

Тема 1. Прилади для вимірювання характеристик вітру

Мета роботи: ознайомитися з будовою та принципом дії приладів для вимірювання характеристик вітру, навчитися визначати (вимірювати) характеристики вітру та виконати завдання.

1.1. Теоретичні відомості.

Рух повітря щодо земної поверхні, в якому переважає горизонтальна складова називається вітром. Причина виникнення вітру – нерівномірність розподілу атмосферного тиску над поверхнею земної кулі через неоднакове прогрівання різних її ділянок. На метеорологічних станціях спостереження за вітром проводять за його напрямком і швидкістю. Напрямок вітру задається стороною горизонту, звідки дме вітер (румбом), або кутом, утвореним напрямком вітру з меридіаном місця. Під час спостереження за вітром у високих широтах атмосфери напрямок визначається в градусах (від півночі за годинниковою стрілкою), а при спостереженнях на наземних метеорологічних станціях – у румбах горизонту. Швидкість вітру виражається в метрах за секунду (м/с), кілометрах за годину (км/год.) та у вузлах (морських милях за годину). Співвідношення: $1 \text{ м/с} = 3,6 \text{ км/год.}$

$1 \text{ м/с} = 2,24 \text{ миль/год.}$ $1 \text{ км/год.} = 0,62 \text{ миль/год.}$

1.2. Прилади для вимірювання характеристик вітру.

Для вимірювання характеристик вітру (напрямку та швидкості) використовують анемометри, анеморумбометри, анеморумбографи та флюгери. Усі прилади для вимірювання характеристик вітрового режиму умовно поділяють на три групи:

- прилади для вимірювання миттєвої та середньої швидкостей вітру (анемометр індукційний, анемометр чашковий і анемометр крильчастий);
- прилади, що визначають швидкість і напрямок вітру, але при обов'язковій участі спостерігача (флюгер Вільда, вітромір Третьякова);
- прилади для вимірювання напрямку і швидкості вітру в дистанційному режимі (анеморумбометри і анеморумбографи).

Анемометри (від гр. *anemos* – вітер) – це метеорологічні прилади для вимірювання елементів вітру. Повітряні потоки характеризуються швидкістю та напрямком. Анемометрами можна визначити один з цих елементів (зазвичай швидкість) або обидва.



Рис. 1.1. Анемометр ручний

Ручний анемометр МС-13 (рис. 1.1.) призначений для вимірювання середньої швидкості повітряного потоку за певний період часу з допомогою секундоміра на метеорологічних станціях. В метеорології використовується в основному для вимірювань швидкості вітру на відкритих ділянках.

Технічні характеристики приладу:

- діапазон вимірювання середньої швидкості повітряного потоку від 1 до 20 м/сек;
- чутливість не більше 0,8 м/сек;
- межа допустимої похибки не більше $\pm (0,3 + 0,05 V)$ м/с, де V - вимірювана середня швидкість повітряного потоку, м/с;
- умови застосування анемометра: температура повітря від мінус 45 до плюс 50 °С;
- габаритні розміри не більше 170x70x70 мм;
- маса, не більше 0,25 кг.

Анемометр буває двох типів – чашковий і крильчастий. Приймальною частиною анемометра є хрестовина з чотирма порожнистими металевими півкулями (чашковий), або металевими крильцями (крильчастий), що обертаються у горизонтальній площині. Обертання чашок (крилець) передається на лічильник обертів. На анемометрах є три шкали, які поділені відповідно на тисячі, сотні, десятки та одиниці обертів.

1.3. Вимірювання швидкості руху повітря.

Записати початкові покази за шкалами лічильника. Виходять на місце проведення вимірювань, прилад піднімають у витягнутій руці (або закріплюють на жердині), орієнтуючи його в сторону вітру. Через 10–15 с, коли чашки/крильця почнуть обертатися з постійною швидкістю, одночасно вмикають анемометр та секундомір. Через 100 с анемометр вмикають і записують нові показники за шкалами лічильника. Визначають різницю в показах лічильника. Вимірювання повторюють 3 рази. Знаходять суму різниць показів лічильника і ділять її на сумарний час вимірів. Таким чином, дізнаються зміну показу лічильника за одну секунду. Під час замірів площина крильчатки повинна бути перпендикулярною до напрямку повітряного потоку. До кожного приладу додаються графіки для визначення дійсної швидкості руху повітря (рис.1.2).

