

216. ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

- Література:** 1. Кикоїн І.К. . Кикоїн А.К. Молекулярна фізика. – К.: Рад.шк. 1968.
2. Загальний курс фізики: Навч. посібник для студентів вищих техн. і пед. закладів освіти / Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П.; За ред. І.М. Кучерука. – К.: Техніка, Т.1. 1999.
3. Загальна фізика: лабораторний практикум.: Навч. посібник / За заг.ред. І.Т.Горбачука. – К.: Вища шк., 1992. С.220 – 224.
4. Спенсер–Грегори Г., Роуренс Е. Гигрометрия. – М.: Металлургиздат, 1963.

Прилади і матеріали: 1) гігрометр Ламбрехта з нормальним термометром; 2) етиловий ефір; 3) гумова груша; 4) психрометр Августа; 5) аспіраційний психрометр; 6) гумова груша і піпетка; 7) дистильована вода; 8) посудина Дьюара; 9) диференціальна термопара; 10) мідний диск з стержнем.

Теоретичні відомості та опис приладів

Вологість повітря зумовлюється наявністю в ньому водяної пари. Маса водяної пари може змінюватись як за абсолютною величиною, так і за ступенем насичення, що відповідно характеризується абсолютною і відносною вологістю.

Абсолютна вологість повітря τ кількісно дорівнює масі водяної пари в грамах, що міститься в 1 м^3 повітря, тобто її густині.

Коли температури невисокі і пара далека від стану насичення (в цьому разі до водяної пари можна застосувати рівняння Менделєєва – Клапейрона), значення абсолютної вологості мало відрізняється від парціального тиску водяної пари в повітрі.

Тому прийнято визначати абсолютну вологість також через величину парціального тиску водяної пари і виражати її в одиницях тиску.

Під *відносною вологістю* слід розуміти відношення абсолютної вологості до маси або до парціального тиску водяної пари, яка насичує простір при тій самій температурі. Це відношення виражають у процентах.

Точкою роси називається температура, при якій наявна в повітрі водяна пара стає насиченою, тобто починає конденсуватися на охолодженій поверхні.

Основні способи визначення вологості повітря ґрунтуються на методах точки роси і психрометра.

1. **Метод точки роси.** Вологість повітря методом точки роси визначають гігрометром Ламбрехта. Він складається з тонкого металевого полірованого диска 1, на зворотному боці якого є резервуар 5. У резервуар наливають ефір і вставляють термометр 3 через отвір 4. Через другий отвір за допомо-

гою гумової трубки з грушею б продувають повітря. Ефір швидко випаровується і диск 1 при цьому охолоджується. Одночасно охолоджується і повітря, що прилягає до диска, а на поверхні диска виступає роса внаслідок конденсації водяної пари з повітря (поверхня диска стає ніби матовою, що добре помітно, коли порівнювати її з блискучою поверхнею кільця 2). Фіксують температуру, що відповідає моменту потемніння поверхні диска 1 t_{p1} . Припинивши продування повітря, визначають температуру t_{p2} зникнення роси. Для обчислення вологості повітря беруть за точку роси t_p середнє арифметичне величин t_{p1} і t_{p2} .

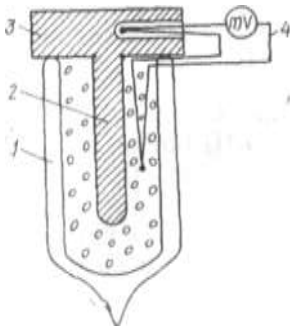


Рис.4.

Визначення вологості повітря можна здійснити за методом точки роси без застосування ефіру, якщо скористатися конденсаційним гігрометром (рис. 1). Основною частиною його є виготовлений з червоної міді диск 3 з стержнем 2, верхня плоска поверхня диска покрита нікелем і прошліфована до блиску. Стержень 2 поміщають у посудину Дьюара 1 з танучим льодом. Температуру точки роси вимірюють диференціальною термопарою 4. Тут також фіксують температуру у момент виникнення та зникнення роси і знаходять середнє значення t_p .

З таблиць визначають густину насичуючої водяної пари при температурі t_p , тобто абсолютну вологість. Знаючи кімнатну температуру t_k , з таблиць знаходять густину насичуючої водяної пари. Відношення цих двох величин і дає значення відносної вологості повітря.

