

ЛЕКЦІЯ 4 ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ВОЛОГОГО ПОВІТРЯ

Як відомо, сухе повітря складається на 78 % з азоту, на 21 % з кисню і близько 1 % складають діоксид вуглецю, інертні та інші гази. Якщо в повітрі є водяні пари, то таке повітря називається вологим повітрям. До суміші сухого і вологого повітря застосовні всі газові закони. З термодинамічних параметрів вологого повітря, якими оперують в курсі кондиціювання повітря, можна виділити наступні:

- щільність;
- теплоємність;
- температура;
- вологовміст;
- парціальний тиск водяної пари;
- відносна вологість;
- температура точки роси;
- ентальпія (тепловміст);
- температура по мокрому термометру.

Термодинамічні параметри визначають стан вологого повітря і пов'язані один з одним.

Щільність.

Щільністю називається маса речовини в одиниці об'єму. Одиниця виміру щільності кг/м^3 . Щільність всіх газів зменшується з підвищенням температури, так як при нагріванні при постійному тиску вони розширюються. Для сухого

повітря при 20 °С щільність дорівнює 1,2 кг/м³.
температури її можна обчислити за формулою

При інших значеннях

$$\rho_t = 353 / (273 + t). \quad (4.1)$$

Щільність водяної пари може бути визначена за формулою

$$\rho_t = 219 / (273 + t). \quad (4.2)$$

Щільність вологого повітря менше щільності сухого повітря, так як водяна пара має меншу молекулярну масу, ніж сухе повітря. З огляду на те, що кількість водяної пари в повітрі відносно невелика, зменшенням щільності в практичних розрахунках можна сміливо знехтувати.

Теплоємність.

Теплоємністю називається кількість теплоти, необхідна для нагрівання 1 кг речовини на 1 °С. Теплоємність сухого повітря при постійному тиску дорівнює 1,005 кДж/(кг·°С). Теплоємність водяної пари дорівнює 1,8 кДж/(кг·°С). Точно також, як і з щільністю, в практичних розрахунках нехтують зміною теплоємності вологого повітря і вважають що теплоємність вологого повітря дорівнює теплоємності сухого повітря, тобто 1,005 кДж/(кг·°С).

Температура.

Температура є мірою нагріву тіла. У кондиціюванні повітря температуру повітря вказують за стоградусною шкалою Цельсія. У стоградусній шкалі за 0 прийнята температура танення льоду. Температура кипіння чистої води при нормальному атмосферному тиску відповідає 100 °С. У практиці доводиться мати справу як з позитивними, так і негативними значеннями температур.

Вологовміст.

Вологовмістом вологого повітря називається кількість водяної пари в грамах, що припадає на кожен кілограм сухої частини повітря. Вологовміст позначається буквою *d*, а одиниця виміру г/кг с.п.

Кількість вологи, яка може максимально утримуватися в повітрі при атмосферному тиску, залежить від його температури, значно зростаючи при її підвищенні, як показано нижче в таблиці.

Таблиця 4.1 – Залежність вологовмісту від температури

t, °С	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
d, г/кг с.п.	0,77	1,79	3,8	7,63	14,7	27,3	48,9	86,3	152,0

Парціальний тиск водяної пари.

Кількість водяної пари, що знаходиться в повітрі, однозначно визначає парціальний тиск водяної пари $p_{вп}$ у вологому повітрі. Чим більше вологи, тим більше $p_{вп}$. Зв'язок між кількістю вологи і парціальним тиском водяних парів виражається наступними залежностями:

$$d = 623 / (P_{\delta} - p_{\text{ен}}), \quad (4.3)$$

$$p_{\text{ен}} = P_{\delta} / (623 + d), \quad (4.4)$$

де P_{δ} – барометричний (атмосферний) тиск, Па.

Таким чином, при збільшенні кількості водяної пари в повітрі, що знаходиться при деякій температурі t , відбувається зростання парціального тиску водяних парів. При деякому граничному вологовмісті парціальний тиск досягне значення тиску насичуючих водяних парів $p_{\text{нп}}$, тобто тиску над вільною поверхнею рідини, що знаходиться при тій же температурі t . Такий стан вологого повітря є граничним і називається *насиченим вологим повітрям*. Збільшити вологовміст повітря вище граничного неможливо, так як буде відбуватися конденсація вологи на центрах активації, і в повітрі з'явиться туман. Стан туману – це стан надмірної вологи в повітрі.

Відносна вологість.

