

Темпе- ратура	Показания 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	0,6	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
6,5	0,5	0,5	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	0,7
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	0,7
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	0,7	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	0,8
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.А2

Темпе- ратура	Показания 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	1,5	1,5	1,5	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. А2

Темпе- ратура	Показания 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	2,5
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. А2

Темпе- ратура	Показания 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	1,7	1,7	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	1,7	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	1,7	1,7	1,8	1,8	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	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	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	2,1	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	2,2	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. А2

Темпе- ратура	Показання барометра, мб																	860
	670	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790	800	810	820	830	
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	2,1
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	2,2
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
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
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	2,4
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
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	2,5	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	2,6
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	2,7
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	2,7	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	2,8
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	2,9
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	2,9	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	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	3,1
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	3,1	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	3,2
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	3,3
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	3,3	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	3,4	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	3,5
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	3,5	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	3,6	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	3,7
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	3,7	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	3,8	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	3,9
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	3,9	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	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	4,1

Продовження табл.А2

Темпе- ратура	Показания 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	2,7	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	2,7	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	3,5	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	4,7	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. А2

Темпе- ратура	Показания 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	2,7	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	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
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	3,0	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	4,1	4,2	4,2
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	4,2	4,3
																			4,2	4,3
																			4,2	4,4



Продовження табл. А2

Темпе- ратура	Показания 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	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	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	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1	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	5,0	5,1	5,1	5,2	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	5,1	5,1	5,2	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. А2

[illegible]

## **Додаток Б**

Таблиця Б1 – Психометрична таблиця для води

		Показання сухого термометра, °C																		
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
		0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Різ- ни- ця по- ка- за- нь су- хо- го і змо- че- но- го те- рмо- мет- рів °C	0,1	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
	0,2	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	99	99	99
	0,3	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	98	95	98	97	98	98	98	98
	0,4	96	96	96	96	96	96	96	96	96	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
	0,5	94	95	95	95	95	95	95	95	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
	0,6	93	93	94	94	94	94	94	95	95	95	95	95	95	95	95	95	96	96	96
	0,7	92	93	93	93	93	93	94	94	94	94	94	94	94	95	94	95	95	95	95
	0,8	91	91	92	92	92	92	93	93	93	93	93	93	94	94	94	94	94	94	94
	0,9	90	90	91	91	91	91	92	92	92	92	93	93	93	93	93	93	93	94	94
	1	89	89	90	90	90	91	91	91	91	91	92	92	92	92	92	93	93	93	93
	1,1	88	88	89	89	89	90	90	90	90	91	91	91	91	91	91	92	92	92	92
	1,2	87	87	88	88	88	89	89	89	90	90	90	90	90	91	91	91	91	91	92
	1,3	86	86	87	87	87	88	88	88	89	89	89	89	90	87	90	90	91	91	91
	1,4	85	85	86	86	87	87	87	88	88	88	88	89	89	89	89	90	90	90	90
	1,5	84	84	85	85	86	86	86	87	87	87	88	88	88	88	88	89	89	89	90
	1,6	83	83	83	84	85	85	85	86	86	87	87	87	87	88	88	88	88	89	89
	1,7	82	82	83	83	84	84	85	85	85	86	86	86	87	87	87	87	88	88	88
	1,8	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	85	86	86	86	86	87	87	87	87
	1,9	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	84	85	85	85	86	86	86	87	87
	2	78	79	80	80	81	81	82	82	83	83	84	84	84	85	85	85	86	86	86
	2,1	77	78	79	79	80	81	81	82	82	82	83	83	84	84	84	85	85	85	85
	2,2	76	77	78	78	79	80	80	81	81	82	82	82	83	83	83	84	84	85	85
	2,3	75	76	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	83	80	83	84	84	84
	2,4	74	75	76	77	77	78	78	79	80	80	81	81	81	82	82	83	83	83	84
	2,5	73	74	75	76	76	77	78	78	79	79	80	80	81	81	81	82	82	83	83
	2,6	72	73	74	75	75	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	82
	2,7	71	72	73	74	75	75	76	77	77	78	78	79	79	80	80	80	81	81	82
	2,8	70	71	72	73	74	74	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81
	2,9	69	70	71	72	73	74	74	75	76	76	76	77	78	78	78	79	79	80	80
	3	68	69	70	71	72	73	73	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80
	3,1	67	68	69	70	71	72	73	73	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79
	3,2	66	67	68	69	70	71	72	72	73	74	74	75	76	76	76	77	77	78	78
	3,3	65	66	67	68	69	70	71	72	72	73	74	74	75	75	76	74	77	77	78
	3,4	64	65	66	67	68	69	70	71	72	72	73	74	74	75	75	76	76	77	77
	3,5	63	64	65	67	67	68	69	70	71	71	72	73	73	74	74	75	76	76	76
	3,6	62	63	65	66	66	68	68	69	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76
	3,7	61	62	64	65	66	67	68	68	69	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75
	3,8	60	62	63	64	65	66	67	68	68	69	70	71	71	72	72	73	74	74	75
	3,9	59	61	62	63	64	65	66	67	68	68	69	70	71	71	72	72	73	73	74

