

Лабораторна робота № 2.21

ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

Мета роботи: навчитися користуватися аспіраційним психрометром Ассмана і визначати абсолютну і відносну вологість повітря.

Прилади: психрометр Ассмана, довідкові таблиці

Теоретичний вступ

Основними фізичними параметрами мікроклімату приміщення є температура повітря і його вологість.

Вологість повітря - це величина, що характеризує вміст водяної пари.

Утворення водяної пари може відбуватися двома шляхами –випаровуванням (з поверхні води за будь-якої температури) або кипінням (з усього об'єму рідини за температури кипіння).

Внаслідок пароутворення в природі атмосферне повітря містить водяну пару. Пара буває насиченою і ненасиченою.

Насичена пара – така пара, яка знаходиться в динамічній рівновазі зі своєю рідиною. Концентрація молекул води в ній і тиск, що вона спричиняє, будуть максимальними. Насиченню відповідає така гранична кількість водяних парів, яка може перебувати в повітрі, не конденсуючись у воду.

Чим вище температура, тим більше концентрація молекул і вище тиск насиченої пари .

Вміст водяної пари в повітрі характеризується абсолютною і відсноною вологістю.

Абсолютна вологість повітря - фізична величина, що чисельно дорівнює масі водяної пари, що міститься в одиниці об'єму повітря за даної температури.

$$f = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

де V – об'єм вологого повітря, m – маса водяної пари, що міститься в цьому об'ємі.

Інакше кажучи, абсолютна вологість – це густина водяної пари, що перебуває в повітрі за даних умов. Абсолютну вологість виражають в $\text{г} / \text{м}^3$.

Але відчуття сухості або вогкості повітря пов'язано не з абсолютною, а з відсноною вологістю.

Відносна вологість повітря - відношення абсолютної вологості f до її максимального значення f_{max} при даній температурі. Відносна вологість позначається грецькою буквою φ і виражається у відсотках:

$$\varphi = \frac{f}{f_{\text{max}}} 100\% \quad (2)$$

Вважаючи, що водяна пара поводитьсь подібно ідеальному газу, на підставі рівняння Менделєєва - Клапейрона робимо висновок, що тиск водяної пари про-

порційний його густині. Тоді у формулах відношення густин можна замінити відношенням тисків.

Тиск практично легше виміряти, ніж густину пари, що перебуває в повітрі, тому вологість зазвичай визначають через парціальний тиск водяної пари і виражають її в міліметрах ртутного стовпа або паскалях і називають вологість **пружністю водяної пари**. (Парціальний тиск водяної пари - це тиск, який створювала б водяна пара, якби всі інші гази були відсутні).

Отже, відносну вологість повітря можна виразити також через відношення відповідних тисків водяної пари:

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{НАС}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де p – тиск (пружність) пари, що міститься в повітрі за даних умов; $p_{\text{НАС}}$ – пружність насиченої пари за температури навколишнього середовища.

Відносна вологість характеризує, таким чином, ступінь насичення повітря водяними парами.

Точка роси - температура, при якій водяна пара, що міститься в повітрі, стає насиченою, тобто якщо знижувати температуру повітря, то при досягненні точки роси водяна пара стає насиченою, а при подальшому зниженні температури випаде роса.

Вимірювання вологості

Найбільш поширений метод вимірювання вологості повітря - це метод психрометра.

Сутність цього методу полягає в наступному.

Нехай два однакових термометри знаходяться в однакових умовах. Показання цих термометрів, природно, повинні бути однаковими.

Якщо ж балончик одного з термометрів обернути марлею і зволожити водою (рис. 1), то показання термометрів виявляться різними.

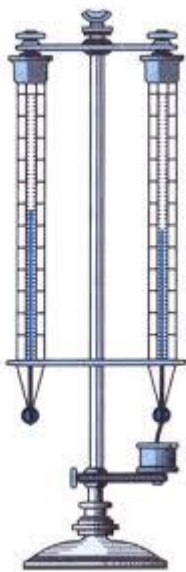


Рис. 1.