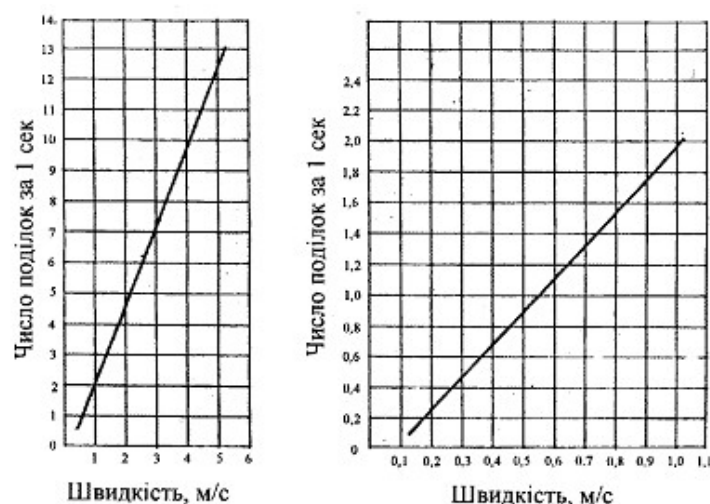


Рис. 1.2. Графіки для визначення дійсної швидкості руху повітря

Швидкість руху повітря знаходять розрахунковим способом користуючись графіками (рис. 1.2). Результати вимірювань та розрахунків вписують у таблицю 1.1.

Таблиця 1.1.

Визначення швидкості руху повітря. Місце, час....., номер анемометра					
№	Показники анемометра			Час вимірювання, с	Швидкість руху повітря, м/с
	початковий	кінцевий	різниця показників		
1					
2					
3					

Анемометр ручний індукційний АРІ-49 призначений для вимірювання усередненого значення швидкості вітру (середнє значення за 2–3 с) в наземних умовах (рис 1.3).

Технічні характеристики приладу:

- діапазон вимірювання швидкості вітру від 2,0 до 30 м/с;
- чутливість не більше 1,5 м/с; ціна поділки шкали 1,0 м/с;
- межа допустимої похибки не більше $\pm 0,5$ м/с.
- анемометр розрахований для роботи в районах з помірним кліматом при температурі від мінус 40 до плюс 45 °С і відносній вологості повітря 80% при температурі 20 °С;
- габаритні розміри не більше: діаметр – 120 мм, висота – 200 мм;
- маса, не більше 0,35 кг.



Рис. 1.3. Анемометр ручний індукційний АРІ-49

Дія анемометра АРІ-49 заснована на вимірюванні кутової швидкості обертання трьохчашкової метеорологічної вертушки методом електричного індукційного тахометра. При користуванні приладом АРІ-49 перерахунки роботи немає потреби, швидкість вітру (м/с) вказано на шкалі анемометра.

Флюгер. Напрямок руху повітряних потоків найчастіше визначається флюгером – платівкою клиноподібної форми з противагою (рис. 1.4.). Основною частиною приладу є флюгарка (рис. 1.4), яка зазвичай складається з двох пластинок, розташованих під кутом 20°.

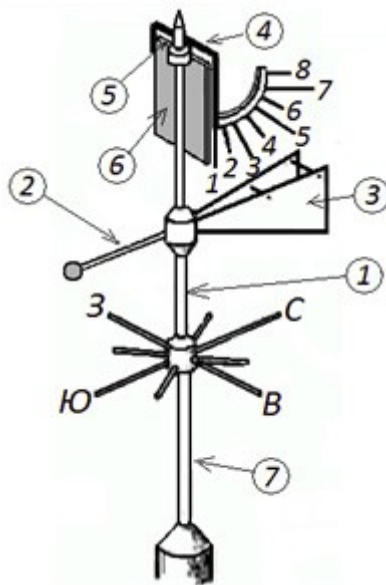


Рис. 1.4. Флюгер Вільда: вертикальна трубка (довжиною 600 мм) із завареним загостреним верхнім кінцем (1); передній горизонтальний стрижень флюгера з кулькою-вантажем противаги (2); крильчатка флюгера (3); верхня рамка (4); горизонтальна вісь шарніра дошки (5); вітровимірвальна дошка (6); нижній нерухомий вертикальний стрижень з укріпленими на ньому покажчиками сторін світу (7): С – північ, Ю – південь, З – захід, В – схід; № 1 - № 8 – штифти показника швидкості вітру

