

Лекція. ПРИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Терміни та визначення

Вентиляція - це організований повітрообмін, що здійснюється з метою створення у приміщенні допустимих параметрів повітряного середовища.

Кондиціювання повітря є вищим ступенем вентиляції, основною метою якого є створення та автоматичне підтримання у приміщенні оптимальних параметрів повітряного середовища.

Повітрообміном називається заміна забрудненого повітря, яке знаходиться в приміщенні, на чисте повітря.

Допустимими називають параметри повітряного середовища, які при тривалому й систематичному впливі на людину можуть викликати зміну теплового стану організму, що супроводжується напруженням механізмів терморегуляції, зниженням працездатності, але не виводить організм людини за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття, але не порушується стан здоров'я людини.

Оптимальними називаються параметри повітряного середовища, які при тривалому й систематичному впливі на людину забезпечують збереження нормального теплового стану організму без напруження реакції терморегуляції. Вони забезпечують почуття теплового комфорту і створюють підставу для високої працездатності.

Метеорологічні параметри:

температура, t , °C (K);

відносна вологість, ϕ , %;

швидкість повітря, v , м/с.

Робоча зона (зона обслуговування) - це простір, обмежений за висотою 2 м понад рівнем підлоги, на якому знаходяться місця постійного (непостійного) перебування людей.

Мікроклімат приміщення - це метеорологічні умови внутрішнього середовища приміщення, що визначаються діючими на людину сполученнями температури, відносної вологості, швидкості пересування повітря і теплового випромінювання.

Теплий період року характеризується режимом роботи системи припливної вентиляції без підігріву припливного повітря.

Холодний період року характеризується такими параметрами зовнішнього повітря, при яких системи вентиляції (СВ) або системи кондиціювання повітря (СКП) даного об'єкта потребують підігріву припливного повітря.

Таким чином, теплий і холодний періоди року визначаються характеристикою тепловологісного режиму об'єкта та особливостями його СВ і (або) СКП.

Санітарно-гігієнічні основи вентиляції

Людина знаходиться в безперервній взаємодії з навколишнім середовищем. По-перше, людина дихає оточуючим її повітрям. За добу в середньому через легені проходить 15 кг повітря. По-друге, повітря омиває тіло людини і знаходиться з ним у тепловому контакті.

Тому для життєдіяльності організму людини важливі такі параметри повітря:

- метеорологічні (температура, відносна вологість, швидкість руху);
- хімічний склад повітря (відсотковий вміст кисню, вуглекислоти, наявність шкідливих парів та газів);
- запиленість повітря (пил органічний, мінеральний, кварцовий, азбестовий).

Надлишок (або недолік) теплоти й вологи, наявність шкідливих парів, газів і пилу в повітрі визначають негативний вплив середовища на людину і називаються шкідливостями.

Завданням СВ і СКП є боротьба зі шкідливостями. Найрозповсюдженими шкідливостями, що потребують залучення економічних та технічних засобів, є теплота і волога.

Теплообмін людини і навколишнього середовища. Організм людини виділяє теплоту, кількість якої залежить від характеру роботи, що виконується, метеорологічних параметрів навколишнього середовища.

Тепловіддача організму людини здійснюється конвекцією, випаруванням з поверхні шкіри та випромінюванням.

Конвективний теплообмін організму людини з навколишнім середовищем збільшується при зниженні температури повітря та підвищенні швидкості його пересування відносно поверхні тіла. Конвективний теплообмін зменшується до нуля, якщо температура поверхні тіла дорівнює температурі навколишнього середовища. У цьому випадку теплота віддається за рахунок випарування рідини з поверхні тіла. Чим вище температура навколишнього середовища, тим більша частка теплоти, що віддається випаруванням. Цю закономірність забезпечує система терморегуляції організму людини. Вона успішно справляється з вибором оптимального способу тепловіддачі та підтримує постійною температуру тіла.