Відносною вологістю вологого повітря називається відношення парціального тиску пари в повітрі до тиску насичуючих водяних парів. Зазвичай відносну вологість виражають у відсотках. Тоді формула для розрахунку відносної вологості буде:

$$\varphi = 100 \times p_{\text{ен}} / p_{\text{нп}}. \quad (4.5)$$

Для абсолютно сухого повітря $p_{\text{ен}} = p_{\text{нп}}$, і $\varphi = 100 \%$. При повному насиченні повітря водяними парами $p_{\text{ен}} = p_{\text{нп}}$, і $\varphi = 100 \%$. Відносна вологість, таким чином, є мірою ступеня насичення повітря водяними парами.

Ентальпія (теплотність).

Ентальпією вологого повітря називається кількість теплоти, яка потрібна на те, щоб перевести 1 кг абсолютно сухого повітря ($d = 0$), що знаходиться при 0°C , в якийсь інший стан з температурою t і вмістом вологи d .

З даного визначення випливає, що при $t = 0$ і $d = 0$ ентальпія повітря також дорівнює 0.

Ентальпія повітря вимірюється в кДж/кг с. (килоджоули на кілограм сухого повітря).

Температура точки роси.

Якщо вологе повітря, що має відносну вологість $0 < \varphi < 100 \%$, охолоджувати, то при зниженні температури буде зменшуватися тиск насичених водяних парів, що залежить тільки від температури. При цьому вологовміст повітря буде залишатися незмінним, а відносна вологість буде збільшуватися. В деякий момент при певній температурі значення $p_{\text{нп}}$ досягне значення $p_{\text{вп}}$. У цей момент відносна вологість досягне значення 100% – вологе повітря набуває стан повного насичення. При подальшому охолодженні $p_{\text{нп}}$ стане менше $p_{\text{вп}}$, і частина вологи почне конденсуватися на холодних поверхнях, що контактують з повітрям, або утворюється туман. Таким чином, подальше охолодження повітря призводить до його перенасичення вологою, що веде до випадання конденсату –

роси. Тому та гранична температура, до якої можна охолоджувати повітря без випадіння конденсату, і починаючи з якої

процес подальшого охолодження супроводжується випадінням конденсату, називається *температурою точки роси*.

Температура по мокрому термометру.

Температура мокрого термометра залежить від вологості повітря. Чим менше відносна вологість, тим нижче тиск парів в повітрі і тим інтенсивніше йде випаровування, тому температура буде нижче.

Температура мокрого термометра названа так тому, що цей процес використовується для вимірювання вологості повітря психрометричним методом, при якому використовуються два термометра – «сухий» і «мокрый». Сухий термометр показує просто температуру повітря. Кулька мокрого термометра обгорнута тонкою ганчіркою, яку змочують водою перед початком вимірювання. Знаючи показання двох термометрів, можна визначити вологість повітря.

I-d- діаграма вологого повітря.

В області вентиляції та кондиціювання повітря часто доводиться визначати ті чи інші параметри повітря. Щоб уникнути численних обчислень, їх зазвичай визначають за спеціальною діаграмою, складеною в 1918 році професором Л. К. Рамзіним. Вона носить назву *I-d-діаграми*. Вона дозволяє швидко визначити всі параметри повітря по двом відомим. Використання діаграми дозволяє уникнути обчислень за формулами і наочно відобразити вентиляційний процес. Аналогом I-d діаграми на заході є діаграма Мольє або психрометрическая діаграма.

Оформлення діаграми в принципі може бути декілька різним. Типова схема I-d-діаграми показано нижче на рисунку 4.1. Діаграма складена в косокутній системі координат I-d, на якій нанесено кілька координатних сіток і по периметру діаграми – допоміжні шкали. Шкала вологовмісту зазвичай розташовується по нижній кромці діаграми. Лінії постійних ентальпій представляють паралельні прямі, зазвичай йдуть під кутом 135° до вертикальних ліній вологовмісту. Косокутна система координат обрана для того, щоб збільшити робоче поле діаграми. У такій системі координат лінії постійних температур являють собою прямі лінії, що йдуть під невеликим нахилом до горизонталі і злегка розходяться вліво.

Робоче поле діаграми обмежене кривими лініями рівних відносних вологостей 0 % і 100 %, між якими нанесені лінії інших рівних значень відносних вологостей з кроком 10 %.