Флюгер Вільда призначений для визначення напрямку та швидкості вітру в стаціонарних умовах. Його встановлюють на висоті 10–12 м від поверхні Землі. Напрямок вітру визначають за положенням флюгарки на вертикальному стержні. Противага флюгарки під дією вітру завжди займає зустрічне положення, а сама флюгарка вказує напрямку вітру. На стержні нижче флюгарки закріплена муфта з восьми штифтами, орієнтованими за сторонами світу, на кінці північного штифта закріплені літери Пн (або N). Для визначення напрямку вітру спостерігач протягом 2 хв. стежить за коливанням флюгарки відносно штифтів, після чого записує її середнє положення. Показник швидкості вітру розташований у верхній частині флюгарки і обертається разом із нею. Це металева пластинка (“дошка”), яка вільно підвішена на горизонтальній осі рамки із сектором, на якому закріплено вісім штифтів, що показують швидкість вітру. “Дошка” орієнтована перпендикулярно напрямку вітру. Чим сильніший вітер, тим на більший кут він відхиляє пластинку від початкового положення. Спостерігаючи протягом 2 хв за коливанням її відносно штифтів на дузі показника, визначають середнє положення, яке потім переводять у метри за секунду (за таблицею, додаток 1). Швидкість вітру до 20 м/с визначають флюгером з легкою “дошкою” (200 грам), а понад 20 м/с – за важкою “дошкою” (800 грам).

Напрямок вітру позначається найменуванням сторін світу, звідки він дме; точки горизонту, звідки дме вітер, називаються румбами; горизонт поділяється на 8 або 16 румбів (рис. 1.5).

Для побудови рози вітрів від початку координат відкладають у масштабі повторюваності вітрів різних напрямків (у відсотках) і кінці цих відрізків з’єднують ламаною лінією. Повторюваність штилів вказують у відсотках у центрі діаграми. Це відсоток усіх випадків штилю по відношенню до усіх строків спостереження.

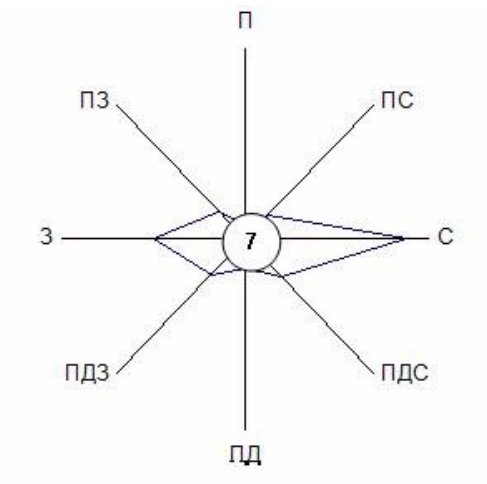


Рис. 1.5. Роза вітрів

Зазвичай враховують панівні (домінуючі) напрямки вітрів у даній місцевості, які визначаються шляхом тривалих (зазвичай протягом року) щодобових спостережень. На основі одержаних даних будується графік (роза вітрів) (рис. 1.5). Роза вітрів — це відсоткове співвідношення за рік (чи інший проміжок часу) повторюваності напрямку вітрів за кожен день за кожним з 8 румбів, а також днів штилю. Напрямок панівних вітрів має важливе гігієнічне значення: їх обов'язково враховують при плануванні будівництва, розміщенні промислових підприємств, спортивних споруд тощо.

Анеморумбометр М-47 призначений для дистанційного вимірювання швидкості і напрямку вітру на відстані від нього до 100 м (рис 1.6).