Можливість віддачі теплоти за рахунок випарування рідини визначається ступенем насиченості повітря вологою. Процес інтенсифікується при збільшенні швидкості пересування повітря відносно поверхні тіла. Випарування вологи в насичене повітря неможливе при будь-якій швидкості повітря. Тут теплообмін випарування закінчується. Якщо при цьому температура навколишнього середовища дорівнює або вище температури поверхні тіла людини, настає перегрів організму, відмова системи терморегуляції, підвищення температури тіла – все це разом діагностується як "тепловий удар". Якщо не забезпечити відведення теплоти від організму людини, не минути летального виходу.

Як правило, при підвищених порівняно з комфортним рівнем параметрах зовнішнього середовища по температурі повітря та відносній вологості променистий теплообмін організму людини з навколишнім середовищем також буде не на його користь: тепловипромінюючі поверхні мають більш високу температуру, ніж поверхня тіла.

Променистий теплообмін може бути використаний при панельному опаленні житлових приміщень у холодний період року. Так, при температурі стін 24 °С комфортний стан людини можливий уже при температурі внутрішнього повітря приміщення 10 °С.

Променистий теплообмін є визначальним у теплообміні організму людини, яка знаходиться під впливом сонячних промінів або у виробничому приміщенні, де є обладнання з високотемпературними поверхнями.

У більшості випадків тепловий стан людини визначається процесами конвективного теплообміну та теплообміну при випаруванні рідини з поверхні шкіри. Взаємодія процесів, що керуються системою терморегуляції організму, видна з наведених у табл. дослідних даних за кількістю тепла й вологи, які виділяються дорослою людиною при легкій праці. Окремо при температурі навколишнього середовища $t_n \leq 20$ °С має місце віддача теплоти людиною більше необхідної. Потім при підвищенні температури, тепловіддача стабілізується на необхідному рівні. При температурі рівній і більшій за 35 °С теплообмін здійснюється на 96 % за рахунок випарування рідини з поверхні тіла. Тривала дія високої температури призводить до великої напруги терморегуляції організму, підвищеного навантаження на серце та зневоднення організму.

Таблиця. Кількість тепла й вологи, що виділяються дорослими людьми (чоловіками)

Температура навколишнього середовища, °С	10	20	25	30	35
Повна теплота, Вт	180	150	145	145	145
У тому числі:					
теплота, що віддається випаруванням, Вт	30	52	81	105	140
теплота, що віддається конвекцією, Вт	150	98	64	40	5
Відношення теплоти, що віддається випаруванням, до повної теплоти, %	20	35	60	72	96

Таким чином, СВ і СКП можуть значно полегшити виконання життєво важливих функцій організму людини. Підтриманням засобами вентиляції та кондиціонування повітря параметрів середовища, близьких до оптимальних, забезпечується висока працездатність людини та її добре самопочуття.

Вміст пилу в повітрі приміщення. Пил - це сукупність часток твердої або рідкої речовини в повітрі. Вивішені в повітрі частки називаються аерозолем.

Пил буває:

а) за походженням: мінеральний та органічний (рослинного і тваринного походження);

б) за дією на людину: нейтральний, токсичний (отруйні речовини), кремнієвий, азбестовий (канцероген);

в) за дисперсністю:

- великий, більше 50 мкм (легко затримується верхніми дихальними шляхами);

- середньої дисперсності, від 50 до 10 мкм (глибоко проникає у дихальні шляхи і частково в легені);

- дрібнодисперсний, менше 10 мкм (глибоко проникає в легені). Його найбільш важко уловлювати фільтрами, він є найбільш небезпечний.

Шкідливі пари й газу в повітрі приміщення. За класами небезпечності шкідливі пари й газу поділяються на:

I клас - надзвичайно небезпечні;

II клас - високо небезпечні;

III клас - помірно небезпечні;

IV клас - мало небезпечні.

За характером дії умовно поділяються на:

1) задушуючі (синильна кислота), що діють на органи дихання;

2) роздратовуючі (хлор, аміак), що діють на поверхню слизової;

3) наркотичні (ацетон, бензин), що діють на нервову систему;

4) отруючі (окис вуглецю), що діють на організм у цілому.

У повітря приміщення і, як наслідок, в органи дихання людини шкідливі пари й газу попадають частіше у виробничих приміщеннях при здійсненні технологічних процесів.

