

Тема 5. Прилади для вимірювання вологості повітря

Мета роботи: ознайомитись з будовою та принципом дії приладів для вимірювання вологості повітря, здобути навички визначення вологості повітря та виконати завдання.

5.1. Теоретичні відомості.

Вологість повітря – це кількість водяної пари, що міститься в повітрі. Дана кількість вологи може бути оцінена цілим рядом параметрів:

- абсолютна вологість (a) – це кількість водяної пари у повітря (г/м^3);
- відносна вологість (f , %);
- парціальний тиск (пружність) водяної пари (e) – це тиск, який створювала б водяна пара у повітря, за умови, що вона займає весь його об'єм (гПа);
- парціальний тиск (пружність) водяної пари при насиченні (E) – максимальне значення парціального тиску при даній температурі (гПа , додаток 4);
- дефіцит насичення водяної пари (d) – різниця між парціальним тиском водяної пари при насиченні та парціальним тиском (гПа);
- температура точки роси (t_d) – температура повітря, при якій водяна пара, що є у повітрі досягає ступеню насичення ($^{\circ}\text{C}$).

Пружність водяної пари (e) – це тиск, який створювала б водяна пара у повітря, за умови, що вона (водяна пара) займає весь об'єм повітря можна визначити за температурою “сухого” та “змоченого” термометрів за психрометричною формулою:

$$e = E' - Ap(t - t'), \text{ гПа} \quad 5.1$$

де: E' – тиск насиченої водяної пари при температурі поверхні, що випаровує (“змоченого” термометра), гПа (додаток 4); A – стала психрометра (для станційного психрометра = 0,0007947, а для аспіраційного психрометра – 0,000662); p – атмосферний тиск, гПа ; t – температура “сухого” термометра, $^{\circ}\text{C}$; t' – температура “змоченого” термометра, $^{\circ}\text{C}$.

Відносну вологість повітря (f , %) можна визначити за допомогою спеціальних «Психрометричних таблиць, (додаток 5)», або за такою формулою:

$$f = \frac{e}{E} \times 100 \quad 5.2$$

Дефіцит насичення (d , гПа):

$$d = E - e \quad 5.3$$

Між (a , г/м^3) та (e) існує співвідношення:

$$a = \frac{0,8e}{1 + \alpha \times t} \quad 5.4$$

де: e – парціальний тиск водяної пари, гПа ; α – коефіцієнт температурного розширення повітря ($1/273 = 0,0036$); t – температура, $^{\circ}\text{C}$.

Сумарне випаровування (E_0 , мм , або евапотранспірація) – випаровування з поверхні ґрунту та рослин:

$$E_0 = (W_n - W_k) + r_1 - r_2 \quad 5.5$$

де: r_1 - кількість опадів, мм; r_2 – кількість води, яка просочилася у нижні горизонти, мм; W_n та W_k – попередні та кінцеві запаси вологи у ґрунті, мм.

Повітря вважається насиченим вологою, якщо при даній температурі не може більше поглинати водяну пару і при щонайменшому охолодженні починають виділятися крапельки води у вигляді роси, туману, хмар. Сухим вважається повітря при подальшій його здатності поглинати вологу. Чим тепліше повітря, тим більше його здатність до поглинання вологи. Так, при температурі $-20\text{ }^\circ\text{C}$ повітря містить не більше 1 г/м^3 води; при температурі $+10\text{ }^\circ\text{C}$ – близько 9 г/м^3 , а при $+20\text{ }^\circ\text{C}$ – близько 17 г/м^3 . Тому як при високій вологості повітря, так і при низькій – абсолютна вологість повітря може бути однаковою завдяки різниці в температурах. Розрахунок вологості повітря має велике значення не лише для визначення погоди і клімату, але і для проведення багатьох технічних заходів, при зберіганні книг та музейних картин, при лікуванні легеневих хвороб тощо.

5.2. Прилади для визначення вологості повітря.