# Продовження табл. Б1

Показання сухого термометра, °С																			
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
4	58	60	61	62	63	64	65	66	67	68	68	69	70	71	71	72	72	73	74
4,1	57	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	68	69	70	70	71	72	72	73
4,2	56	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	69	70	70	71	72	72
4,3	55	57	58	59	61	62	63	64	65	65	66	67	68	68	69	70	68	71	71
4,4	54	56	57	59	60	61	62	63	64	65	66	66	67	68	68	69	70	70	71
4,5	53	55	56	58	59	60	61	62	63	64	65	66	66	67	68	68	69	70	70
4,6	53	54	55	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	66	67	68	68	69	70
4,7	52	53	55	56	57	58	59	61	62	62	63	64	65	66	66	67	68	68	69
4,8	51	52	54	55	56	58	59	60	61	62	63	64	64	65	66	67	67	68	68
4,9	50	51	53	54	55	57	58	59	60	61	62	63	63	64	65	66	67	67	68
5	49	50	52	53	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	64	65	66	67	67
5,1	48	49	51	52	54	55	56	57	59	60	61	61	62	63	64	65	65	66	67
5,2	47	48	50	52	53	54	56	57	58	59	60	61	62	63	63	64	65	65	66
5,3	46	48	49	51	52	54	55	56	57	58	59	60	61	62	62	63	64	63	65
5,4	45	47	48	50	51	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	63	64	65
5,5	44	46	47	49	51	52	53	54	56	57	58	59	60	61	61	62	63	64	64
5,6	43	45	47	48	50	51	52	54	55	56	57	58	59	60	61	62	62	63	64
5,7	42	44	46	47	49	50	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	62	63
5,8	41	43	45	47	48	50	51	52	53	55	56	57	58	59	59	60	61	62	63
5,9	40	42	44	46	47	49	50	51	53	54	55	56	57	58	59	60	60	61	62
6	39	41	43	45	46	48	49	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	61
6,1	38	40	42	44	46	47	49	50	51	52	54	55	56	57	57	58	59	60	61
6,2	38	40	41	43	45	46	48	49	51	52	53	54	55	56	57	58	59	59	60
6,3	37	39	41	42	44	46	47	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	58
6,4	36	38	40	42	43	45	46	48	49	50	52	53	54	55	56	57	58	58	59
6,5	35	37	39	41	42	44	46	47	48	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
6,6	34	36	38	40	42	43	45	46	48	49	50	51	52	54	54	55	56	57	58
6,7	33	35	37	39	41	43	44	46	47	48	50	51	52	53	54	55	56	57	57
6,8	32	34	36	38	40	42	43	45	46	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
6,9	31	33	35	37	39	41	43	44	46	47	48	49	51	52	52	54	55	55	56
7	30	33	35	37	38	40	42	43	45	46	48	49	50	51	52	53	54	55	56
7,1	29	32	34	36	38	39	41	43	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
7,2	28	31	33	35	37	39	40	42	44	45	46	48	49	50	51	52	53	54	55
7,3	28	30	32	34	36	38	40	41	43	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54
7,4	27	29	31	33	35	37	39	41	42	44	45	46	47	49	50	51	52	53	54
7,5	26	28	30	33	35	36	38	40	41	43	44	46	47	48	49	50	51	52	53
7,6	25	27	30	32	34	36	38	39	41	42	44	45	46	47	48	50	51	52	52
7,7	24	27	29	31	33	35	37	38	40	42	43	44	46	47	48	49	50	51	52
7,8	23	26	28	30	32	34	36	38	39	41	42	44	45	46	47	48	49	50	51
7,9	22	25	27	29	32	34	35	37	39	40	42	43	44	46	47	48	49	50	51