Оскільки абсолютно виключити попадання шкідливих парів і газів у повітря приміщення неможливо, їх вміст у повітрі визначається допустимими концентраціями (МДК), що виражаються в г/м^3 , мг/м^3 .

Величина МДК залежить від шкідливості речовини. Для шкідливих речовин, що діють на людину односпрямовано, повинна реалізуватися умова.

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{МДК}_i} \leq 1,$$

де C_i - концентрація і-го компонента, г/м^3 ;

МДК – межева допустима концентрація цього компонента, г/м^3 ;

i - порядковий номер компонента;

n - кількість односпрямовано діючих компонентів, шт.

Для розбавлення шкідливості до МДК система вентиляції повинна подати в приміщення об'єм свіжого повітря, який визначається за рівнянням

$$L = \frac{C}{\text{МДК} - C_{\text{гр}}}, \text{ м}^3/\text{год},$$

де C - кількість шкідливості, що надходить до приміщення, г/год. ;

МДК, $C_{\text{гр}}$ - відповідно МДК даної шкідливості та концентрація у припливному повітрі, г/м^3 .

Діючими нормами заборонено використання припливного повітря, в якому міститься більше 0,3 МДК шкідливості.

Герметизація обсягів, в яких знаходяться шкідливі пари й газу, а також локалізація шкідливостей у місцях найбільших концентрацій засобами витяжної вентиляції дозволяють значно зменшити об'єм повітря, що вентилюється, і знизити собівартість СВ.

Отже завданням вентиляції є боротьба зі шкідливостями, що надходять до приміщення.

Шкідливостями є надлишки (а також недостача) теплоти й вологи, пил, шкідливі пари й газу. Шкідливості до приміщення можуть надходити при виконанні технологічного процесу від його обладнання, а також із навколишнього середовища (пил, теплота, волога). Найбільш розповсюдженими шкідливостями є надлишки теплоти й вологи у теплий період року.

Теплообмін людини з навколишнім середовищем здійснюється в основному конвекцією та випаруванням рідини з поверхні шкіри. Теплообмін інтенсифікується при зниженні температури й відносної вологості повітря, а також при збільшенні швидкості повітряного потоку.

Властивості вологого повітря

Суміш сухого повітря з водяною парою називається вологим повітрям. Атмосферне повітря, що складається з кисню, азоту, вуглекислоти й невеликої кількості інертних газів, завжди містить деяку кількість водяної пари.

Згідно із законом Дальтона сума парціальних тисків газових компонентів дорівнює повному тиску суміші. Якщо розглядати вологе повітря як бінарну суміш сухого повітря і водяної пари, можна записати

$$P_{\text{б}} = P_{\text{пов}} + P_{\text{п}},$$

де $P_{\text{б}}$ - барометричний тиск вологого повітря, Па;

$P_{\text{пов}}$ - тиск сухого повітря. Па;

$P_{\text{п}}$ - тиск водяної пари. Па.

Відносна вологість повітря, яка є одним з основних метеорологічних параметрів, визначається за залежністю

$$\varphi = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{нп}}} \cdot 100\% ,$$

де $P_{\text{нп}}$ - парціальний тиск насиченої пари.

Відносна вологість повітря визначається як подане у частках одиниці або % відношення парціального тиску водяної пари повітря даного стану до парціального тиску насиченої водяної пари при тих самих температурі й барометричному тиску.

Вологовміст вологого повітря даного стану d визначається як кількість взятої у грамах маси водяної пари, що приходить на 1 кг сухого повітря.

Вологовміст можна визначити за формулою

$$d = 622 \frac{P_p}{P_b - P_p}, \text{ г/кг.с.п.}$$

Температура повітря вимірюється в $^{\circ}\text{C}$, якщо не позначена інша шкала (наприклад, K).

Ентальпія вологого повітря визначається за формулою

$$I_{\text{в.п.}} = I_{\text{с.п.}} + I_p, \text{ кДж/кг с.п.}$$

де $I_{\text{с.п.}} = C_{\text{с.п.}} t$ - ентальпія сухого повітря, кДж/кг с.п.