Показники вологості повітря вимірюють переважно психрометричним і гігрометричним методами.

Психрометричний метод – це визначення вологості повітря на основі показів двох однакових термометрів. Поверхня резервуара “мокрого” термометра щільно обгорнута батистовою тканиною і протягом усього часу або на період спостережень змочується дистильованою водою. Інший термометр “сухий” залишається у звичайному “сухому” стані. З поверхні батисту на змоченому термометрі, вода випаровується і при цьому витрачається певна кількість тепла. Тому, “змочений” термометр показуватиме нижчу температуру, ніж “сухий”. Чим сухіше повітря, тим інтенсивніше випаровування, і тим більша різниця показів “сухого” і “змоченого” термометрів. Дана відмінність у показаннях термометрів і характеризує вологість повітря.

Гігрометричний метод ґрунтується на здатності деяких гігроскопічних тіл (знежирена волосина людини) змінювати свою довжину залежно від вологості повітря. Таким чином, зміна довжини волосини, дозволяє визначити вологість повітря. Для цього необхідно знати залежність між довжиною волосини і вологістю повітря.

Для визначення вологості повітря психрометричним методом використовують психрометри, а гігрометричним – гігрометри і гігрографи.

Станційний психрометр (рис. 5.1) складається з двох психрометричних термометрів ТМ-4 з ціною поділки $0,2\text{ }^\circ\text{C}$. Резервуар правого термометра об'язують шматочком батисту, кінець якого занурений у воду стаканчика. З батистової тканини випаровується вода – чим сухіше повітря, тим інтенсивніше випаровування, і тим нижчу температуру він показує. Для обчислення характеристик вологості повітря використовують відповідні формули, а на практиці користуються психрометричними таблицями.

Психрометр аспіраційний МВ-4М (рис. 5.2) призначений для визначення відносної вологості і температури повітря в наземних умовах. При визначенні вологості на відкритому повітрі психрометр виносять з приміщення за чверть години до спостереження і розміщують на спеціальному стовпі так, щоб резервуари термометрів були на висоті 2 м над поверхнею ґрунту.

Принцип дії: робота психрометра заснована на залежності різниці температур “сухого” і “змоченого” термометрів від вологості повітря. Вологість повітря визначається за показаннями “сухого” і “змоченого” термометрів за спеціальними таблицями або психрометричним графіком, а температура повітря – за показаннями “сухого” термометра.

Будова: психрометр складається з двох однакових ртутних термометрів, закріплених у спеціальній оправі, і аспіраційної головки. Оправа являє собою трубку, що роздвоюється донизу, і захисні планки. До нижньої частини роздвоєної трубки за допомогою пластмасових втулок прикріплені два патрубки, які є радіаційним захистом резервуарів термометрів. Верхній кінець трубки з'єднаний з аспіратором.

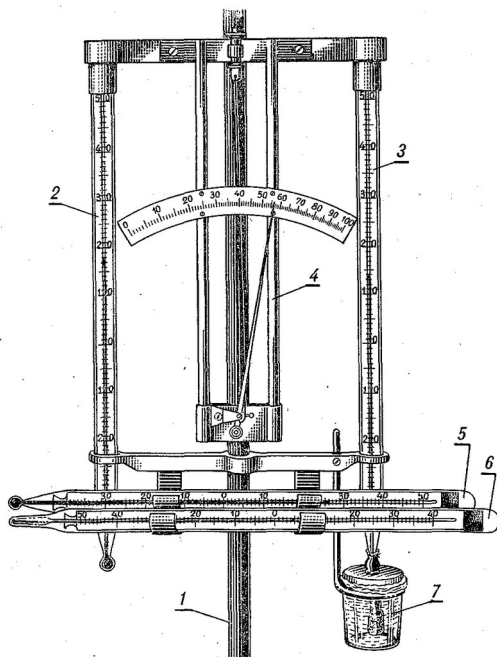


Рис. 5.1. Встановлення приладів у психрометричній будці:
1 – штатив; 2, 3 – “сухий” та “змочений” термометри; 4 – гігрометр;
5, 6 – максимальний та мінімальний термометри; 7 – стаканчик з водою