Рис. 1.6. Анеморумбометр М-47

Принцип дії приладу: використання залежностей між швидкістю вітру і частотою обертання вертушки та між напрямком вітру і вільно орієнтованою флюгаркою датчика

вітру. Швидкість і напрямок вітру перетворюються в електричні сигнали, які відлічують візуально за показами вимірювального пульта. Швидкість вітру від 1,5 до 50 м/с, напрямок – від 0 до 360 град. Живлення від 220 В і батареї 6 В.

Анеморумбограф М-63МР призначений для вимірювання і реєстрації середньої, миттєвої і максимальної швидкостей та напрямку вітру. Він виконаний на базі електронного автоматичного потенціометра КСП-4 (реєструючий пристрій) та анеморумбометра М-63М-1. Принцип його роботи аналогічний принципу роботи анеморумбометра М-63М-1.

Анемометр АСО-3 призначений для вимірювання середньої швидкості направлено повітряного потоку в промислових умовах (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Анемометр АСО-3

Швидкість потоку визначається за градувальним графіком, що додається до анемометра. До анемометра АСО-3 додається два графіки, один з яких застосовується при швидкості направлено потоку до 1 м/с, а другий – при швидкості від 1 до 5 м/с. Ці анемометри є більш чутливими і здатні вимірювати швидкості від 0,1 м/с. Приймальний пристрій має вигляд крильчатки, яка приводиться в рух потоком повітря.

Технічні характеристики приладу:

- діапазон вимірювання середньої швидкості направлено повітряного потоку від 0,3 до 5,0 м/с;
- чутливість, не більше 0,2 м/с;
- межа допустимої похибки, не більше $(0,1 + 0,5 V)$ м/с (V – вимірювана середня швидкість потоку, м/с);
 - час вимірювання – 5 с;
 - час індикації показань – 3 с;
- габаритні розміри зі знятою ручкою, не більше 110x110x105 мм;
- вага, не більше 0,45 кг.

Серед сучасних приладів варто назвати термоанемометри та ультразвукові анемометри. Принцип дії термоанемометрів ґрунтується на реєстрації впливу повітряного потоку на температуру нагрітого провідника або тіла.

Анемометри цього типу чутливі до зміни як швидкості вітру, так і температури. В ультразвукових анемометрах використовують звук (ультразвук), який поширюється швидше у напрямку, в якому дме вітер. Такі прилади можуть вимірювати швидкості вітру до 30 м/с. Точність вимірювання ультразвукових анемометрів залежить від температури

повітря, його вологості та атмосферного тиску, що потребує відповідного калібрування приладів. Крім того, електронне обладнання підвищує вартість приладів цього типу.

Щогла метеорологічна ММ-49. Щогла має “стовбур”, що складається з чотирьох трубчастих металевих секцій, з'єднаних між собою (рис. 1.8). “Стовбур” встановлений на металевій шарнірній підставі і закріплюється у вертикальному положенні тросовими розтяжками, що прикріплені до підстави трьома анкерними плитам. У секціях “ствола” вмонтовані оголовки для кріплення датчиків приладів дистанційної метеорологічної станції типу М-49, анеморумба М-47 та ін. приладів.

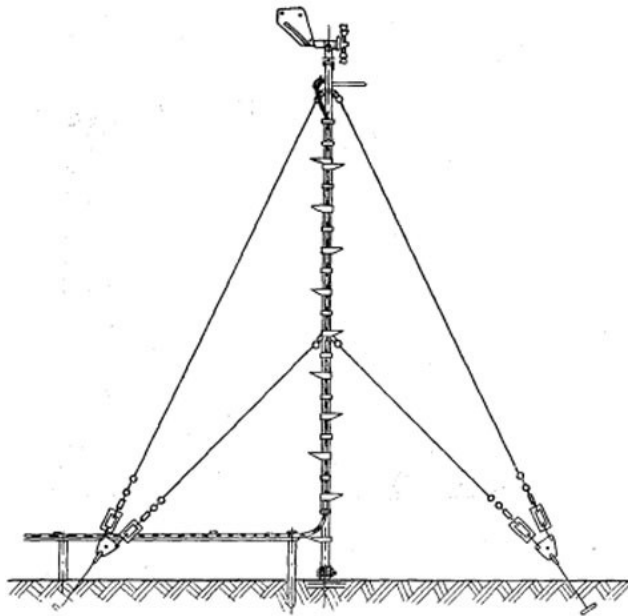


Рис. 1.8. Щогла метеорологічна ММ-49

1.4. Визначення швидкості та напрямку вітру.