$C_{\text{с.п.}}$ - питома масова теплоємність сухого повітря, кДж/(кг $^{\circ}\text{C}$);

$I_p = (r_{t=0} + C_p t) d 10^{-3}$ - ентальпія водяної пари, кДж/кг с.п.;

$r_{t=0}$ - теплота пароутворення, кДж/кг води;

C_p - питома масова теплоємність водяної пари, кДж/(кг $^{\circ}\text{C}$).

Ентальпія вологого повітря може бути також подана у вигляді

$$I_{\text{в.п.}} = 1,005t + (2500 + 1.8t) d 10^{-3} \text{ кДж/кг с.п.}$$

3.4. Процеси зміни тепловологісного стану повітря

На тепловологісний стан повітря впливають багато зовнішніх і внутрішніх факторів, що обумовлюють зміну цього стану. Розрахунки процесів зручно виконувати графоаналітичним методом за допомогою I-d діаграми.

Побудова I-d діаграми вологого повітря здійснюється так:

а) на осі ординат відкладаємо в обраному масштабі від вільно обраної точки нулю температуру вологого повітря t , $^{\circ}\text{C}$, її позитивні й негативні значення;

б) вісь абсцис розташовуємо у верхній частині шкали температур і наносимо на неї значення вологовмісту повітря d , г/кг с.п. Точка перетину осей має $d = 0$. тобто на температурній шкалі знаходиться абсолютно сухе повітря;

в) ентальпія абсолютно сухого повітря визначається формулою

$$I_{\text{сп}} = 1,005t, \text{ кДж/кг с.п.}$$

Отже, з точністю до постійної ентальпія сухого повітря дорівнює його температурі й шкала температури може бути використана як шкала ентальпії;

г) звернемося до формули ентальпії вологого повітря, згідно з якою ентальпія вологого повітря є функцією незалежних змінних - температури та вологовмісту. Нехай лінії постійного значення вологовмісту будуть спрямовані

паралельно осі ординат, а ізотерми орієнтовані в напрямку, паралельному осі абсцис. Тоді лінії постійної ентальпії, починаючись на температурній шкалі (яка також є шкалою ентальпії), повинні бути спрямовані зліва направо і зверху донизу. Дійсно, при рухові зліва направо ентальпія вологого повітря буде збільшуватися за рахунок зростання "d", а постійною вона може залишатись лише в тому випадку, якщо при цьому буде відповідним чином падати температура повітрянопарової суміші.

Строго кажучи, лінія постійної ентальпії є кривою другого порядку, але практичного значення це не має - ізоентальпа в I-d діаграмі подається прямою лінією.

д) Криві постійної відносної вологості "d" будуюмо в наступному порядку:

- призначаємо барометричний тиск, для якого будуюмо I-d діаграму;
- домовляємося, яку криву відносної вологості будуватимемо, наприклад, $\phi=1$);
- призначаємо ряд температур насиченої повітряно-парової суміші й визначаємо відповідний ряд $P_{\text{нп}}$;
- використовуючи звісні $P_{\text{б}}$, ϕ , $P_{\text{нп}}$, за формулою обчислюємо d;

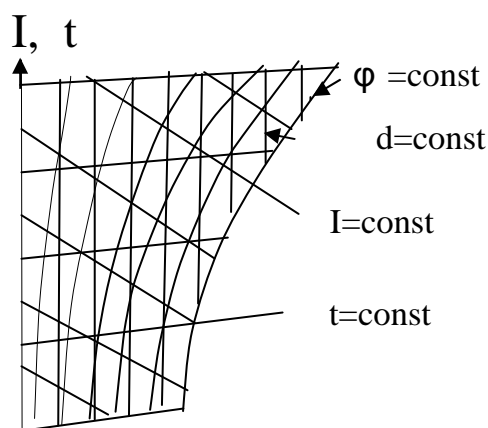


Рис. Основні лінії I-d діаграми

- для ряду обчислених значень d та відповідних значень $t = t_m$ у I-d діаграмі наносимо точки й з'єднуємо плавною кривою. Отримано криву постійної відносної вологості зі значенням $\phi = 1$ (або $\phi=100\%$).

Подібним чином будуюмо й криві іншої відносної вологості повітря.