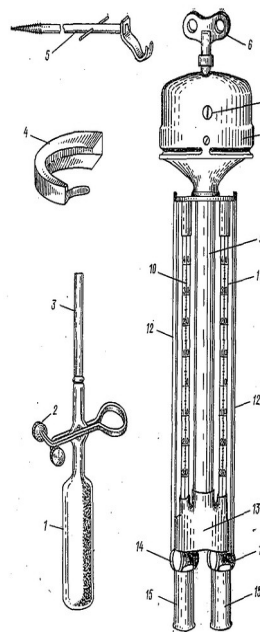


Рис. 5.2. Психрометр аспіраційний МВ-4М: зліва – загальний вигляд, справа – будова;
1 – гумова груша; 2 – затискач; 3 – піпетка; 4 – повітрозахист;
5 – крючок-підвіс; 6 – ключ, 7 – віконце; 8 – головка аспіратора; 9 – трубка;
10, 11 – “сухий” та “змочений” термометри; 12 – захисні планки; 13 – трійник;

Аспіраційна головка складається із заводного механізму і вентилятора, закритих ковпаком. Пружина заводного механізму психрометра МВ-4М заводиться спеціальним ключем.

При обертанні вентилятора в прилад всмоктується повітря, яке обтікає резервуари термометрів, проходить по повітропровідній трубці до вентилятора і викидається назовні через прорізи в аспіраційній голівці. «Сухий» термометр буде показувати температуру повітря, а показання «змоченого» термометра будуть менші через охолодження, викликане випаровуванням води з поверхні батисту, що облягає резервуар термометра.

Технічні характеристики психрометра аспіраційного МВ-4М:

- діапазон вимірювання відносної вологості повітря при температурі навколишнього середовища $-10...+40^{\circ}\text{C}$, %: 10...100;
- діапазон вимірювань температури навколишнього повітря, $^{\circ}\text{C}$: $-30...+50$;
- ціна поділу шкал термометрів, $^{\circ}\text{C}$: не більше 0,2;
- розміри, мм 97x420.

Порядок визначення вологості повітря. При визначенні вологості на відкритому повітрі винести психрометр з приміщення взимку за 30 хв., а влітку за 15 хв. до моменту відліку і розміщують його у встановленому місці на висоті 2 м від поверхні землі. Змочують батист на резервуарі термометра за 4 хв. до початку спостережень. Для цього беруть гумовий балон із затискачем (заздалегідь наповнений дистильованою водою), і легким натиском доводять воду в піпетці не ближче, ніж на 1 см до краю, утримуючи на цьому рівні за допомогою затискача. Потім вводять піпетку у внутрішню трубку захисту і змочують батист. Через деякий час, не виймаючи піпетки з трубки, розтискають затискач, вбираючи воду в балон і виймають піпетку. Заводять пружину заводного механізму психрометра (МВ-4М) або вмикають електродвигун психрометра (М-34) бажано, до постійного джерела живлення змінного струму. Через 4 хв. після пуску вентилятора або включення електродвигуна роблять відлік за термометрами з точністю до 0,25 ціни ділення шкали, а значення температури округлюють до 0,1 $^{\circ}\text{C}$. До показів вводять поправки згідно з паспортами термометрів. У термометрів кожен поділ шкали відповідає 0,2 $^{\circ}\text{C}$. Непарні десяті частки градусів визначаються на око.

При температурі повітря нижче 0 $^{\circ}\text{C}$ психрометр виносять з приміщення за півгодини до спостережень, негайно змочують резервуар, обтягнутий батистом і вмикають аспіраційний пристрій на 8 хв. За 3–4 хв. до відліку вдруге вмикають аспіраційний пристрій, але повторно не змочують. Перед відліком спостерігач повинен встановити, чи залишається показання «змоченого» термометра постійним, чи змінюється. У першому випадку показання записуються, у іншому – увесь процес спостереження повторюють.