Прилади та обладнання.

Анемометр ручний, вентилятор, секундомір (або годинник із секундною стрілкою), довідковий матеріал.

1.5. Завдання.

1. Визначити швидкість повітряного потоку.

Хід роботи

1. Вивчити будову ручного анемометра МС-13.
2. Встановити вентилятор на лабораторному столі біля розетки.
3. Закріпити на горизонтальній рейці анемометр на відстані 100 см від вентилятора.
4. Зробити відлік початкових показів за шкалами анемометра, тобто по шкалі тисяч, сотень, і десятків (великій шкалі). Після всіх відліків отримаємо чотиризначні числа, напр., 6710 або 0344.
5. Увімкнути вентилятор.
6. Після того як вентилятор працюватиме на повну потужність, одночасно увімкнути анемометр і секундомір (або засікти положення секундної стрілки на годиннику).
7. Через 100 секунд вимкнути анемометр, зробити відлік і записати.
8. Повторити вимірювання швидкості вітру на відкритій місцевості.
9. Обчислити швидкість повітряного потоку у приміщенні (аудиторії) та на відкритій місцевості. Одержані дані занести в таблицю за формою:

Таблиця 1.2.

Результати вимірювання швидкості вітру.

Місце проведення вимірювання, дата, час доби

№ приладу	Кількість поділок			Експозиція, с	Кількість поділок за 1 с	Швидкість вітру, м/с
	початкові покази	кінцеві покази	різниця			

2. За даними таблиці 1.3. побудувати розу вітрів та зробити висновок про те, де краще розташовувати промислові підприємства від населених пунктів? Який напрямок повинні мати лісові смуги?

Таблиця 1.3.

Повторюваність напрямків вітру, %

Варіанти	Місто	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗх	Зх	ПнЗх	Штиль
1	Вінниця	12	13	7	11	15	14	14	14	7
2	Луцьк	4	4	8	13	18	14	23	16	7
3	Дніпро	9	13	10	15	15	13	9	16	12
4	Донецьк	7	13	16	26	5	13	12	8	4
5	Житомир	8	12	16	13	14	15	18	14	6
6	Ужгород	10	10	14	40	8	2	4	12	39
7	Івано-Франківськ	5	1	8	27	4	7	25	23	33
8	Запоріжжя	13	17	14	12	13	13	10	8	7
9	Київ	11	10	11	12	9	11	20	16	8
10	Кропивницький	14	10	8	16	12	12	14	14	8
11	Луганськ	5	10	27	15	5	12	17	9	19
12	Львів	4	6	9	16	12	18	23	12	16
13	Миколаїв	15	21	12	11	10	10	8	13	16
14	Одеса	19	15	11	5	8	11	14	17	1
15	Полтава	8	13	14	14	11	16	14	10	2
16	Рівне	7	5	8	13	14	14	27	12	7
17	Суми	7	9	10	19	13	16	14	12	6
18	Тернопіль	7	5	10	19	14	8	18	19	7
19	Харків	9	12	17	16	10	12	13	11	8
20	Херсон	16	23	17	12	7	7	8	10	12
21	Хмельницький	5	5	7	21	14	10	18	20	13
22	Черкаси	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	Чернігів	10	10	11	12	14	14	16	13	6
24	Чернівці	3	2	19	20	4	6	10	36	17

3. Розрахувати швидкості вітру на різних висотах. Для визначення швидкості вітру на певній висоті (U_z) використовують апроксимаційну формулу, в яку входить значення швидкості вітру для даної місцевості на висоті 10 м (U_{10}):

$$U_z = U_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^b \quad 1.1$$

де z – висота, м; b – параметр для відкритих місць (0,14).

Значення параметра b різні в різну пору року і протягом однієї доби. Тому приведеною вище формулою варто користуватися лише для висот до 50 м. Вихідні дані для розрахунків наведені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4.