Продовження табл. Б1

Показання сухого термометра, °С																				
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
8	21	24	26	29	31	33	35	36	38	40	41	42	44	45	46	47	48	49	50	
8,1	21	23	26	28	30	32	34	36	37	39	40	42	43	44	45	47	48	49	50	
8,2	20	22	25	27	29	31	33	35	37	38	40	41	43	44	45	46	47	48	49	
8,3	19	22	24	26	29	31	33	34	36	38	39	41	42	43	44	46	47	48	49	
8,4	18	21	23	26	28	30	32	34	35	37	39	40	41	43	44	45	46	47	48	
8,5	17	20	22	25	27	29	31	33	35	36	38	39	41	42	43	44	46	47	48	
8,6	16	19	22	24	26	28	30	32	34	36	37	39	40	41	43	44	45	46	47	
8,7	15	18	21	23	26	28	30	32	33	35	37	38	40	41	42	43	45	46	47	
8,8	15	17	20	22	25	27	29	31	33	34	36	38	39	40	42	43	44	45	46	
8,9	14	17	19	22	24	26	28	30	32	34	35	37	38	40	41	42	43	45	46	
9	13	16	18	21	23	26	28	30	31	33	35	36	38	39	40	42	43	44	45	
9,1	12	15	18	20	23	25	27	29	31	33	34	36	37	39	40	41	42	43	45	
9,2	11	14	17	19	22	24	26	28	30	32	34	35	37	38	39	41	42	43	44	
9,3	10	13	16	19	21	23	26	28	29	31	33	35	36	37	39	40	41	42	44	
9,4	10	12	15	18	20	23	25	27	29	31	32	34	36	37	38	40	41	42	43	
9,5	9	12	15	17	20	22	24	26	28	30	32	33	35	36	38	39	40	41	43	
9,6	8	11	14	16	19	21	24	26	28	29	31	33	34	36	37	38	40	41	42	
9,7	7	10	13	16	18	21	23	25	27	29	31	32	34	35	37	38	39	40	42	
9,8	6	9	12	15	17	20	22	24	26	28	30	32	33	35	36	37	39	40	41	
9,9	5	8	11	14	17	19	21	24	26	28	29	31	33	34	35	37	38	39	41	
10	5	8	11	13	16	19	21	23	25	27	29	30	32	34	35	36	38	39	40	

Таблиця Б2 – Визначення відносної вологості по точці роси

Відносна вологість	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Температура повітря[°C]	абсолютна вологість г/м <sup>3</sup> (зверху) точка роси [°C](знизу)									
50	8,3	16,6	24,9	33,2	41,5	49,8	58,1	66,4	74,7	83
	8	19	26	32	36	40	43	45	48	50
45	6,5	13,1	19,6	26,2	32,7	39,3	45,8	52,4	58,9	65,4
	4	15	22	27	32	36	38	41	43	45
40	5,1	10,2	15,3	20,5	25,6	30,7	35,8	40,9	46	51,1
	1	11	18	23	27	30	33	36	38	40
35	4	7,9	11,9	15,8	19,8	23,8	27,7	31,7	35,6	39,6
	-2	8	14	18	21	25	28	31	33	35
30	3	6,1	9,1	12,1	15,2	18,2	21,3	24,3	27,3	30,4
	-6	3	10	14	18	21	24	26	28	30
25	2,3	4,6	6,9	9,2	11,5	13,8	16,1	18,4	20,7	23
	-8	0	5	10	13	16	19	21	23	25
20	1,7	3,5	5,2	6,9	8,7	10,4	12,1	13,8	15,6	17,3
	-12	-4	1	5	9	12	14	16	18	20
15	1,3	2,6	3,9	5,1	6,4	7,7	9	10,3	11,5	12,8
	-16	-7	-3	1	4	7	9	11	13	15
10	0,9	1,9	2,8	3,8	4,7	5,6	6,6	7,5	8,5	9,4
	-19	-11	-7	-3	0	1	4	6	8	10
5	0,7	1,4	2	2,7	3,4	4,1	4,8	5,4	6,1	6,8
	-23	-15	-11	-7	-5	-2	0	2	3	5
0	0,5	1	1,5	1,9	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4	4,8
	-26	-19	-14	-11	-8	-6	-4	-3	-2	0
-5	0,3	0,7	1	1,4	1,7	2,1	2,4	2,7	3,1	3,4
	-29	-22	-18	-15	-13	-11	-8	-7	-6	-5
-10	0,2	0,5	0,7	0,9	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,3
	-34	-26	-22	-19	-17	-15	-13	-11	-11	-10
-15	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1	1,1	1,3	1,5	1,6
	-37	-30	-26	-23	-21	-19	-17	-16	-15	-15
-20	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	-42	-35	-32	-29	-27	-25	-24	-22	-21	-20
-25	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6
	-45	-40	-36	-34	-32	-30	-29	-27	-26	-25