Перед записом показань, варто переконаватися, чи обмерзла батистова тканина на резервуарі термометра, чи залишилася м'якою. Для цього дерев'яною паличкою (\approx розміру сірника) легко постукують змочений батист (створюючи центр кристалізації). Важливо, аби паличка мала температуру доквілля, щоб не вносити додаткового тепла до води на батисті від рук. Після цього, поруч із записом показань зазначають стан «змоченого» термометра літерами «Л» або «В» – наявність на батисті льоду або води відповідно.

Параметри вологості повітря (e , мбар) можна визначити за формулою:

$$e = E' - AP(t - t') \quad 5.6$$

де: E' -- парціальний тиск водяної пари при насиченні, мбар; P – атмосферний тиск, мбар; t – температура за «сухим» термометром, $^{\circ}\text{C}$; t' – температура за «змоченим» термометром, $^{\circ}\text{C}$.

На практиці відносна вологість визначається за допомогою психрометричних таблиць (додаток 5). З певною точністю також можна визначити відносну вологість повітря за психрометричним графіком (рис. 5.3). Наприклад, при температурі «сухого» термометра - 21,7 °С, а «змоченого» - 14,3 °С, точка перетину ліній, що відповідають даним температурам знаходиться вище 42, але нижче 44. Отже, відносна вологість становитиме $\approx 43\%$.

Психрометр електричний М-34 (рис. 5.4) призначений для визначення відносної вологості і температури повітря в наземних умовах (у приміщенні та на відкритому повітрі). Робота психрометра заснована на залежності різниць температур сухого і змоченого термометра від вологості навколишнього повітря. Вологість повітря визначається за показаннями сухого і змоченого термометрів за спеціальними таблицями або психрометричним графіком, а температура повітря - за показаннями «сухого» термометра. Пружина пускового механізму запускається електричним двигуном.

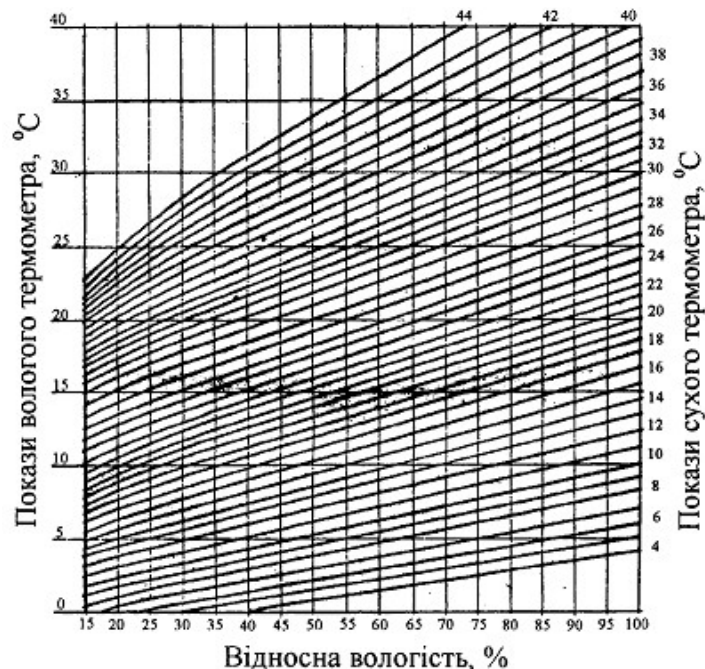


Рис. 5.3. Номограма для визначення відносної вологості повітря за показами аспіраційного психрометра

Технічні характеристики:

- діапазон вимірювання відносної вологості повітря при температурі повітря від 5 до 40 °С, °С: - 10-100;
- діапазон вимірювання температури повітря, °С: від -25 до +50;
- похибка в залежності від температури, % від ± 2 до ± 6 ;
- живлення - 220 В; споживча потужність - 30 Вт;
- швидкість повітряного потоку (аспірація) при роботі вентилятора повинна бути на 6-й хвилині не менше, м/с, 1,7;
- габаритні розміри (Lxd), мм: 105x400 мм;
- вага не більше, кг: 1,3.

