

## Тема 2. Прилади для вимірювання атмосферного тиску

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

### 2.1. Теоретичні відомості.

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

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

В метеорології атмосферний тиск розраховують так:

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

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

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

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

Формула для розрахунку сили в Ньютонах (F):

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

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

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

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

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

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

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

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

$$1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па};$$

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

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2.$$

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

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

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

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

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

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

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

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

ΔP = H/h, де h – баричний ступінь.

Отже:

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

## 2.2. Прилади для вимірювання атмосферного тиску.

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

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

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

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

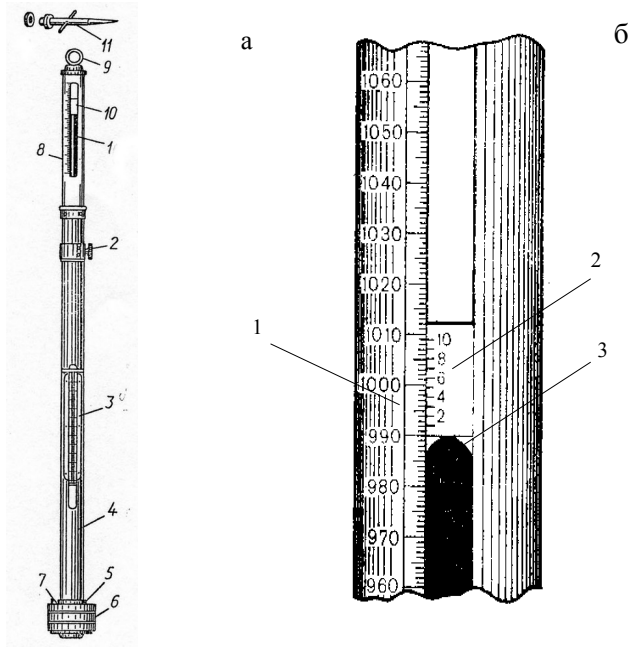


Рис. 2.1. Ртутний чашковий барометр (а): 1 – скляна трубка з ртуттю; 2 – кремальєра<sup>3</sup>; 3 – термометр; 4 – захисна оправа; 5 – гвинт із шкіряною шайбою; 6 – пластмасова чашка; 7 – верхня частина чашки з отвором для сполучення ртуті з повітрям; 8 – шкала з поділками; 9 – кільце для підвішування;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



Рис. 2.2. Барометр-анероїд БАММ-1

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

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

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

Технічні характеристики барометра БАММ-1:

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

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

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

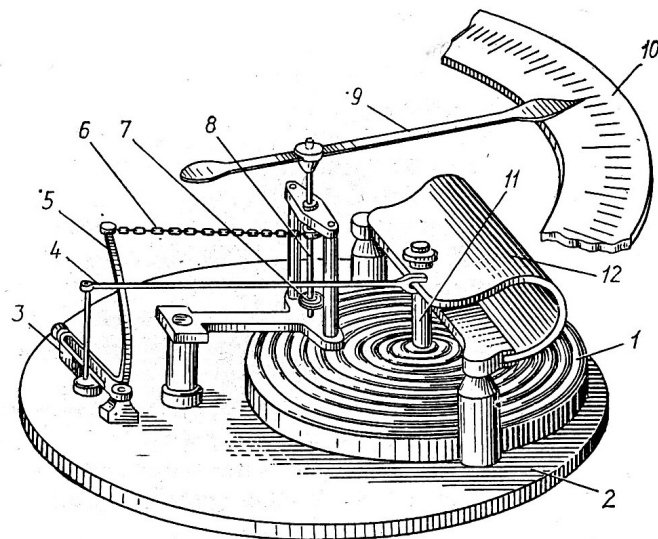


Рис. 2.3. Механізм барометра-анероїда БАММ-1: 1 – анероїдна коробка; 2 – металеве плато; колінчастий вал; 4 – стрижень; 5 – важіль; 6 – ланцюг; 7 – пружина; 8 – вісь; 9 – стрілка; 10 – шкала; 11 – ніжки; 12 – пружина

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Рис. 2.4. Барограф метеорологічний анероїдний М-22А

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

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

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

Технічні характеристики барографа М-22А:

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

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



Рис. 2.5. Вимірювач атмосферного тиску цифровий БАР

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

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

### 2.3. Завдання.

1. Визначити різницю висот за різницею атмосферних тисків.

- ЗВТ та обладнання;
- барометр-анероїд.
- термометр строковий.

Порядок виконання роботи.

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

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

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

Таблиця 2.1.

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

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

### 2.4. Задачі:

1. Виразити в гПа атмосферний тиск за такими даними:

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

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

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

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

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

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

4. На якій глибині тиск становитиме?:

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

Питання для самоконтролю та обговорення.

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