Шкала температур зазвичай розташовується по лівій кромці робочого поля діаграми. Значення ентальпій повітря нанесені зазвичай під кривою $\phi = 100\%$. Значення парціальних тисків іноді наносять по верхній кромці робочого поля, іноді по нижньому краю під шкалою вологовмісту, іноді по правій кромці. В останньому випадку на діаграмі додатково будують допоміжну криву парціальних тисків.

Визначення параметрів вологого повітря на I-d-діаграмі.

Точка на діаграмі відображає певний стан повітря, а лінія – процес зміни стану. Визначення параметрів повітря, що має певний стан, що відображається

точкою А, показано на рисунку 4.1.

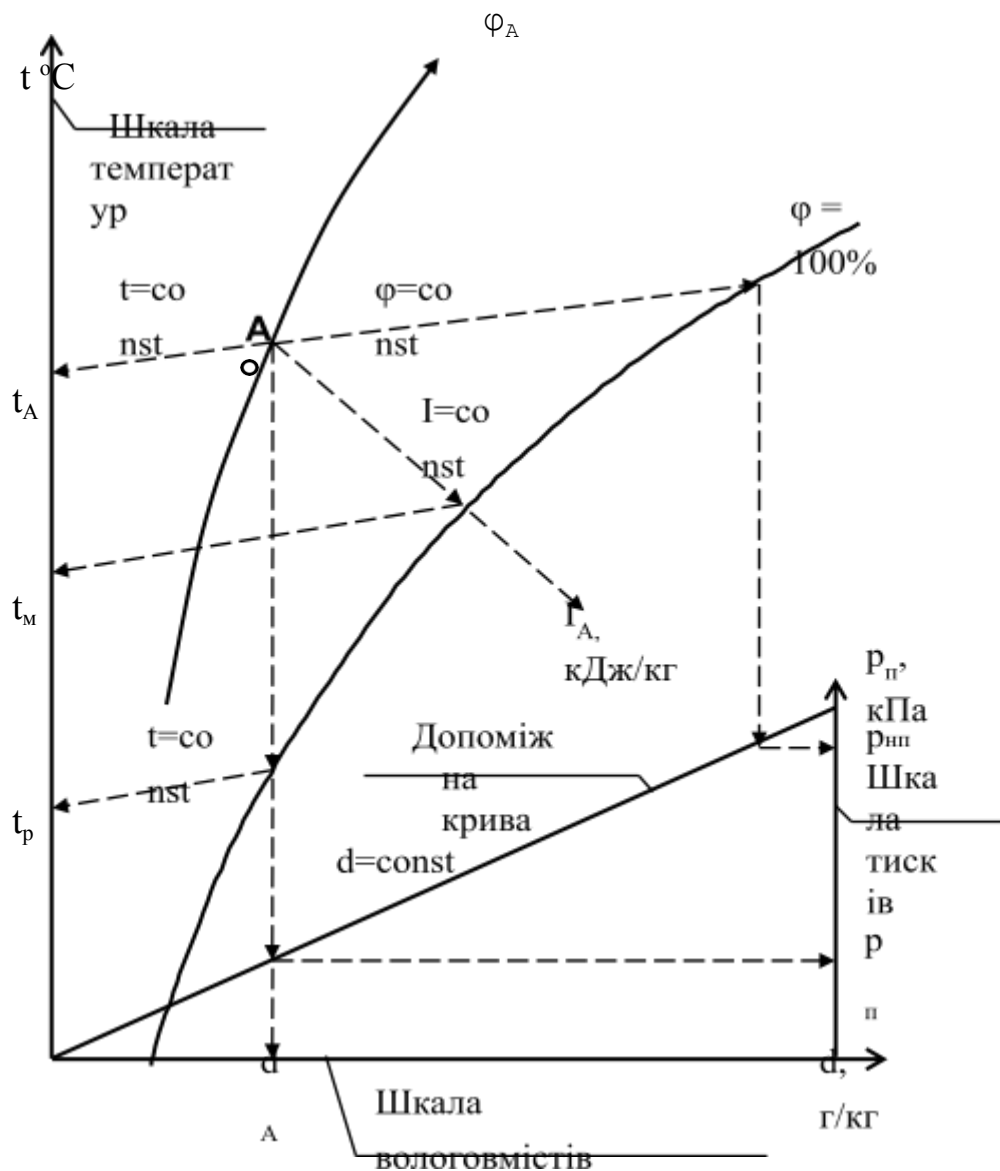


Рисунок 4.1 – Схема визначення параметрів вологого повітря на I-d-діаграмі