Гігрометр волосяний (рис. 5.5) є зручним приладом для швидкого визначення відносної вологості повітря. Приймальною частиною його є знежирена людська волосина (довжина близько 27 см), натягнута на металеву рамку. Верхній кінець волосини закріплено на кінці гвинта, за допомогою якого регулюють натяг її на рамі. Другий кінець волосини обернуто і закріплено на маленькому блоці, насадженому на вісь. На цьому ж блоці на невеликому штифті закріплено невеликий тягар, який натягує волосину. Залежно від вологості повітря волосина стає довшою, або скорочується обертаючи блок.

На блоці закріплено стрілку, яка переміщується по шкалі і показує значення відносної вологості повітря. Прилад досить простий, і однаково добре працює як при плюсовій, так і при низькій мінусовій температурі повітря. Взимку, коли температура повітря нижче -10° , гігрометр є практично єдиним приладом для вимірювання вологості повітря.



Рис. 5.4. Психрометр аспіраційний електричний М-34

Покази волосяного гігрометра відносні. До них вводять поправки, які отримують порівнянням показів гігрометра з показами психрометра. Для цього будують графік за щоденними відліками психрометра і волосяного гігрометра.

Гігрограф М-21А (рис. 5.6) використовують для безперервного запису змін відносної вологості повітря в межах від 30 до 100 % при температурі від -35 до $+45^{\circ}$. Приймачем приладу є пучок (35–40 шт.) знежирених людських волосин, прикріплених своїми кінцями до металевої рамки.

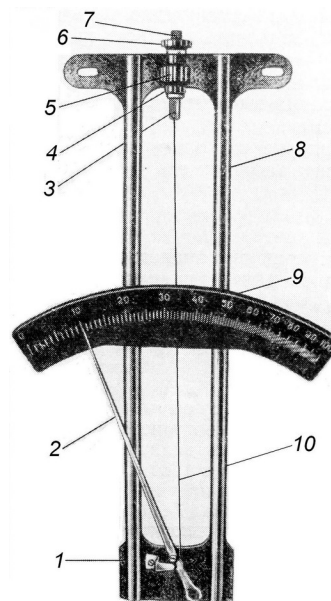
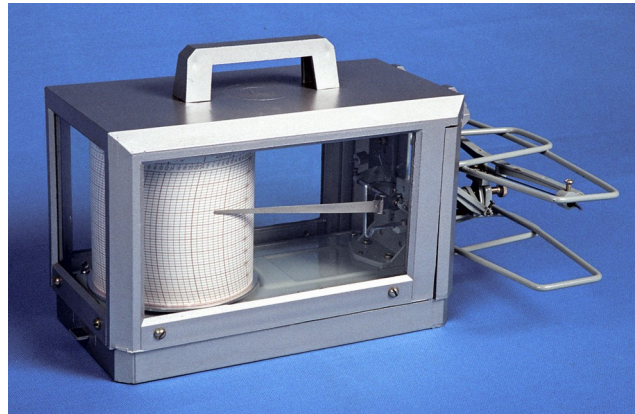


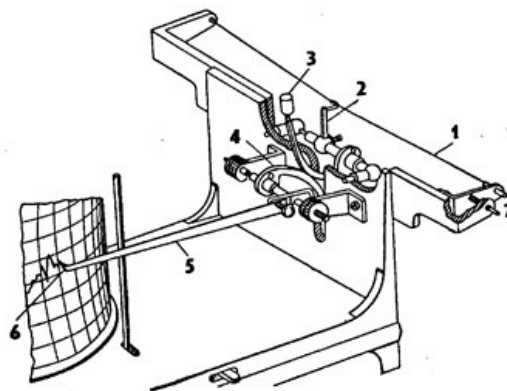
Рис. 5.5. Гігрометр волосяний:

- 1 — рамка; 2 — стрілка; 3 — хвостик; 4 — скоба; 5 — гайка; 6 — контргайка;
7 — гвинт кріплення волосини; 8 — рамка; 9 — пластина зі шкалою;
10 — волосина

Пучок волосин за допомогою гачка з'єднаний із зігнутиим важелем і тягарем, завдяки чому пучок постійно перебуває в натягнутому стані.



а)



б)

Рис. 5.6. Гігрограф М-21А: а – зовнішній вигляд; б – будова;
1 – пучок знежиреного волосся людини, 2 – гачок, 3, 4 – система важелів,
5, 6 – стрілка з пером, 7 – регулювальний гвинт

Важіль рухомим способом сполучений іншим важелем, який з'єднаний з спільною віссю із стрілкою, на кінці якої міститься перо.

Записуючою частиною гігрографа служить барабан з годинниковим механізмом всередині, пружина якого накручується за допомогою ключа. Зміна відносної вологості повітря призводить до зміни довжини пучка волосся, а це, в свою чергу, через передавальний механізм — до переміщення стрілки з пером на паперовій діаграмній стрічці.

Прилади нового покоління.

Електричний термогігрометр testo 610. Прилад застосовуються для вимірювання вологості повітря, автоматичного розрахунку точки роси і психрометричної температури (рис. 5.7).

Термогігрометр запам'ятовує і може відображувати максимальне і мінімальне значення за весь час вимірювання температури і вологості повітря. Прилади обладнані функцією фіксації виміряного значення температури і вологості на дисплеї. В комплект приладу входить захисна кришка, шкіряний чохол для кріплення приладу на поясі, ремінь для перенесення на зап'ясті, батарейки і протокол калібрування.

Технічні характеристики:

- відносна вологість, %: 0 – 100;
- температура, °С: від –10 до +50;
- робоча температура, °С: –10 – +50;

- батарейка – тип ААА, 2 шт;
- ресурс батарейок, год: – 200;
- габарити, мм: 119x46x25;
- вага – 90 г.



Рис. 5.7. Електричний термогігрометр testo 610

Теромогігрометр DT-322 (рис. 5.8) забезпечує відображення температури, одночасне відображення температури, вологості повітря, часу, зберігання в пам'яті максимальних і мінімальних значень температури і вологості повітря.



Рис. 5.8. Теромогігрометр DT-322

Технічні характеристики:

- діапазон вимірювання температур, °С; від 0 °С до 50;
- ціна поділки, °С: 0,1;
- похибка, °С: 1,0 °С;
- діапазон вимірювання відносної вологості: від 10 % RH до 90 % RH; похибка: ±5 % (40 % RH – 80 % RH), ±8 % (10 % RH – 40 % RH, 80 % RH – 90 % RH);
- живлення: 1,5 В батарея типу ААА 1 шт;
- габарити, мм: 112x60x14.

Мета роботи — визначити показники вологості повітря та виконати завдання.

Прилади та обладнання:

Аспіраційний психрометр.

Барометр-анероїд.
Дистильована вода.

Порядок виконання роботи.

1. Підготувати таблицю для запису результатів вимірювання (табл. 5.1)
2. Змочити дистильованою водою резервуар “змоченого” термометра.
3. Запустити годинниковий механізм.
4. Після чотирьох хвилин записати покази обох термометрів.
5. Виміряти атмосферний тиск.
6. Внести поправки до показів термометрів згідно з перевірними свідоцтвами.
7. Розрахувати парціальний тиск, відносну вологість, дефіцит вологості повітря та температуру точки роси.