Зі зволоженого кінця термометра відбувається інтенсивне випаровування води. Випаровування вологи викликає охолодження рідини. Таким чином, температура вологого термометра зменшується.

Чим менше вологість навколишнього повітря, тим інтенсивніше буде випаровування і тим нижче будуть показання мокрого термометра.

Відліки по двом термометрам дадуть різницю температур, яка і буде характеризувати вологість повітря.

Така система з двох термометрів і називається **психрометром** («психрос» з грецької означає «холодний»).

Виведення психрометричної формули

Психрометричну формулу можна вивести з рівняння теплового балансу для мокрого термометра.

При досягненні теплової рівноваги кількість теплоти Q_1 , що отримана термометром з навколишнього середовища (повітря) за деякий час τ , стане дорівнювати кількості теплоти Q_2 , що необхідна для випаровування деякої кількості рідини змоченою поверхнею мокрого термометра.

У цьому випадку температура мокрого термометра перестає зменшуватися. Кількість теплоти Q_1 визначається з рівняння теплопровідності:

$$Q_1 = \kappa S \tau (t_C - t_M), \quad (4)$$

де κ – коефіцієнт питомої теплопровідності середовища, в якому поширюється теплота;

S – площа поверхні кульки вологого термометра

t_C – температура оточуючого повітря (сухого термометра);

t_M – температура вологого (мокрого) термометра;

τ – час, протягом якого теплота надходить до термометра.

Кількість теплоти Q_2 , що необхідна для випаровування з поверхні кульки термометра за час τ визначається формулою

$$Q_2 = m_1 \tau r, \quad (5)$$

тут r – питома теплота пароутворення;

m_1 – кількість води, що випаровується з поверхні S в одиницю часу.

Окремо доказывается (Реньо, Дальтон та ін.), що кількість води m_1 залежить від швидкості руху повітря над поверхнею випаровування; пружності насиченої пари $p_{\text{нас } M}$, (або $f_{\text{нас } M}$) при температурі мокрого термометра, абсолютної f_C вологості за даних умов та атмосферного тиску $p_{\text{атм}}$:

$$m_1 = \frac{K(f_{\text{нас } M} - f_C)S}{p_{\text{атм}}}. \quad (6)$$

Тут K – коефіцієнт пропорційності, що залежить від швидкості протікання повітря над рідиною, яка випаровується.

Отже

$$Q_2 = \frac{K(f_{\text{нас } M} - f_C)S}{p_{\text{атм}}} \tau \cdot r. \quad (7)$$

За усталеного режиму випаровування

$$Q_1 = Q_2$$

Звідки

$$t_C - t_M = \frac{(f_{\text{нас } M} - f_C) Kr}{p_{\text{атм}} \kappa} \quad (8)$$

З формули (8) слід, що різниця температур сухого і вологого термометрів пропорційна різниці максимальної вологості $f_{\text{нас } M}$ при температурі вологого термометра і абсолютної вологості водяної пари f_C навколишнього середовища за даних умов.

На підставі формули (8) складені психрометричні таблиці, за якими, знаючи t_c і t_M , можна знайти всі параметри вологості повітря.

Опис установки

Треба враховувати той факт, що волога, яка випаровується, залишається в околицях вологого предмета, і, таким чином, **ЛОКАЛЬНО** збільшується вологість повітря. Для усунення цього ефекту, при вимірюванні вологості, застосовують аспірацію (створюється потік повітря над вологим об'єктом).

В аспіраційному психрометрі Ассмана (рис.2) однакові ртутні термометри розміщені в спеціальній нікельованій оправі, яка захищає їх від пошкоджень і теплового випромінювання навколишнього середовища і навколишніх предметів. Термометри обдуваються потоком досліджуваного повітря з постійною швидкістю близько 2 м/с за рахунок просмоктування (аспірації) повітря за допомогою механічного вентилятора.