Швидкість вітру на різних висотах, м/с

Варіанти	U_z	U_{10}	z , м	Варіанти	U_z	U_{10}	z , м
1	12	—	13	13	-	15	14
2	-	4	4	14	13	-	14
3	15	-	13	15	-	15	13
4	-	7	13	16	26	-	13
5	3	-	12	17	-	14	15
6	-	10	10	18	40	-	2
7	17	-	1	19	-	4	7
8	-	13	17	2	12	-	13
9	14	-	10	21	-	9	11
10	-	12	15	22	16	-	12
11	18	-	20	23	-	21	16
12	7	-	9	24	14	-	19

За результатами розрахунків зробити висновки.

4. Розрахувати середню швидкість вітру (U_{cp}) за вибраний проміжок часу ($T = t_2 - t_1$). Середня швидкість вітру за вибраний проміжок часу визначається відношенням суми вимірних значень миттєвої швидкості U до числа вимірювань n :

$$U_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n} \quad 1.2$$

Вихідні дані для розрахунків приведені у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5.

Середньо-годинні швидкості вітру, м/с

Варіанти	Місто	Години спостереження							
		24-00	03-00	06-00	09-00	12-00	15-00	18-00	21-00

1	Вінниця	1,1	1,3	1,8	2,4	3,5	3,4	2,4	1,4
2	Луцьк	1,7	1,9	2,8	2,7	4,5	3,8	3,1	1,0
3	Дніпро	2,0	3,3	3,7	2,9	3,6	4,1	4,0	2,2
4	Донецьк	2,1	3,5	2,9	2,9	3,7	4,4	3,0	1,2
5	Житомир	1,8	2,1	3,5	3,7	2,9	3,9	2,8	1,5
6	Ужгород	1,0	1,6	2,4	3,9	4,1	3,3	2,9	1,0
7	Івано-Франківськ	1,5	1,9	2,7	2,8	3,5	4,4	4,4	2,4
8	Запоріжжя	1,2	2,2	2,6	3,0	4,7	3,8	2,2	1,6
9	Київ	1,1	1,0	2,1	2,9	3,9	2,7	2,0	1,6
10	Кропивницький	1,4	2,0	3,8	4,6	3,2	4,2	1,4	1,4
11	Луганськ	1,5	1,0	2,7	3,5	5,0	2,9	1,7	0,9
12	Львів	1,4	2,6	2,9	4,6	2,6	2,8	2,3	1,2
13	Миколаїв	1,5	2,1	2,9	4,8	5,0	4,0	3,8	1,3
14	Одеса	1,9	2,5	3,1	3,5	3,8	4,1	2,4	1,7
15	Полтава	1,8	1,3	1,4	3,4	4,1	4,6	4,4	1,0
16	Рівне	1,7	2,5	2,8	3,3	3,4	1,4	2,7	1,2
17	Суми	1,7	1,9	2,0	2,9	3,3	3,6	2,4	1,2
18	Тернопіль	1,7	1,5	1,0	3,9	2,4	2,8	1,8	1,9
19	Харків	1,9	3,2	4,7	4,6	3,0	3,2	3,4	1,1
20	Херсон	1,6	2,5	1,7	2,9	2,7	2,7	1,8	1,0
21	Хмельницький	1,5	1,5	4,7	4,2	1,4	1,0	1,8	2,0
22	Черкаси	-	-	-	-	-	-	-	-
23	Чернігів	1,0	3,0	3,1	3,2	4,4	1,4	1,6	1,3
24	Чернівці	1,3	2,9	2,9	2,0	4,0	3,6	1,0	3,6

Середньодобову швидкість знаходять розподілом на 24 суми середньо-годинних швидкостей вітру, а середньорічну – діленням на 365 сум усіх середньодобових швидкостей за рік.

5. За результатами розрахунків та виконання завдань зробити висновки.

Питання для самоконтролю та обговорення.

1. Що таке вітер, як визначаються швидкість і напрямок вітру?
2. Як змінюється градієнтний вітер з висотою у вільній атмосфері?
3. Охарактеризуйте добовий хід швидкості вітру в граничному шарі атмосфери.
4. Як впливають перешкоди на вітер?
5. Що таке місцеві вітри, чому вони виникають?
6. Причини виникнення бризів.
7. Що таке фен, та які причини його виникнення?
8. Бора та причини його виникнення.
9. Вітер. Шкала Бофорта.