Таблиця 5.1.

Дані спостережень за вологістю повітря

№ з/п	Параметри	Показання	
		всередині приміщення	на відкритому повітрі
1	Номер “сухого” термометра		
2	Температура “сухого” термометра, °С		
3	Шкалова поправка, °С		
4	Істинне значення, °С		
5	Номер “змоченого” термометра		
6	Температура “змоченого” термометра, °С		
7	Шкалова поправка, °С		
8	Істинне значення, °С		
9	Атмосферний тиск, гПа		
10	Максимальна пружність водяної пари відповідно до температури, гПа:		
	“сухого” термометра		
	“змоченого” термометра		
11	Парціальний тиск, гПа		

5.3. Завдання.

1. Чи може бути парціальний тиск водяної пари 20 гПа при температурі повітря 14,7 °С?

2. Визначте температуру точки роси за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Парціальний тиск водяної пари при	20,9	25,7	23,4	16,7	10,9	11,1	12,6	11,2	10,7	10,6

насиченні (E), гПа										
--------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

3. Визначте відносну вологість повітря за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти*									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температур (t) за “сухим” термометром, °C	10,9	16,3	12,5	17,4	19,1	14,2	13,7	10,1	17,7	12,3
Температур (t') за “змоченим” термометром, °C	8,3	15,4	10,1	15,1	17,7	11,2	12,0	8,0	15,1	10,3

* Атмосферний тиск становить 1012 гПа.

4. Чи можлива абсолютна вологість повітря 1,0 г/м³ за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температур (t) повітря, °C	5,9	11,7	3,7	7,1	9,7	4,8	5,5	10,3	11,5	12,7

5. Визначте парціальний тиск водяної пари (e) та тиск насиченої водяної пари (E) за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Абсолютна вологість повітря (a), г/м ³	13,7	14,1	13,2	17,8	8,5	14,3	15,7	12,4	17,2	14,0
Температура повітря (t), °C	23,8	22,6	24,8	17,0	22,1	15,9	17,7	19,1	10,4	22,9

6. Визначити відносну вологість повітря (f) за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Парціальний тиск водяної пари (e), гПа	1,3	14,6	3,4	17,9	1,7	17,6	3,9	2,0	25,3	20,1
Температура повітря (t), °C	13,7	20,2	14,5	17,0	12,5	18,4	17,7	10,2	10,4	12,5

7. Розрахувати дефіцит вологості повітря (d, г/Па) за таких умов:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Парціальний тиск водяної пари (e), гПа	18,3	14,6	13,4	17,9	21,7	17,6	13,9	22,4	25,3	20,1
Парціальний тиск водяної пари при насиченні (E), гПа	21,1	15,2	18,1	19,7	24,4	19,2	12,6	25,1	27,4	23,6

8. Знайти температуру точки роси (t_d), якщо парціальний тиск водяної пари при насиченні дорівнює:

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Е, гПа	25,9; 22,0; 17,9;	13,2; 26,8; 17,0;	6,7; 14,4; 12,0	14,1; 6,6; 14,9;	10,7; 11,9; 7,3;	15,8; 17,7; 8,9;	12,5; 16,6; 8,8;	11,4; 16,0; 26,9;	19,7; 11,6; 9,4;	12,0; 18,9; 8,7;

Питання для самоконтролю та обговорення.

1. Якою величиною характеризується вологість повітря у повідомленні про погоду?
2. Чи існує зв'язок між відносною вологістю повітря та дефіцитом вологи у повітрі? Який характер такого зв'язку?
3. Що таке випаровування вологи, і яка його залежність від метеорологічних факторів?
4. Що таке насичена пара і як вона змінюється із зміною температури ?
5. Чи можливо за температурою точки роси визначити нічний мінімум температури повітря?
6. Яка причина утворення роси?
7. Які загальні умови конденсації водяної пари в атмосфері?