Кінець одного з термометрів обгорнутий марлею і може зволожуватись водою.

Пружина годинникового механізму заводиться ключем.



Рис. 2.

Порядок виконання роботи

1. Перед роботою бавовняну тканину, якою обгорнута кулька вологого термометра, змочіть дистильованою водою зі спеціальної піпетки з гумовою грушею.

2. Заведіть ключем годинниковий механізм психрометра до упору і підвісьте психрометр на гак.

3. Зачекайте (5-7 хв) до тих пір, поки стовпчик вологого термометра не перестане рухатися, і запишіть різницю температур. сухого термометра t_c і вологого t_M .

4. Користуючись психрометричною таблицею 2, визначте відносну вологість φ .

За різницею показань термометрів знаходимо в таблиці потрібний стовпець і рухаємося по ньому вниз до рядка показань сухого термометра. В комірці на перетині стовпця і рядка знаходимо значення відносної вологості φ %.

5. За таблицею 1 «Тиск і густина насиченої водяної пари при різних температурах» визначте густину f_{max} насиченої водяної пари за даної температури t_c та розрахуйте абсолютну вологість f за формулою (2).

Дані всіх вимірювань і обчислень занесіть в таблицю. Оцініть похибку результатів вимірювань.

Таблиця 1

№	t_c , °C	t_M , °C	φ %	f_{max}	f_i г/м ³	$\langle f \rangle$ г/м ³	Δf_i	S	Δf г/м ³
1									
2									
3									
4									
5									

Остаточний результат вимірювань записати у вигляді:

$$f = \langle f \rangle \pm \Delta f, \% \quad \text{при } \alpha = \dots$$

Контрольні питання

1. Назвіть різницю між кипінням та випаровуванням.
2. Яка пара називається насиченою? Які її властивості?
3. Що називається абсолютною і відносною вологістю повітря? Які одиниці вимірювання їх?
4. У чому полягає метод психрометра?
5. Яка будова психрометра Ассмана?
6. Яке практичне значення має вимір вологості повітря?
7. Як зміниться вологість повітря при підвищенні (зниженні) температури?
8. Розв'язати задачі.
 1. Відносна вологість повітря при 20°C дорівнює 56%. За якої максимальної температури випаде роса?
 2. В аудиторію, площа якої 50 м² і висота 4 м зайшла група студентів. через деякий час температура повітря підвищилася від 15 °C до 22 °C. , а вологість від 50% до 70 %. Яка маса води випарувалася в аудиторії?

Таблиця 2.

Показання су- хого термомет- ра, $t_1, ^\circ\text{C}$	Разность показаний сухого и влажного термо- метров, $^\circ\text{C}$										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Влажность воздуха, %										
0	100	81	63	45	28	11	—	—	—	—	—
2	100	84	68	51	35	20	—	—	—	—	—
4	100	85	70	56	42	28	14	—	—	—	—
6	100	86	73	60	47	35	23	10	—	—	—
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	—	—
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	—
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	—
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

Рекомендована література

1. Кучерук І. М., Горбачук І. Т, Луцік П. П. Загальний курс фізики у трьох томах : навч. посіб. Київ: Техніка, 2006. Т. 1 : Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. 536 с.
2. Курс фізики (під редакцією Лопатинського І.Є.). – Львів. – ”Бескід Біт”. – 2002.
3. Бушок Г.Ф., Венгер Е.Ф. Курс фізики. Кн.2. Оптика. Фізика атома і атомного ядра. Молекулярна фізика і термодинаміка. К. «Либідь»2001. – 422 с.
4. І.П.Гаркуша, В.П.Курінний. Фізика. Навч. посібник у 7 частинах.Ч.2 Молекулярна фізика. Д. НГУ. 2011.

Укладач І.П. Гаркуша