2. Метод психрометра. Якщо взяти два однакових нормальних термометри, кулька одного з яких неперервно змочується водою через батист, занурений у склянку з водою, то покази обох термометрів («сухого» і «мокрого») відрізнятимуться. Внаслідок випаровування води з батисту мокрий термометр показуватиме нижчу температуру, ніж сухий. Чим менша вологість навколишнього повітря, тим інтенсивніше випаровування і тим менші покази мокрого термометра. Значення показів сухого t_c і мокрого t_m термометрів дають можливість визначити вологість повітря.

Покази мокрого термометра в психрометрі дещо відрізняються (в бік завищення) від справжньої температури мокрого термометра. Пояснюється це тим, що кульці мокрого термометра передається певна кількість теплоти випромінювання навколишніх тіл і деяка кількість її надходить через виступаючий стовпчик ртуті термометра, що має температуру навколишнього повітря. Щоб зменшити цей вплив, треба захистити кульку екранами, обгорнути батистом виступаючий стовпчик ртуті, підвищити швидкість руху повітря і цим збільшити швидкість випаровування.

Як показують спеціальні дослідження, при швидкості повітря 1,5 – 2 м/с і температурі мокрого термометра $t_m > 20$ °С помилка становить приблизно 1 % психрометричної різниці, і нею можна знехтувати.

Психрометричну формулу можна вивести з рівняння теплового балансу для кульки мокрого термометра; кількість теплоти Q_1 , передана від повітря в стаціонарному стані (температура мокрого термометра вже встановилась) і при відсутності тепловитрат, дорівнює кількості теплоти Q_2 , потрібної для випаровування води з поверхні батисту S , тобто

$$\alpha(t_c - t_m)S = g_m \lambda S \quad (1)$$

де α – коефіцієнт теплообміну; H – питома теплота випаровування, g_m – швидкість випаровування $\frac{dm}{d\tau}$ з одиниці поверхні. Рівняння (1) віднесемо до одиниці часу. З (1) матимемо

$$t_m = t_c - \frac{g_m \lambda}{\alpha}.$$

Швидкість випаровування можна визначити, виходячи з закону Дальтона. Для випаровування води з вільної поверхні

$$g_m = \alpha_m \Delta p \cdot \frac{760}{H}$$

де α – коефіцієнт випаровування; H – барометричний тиск; Δp – різниця парціальних тисків водяної пари біля поверхні води і в навколишньому повітрі. Для даного випадку $\Delta p = p_m - p_n$, де p_m – тиск насиченої пари при температурі t_m , p_n – тиск пари в навколишньому повітрі.

З (1) і (2) маємо рівняння психрометра

$$p_n = p_m - AH(t_c - t_m), \quad (3)$$

де $A = \frac{\alpha}{\alpha_m \cdot 760 \cdot \lambda}$ – психрометричний коефіцієнт.

Із (3) відносна вологість

$$\varphi = \frac{p_n}{p_n}$$

де p_n – тиск насиченої пари при температурі повітря, тобто при температурі сухого термометра t_c .

Психрометричний коефіцієнт в основному залежить від швидкості руху повітря, яка визначає коефіцієнти теплообміну та випаровування. Експериментальними дослідженнями К.О. Зворикіна (1883 р.) встановлено таку формулу для коефіцієнта A :

$$A \cdot 10^6 = 593,1 + \frac{135,1}{\sqrt{v}} + \frac{48}{v},$$

де v – швидкість руху повітря біля психрометра, м/с.

Найпростіший тип психрометра – *психрометр Августа* – показано на рис.2.

Психрометричний коефіцієнт A дуже залежить від швидкості руху повітря в області малих значень швидкості, а при великих швидкостях зміню-

ється мало. Тому запропоновано конструкцію психрометра з примусовим рухом повітря (рис.3). Це так званий аспіраційний психрометр.

Кулька правого термометра обгорнута батистом. Лівий термометр сухий. По двох трубках 1, в які вміщено термометри 2, повітря з швидкістю 3 – 5 м/с продувається вентилятором 3. Батист змочують дистильованою водою за допомогою груші і піпетки.