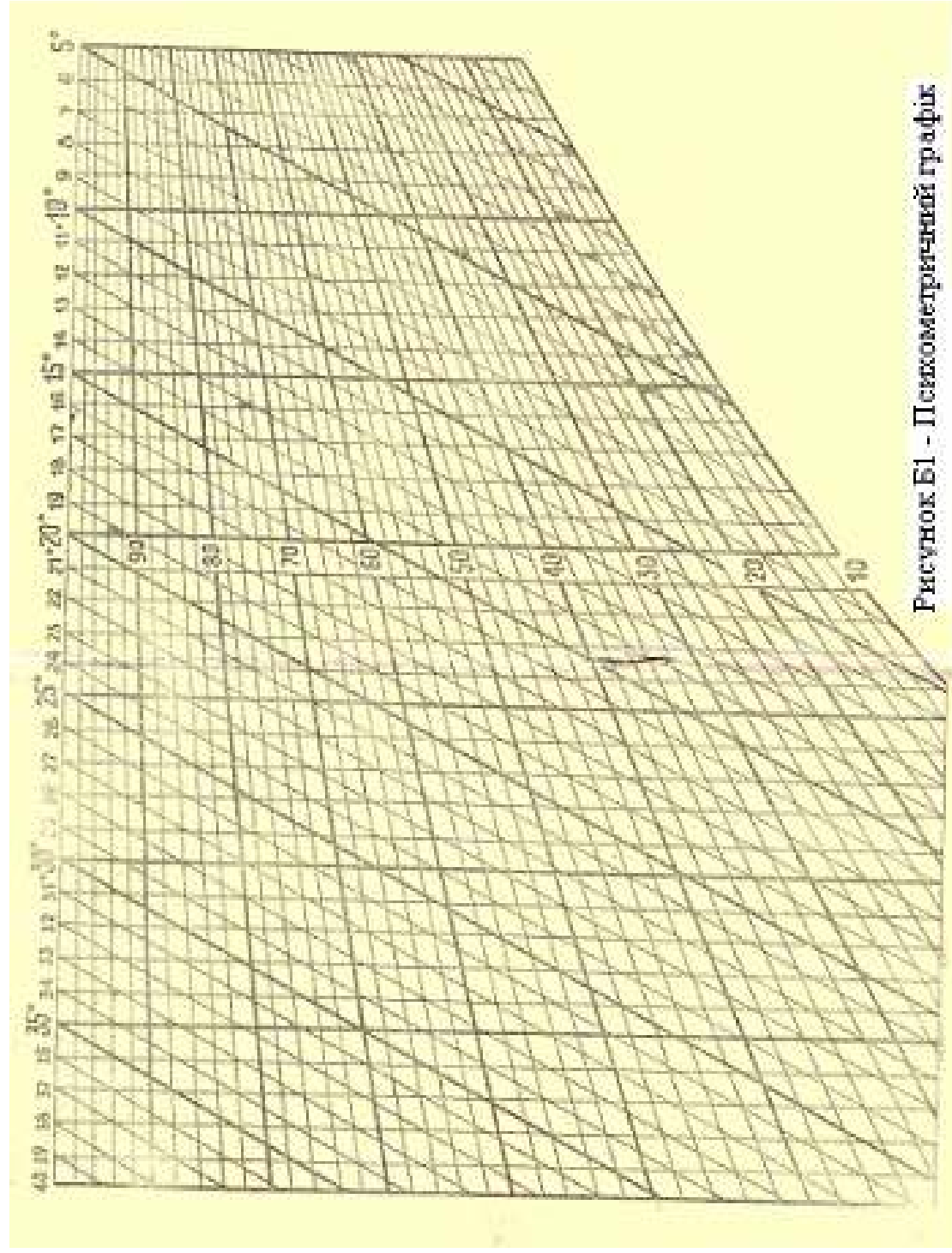


Рисунок Б1 - Психометричний графік