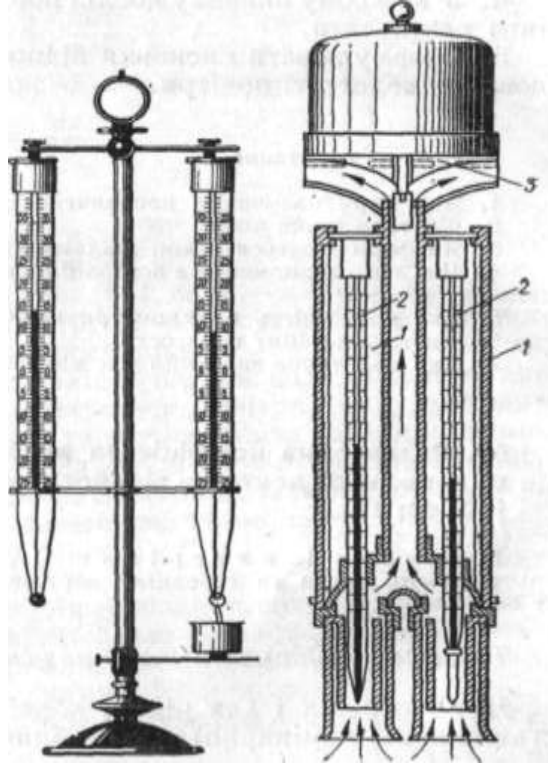


Рис. 2

Рис. 3

За показами термометрів визначають температури t_c і t_m , коли вони встановляться при роботі вентилятора на повну потужність. Знаючи t_c і t_m і користуючись таблицями, визначають m і φ .

Порядок виконання роботи

1. Визначити точку роси t_p гігрометром, як зазначалось вище. При цьому слід запобігти впливу дихання експериментатора на вологість навколо приладу. Потім, знаючи t_k , за таблицями визначити m і φ . Аналогічні дослідження провести за допомогою приладу, зображеного на рис. 1.
2. Визначити за сухим і мокрим термометрами психрометра Августа t_c і t_m і за таблицями – m і φ .
3. Змочити батист мокрого термометра аспіраційного психрометра, звернувши при цьому увагу на те, щоб вода не потрапила в сухий термометр і на внутрішню поверхню трубки. Ключем завести вентилятор(5 – 6 поворотів ключа) і стежити за показами термометрів. Коли покази встановляться (через 4 – 5 хв.), записати значення t_c і t_m потім за таблицями визначити m і φ .

Знімаючи покази термометрів, спочатку відрахувати десяті частки градуса і записати їх, а потім цілі значення.

4. У кожному випадку дослід повторити не менше 3 разів і порівняти результати.
5. Сформулювати висновки відносно методики і результатів вимірювання вологості повітря.

Контрольні запитання і завдання

1. Яку пару називають ненасиченою; насиченою?
2. Що таке точка роси?
3. Як формулюється закон Дальтона для випаровування?
4. Для чого термометри в аспіраційному психрометрі вміщено в нікельовані металеві трубки?
5. Яка розмірність психрометричного коефіцієнта?
6. Що таке дефіцит вологості?
7. Яке практичне значення має вимірювання вологості повітря?
8. Чому у зимовий період відносна вологість у приміщеннях підтримується приблизно 10 – 15 %?
9. Охарактеризуйте основні елементи ізотерм Ван - дер - Ваальса.
10. Чому тиск насиченої пари не залежить від об'єму?
11. За нормальних тиску і температури взяли однакові за об'ємом проби сухого й вологого повітря. Чи однакові їх маси?
12. Розрахувати густину пари в лабораторії, використовуючи знайдені вами експериментальні результати.
13. Якою є пара, що міститься в повітрі при температурі вище за точку роси? Нижче за точку роси? Показати ці стани в координатах P, V .
14. Розрахувати з експериментальних даних, яка маса води має випаруватися, щоб водяна пара в приміщенні лабораторії стала насиченою.
15. Розрахувати, скільки молекул водяної пари міститься в приміщенні лабораторії на підставі експериментальних даних.
16. Як зміниться різниця показів сухого й вологого термометрів психрометра при зниженні температури повітря, якщо абсолютна вологість незмінна?
17. Обидва термометри психрометра показують однакову температуру. Якою є відносна вологість?