Отже, для кожної точки I-d діаграми тепер можна визначити величини t, ϕ , I, d.

Температура мокрого термометра є одним з важливих параметрів вологого повітря. Температурою мокрого термометра ($t_{\text{м1}}$) повітря даного стану називається температура насиченого вологою повітря, одержана за умовою $I=\text{const}$

Температура мокрого термометра повітря $t_{\text{м1}}$ точки 1 визначається ізотермою точки перетину ізоентальпи з кривою відносної вологості $\phi=100\%$. Прилад, за допомогою якого визначається $t_{\text{м}}$, - психрометр, має два

термометри, один - для вимірювання температури повітря t_c , другий - для вимірювання температури t_m , який забезпечується просоченою водою батистовою "панчохою", надягнутою на термобалон цього термометра. Знаючи t_c та t_m , можна визначити всі параметри повітря даного стану.

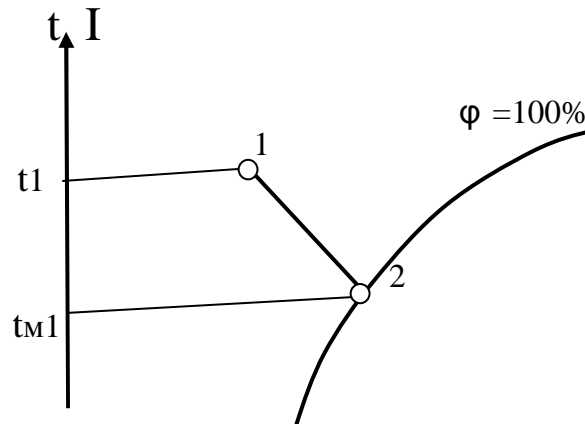


Рис. Температура мокрого термометра

Температура точки роси. Температурою точки роси повітря даного стану (t_{p1}) називається температура насиченого повітря при постійному d_1 . Температура точки роси t_{p1} повітря стану точки 1 визначається ізотермою точки перетину лінії постійного вологовмісту d_1 з кривою відносної вологості $\phi = 100\%$.

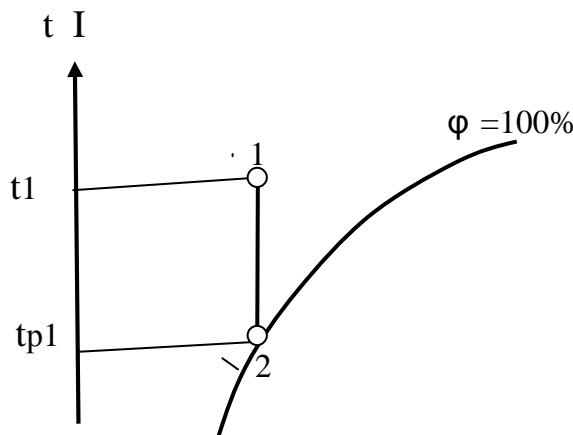


Рис. Температура точки роси

Температура tp_1 визначається за допомогою гігрометра. Основним елементом приладу є спеціальним чином охолоджена пластина, на поверхні якої конденсується волога з повітря даного стану. Знижуючи температуру поверхні пластини, можна визначити початок конденсації водяної пари. Температура, яка відповідає цьому, буде tp .

Парціальний тиск водяної пари. Використовується у практичних розрахунках СВ та СКП. I-d діаграму вологого повітря зручно доповнити кривою парціального тиску водяної пари, побудованою на той самий тиск, що й діаграма.

Побудова кривої парціальних тисків водяної пари:

1. Через обрану максимальну температуру насиченого вологою повітря t_n проводимо лінію паралельно осі ординат. На цій лінії в обраному лінійному масштабі відкладаємо значення парціального тиску водяної пари від 0 до значення $P_{пн}$, відповідного обраній t_n .

2. Через точки перетину вертикальних ліній t_n з горизонтальними лініями відповідних їм значень $P_{пн}$ проводимо криву парціальних тисків водяної пари.

Тепер вертикальна лінія, проведена через будь-яку точку в I-d діаграмі, при перетині з цією кривою дозволить визначити парціальний тиск водяної пари в повітрі даного стану (див. ключ).

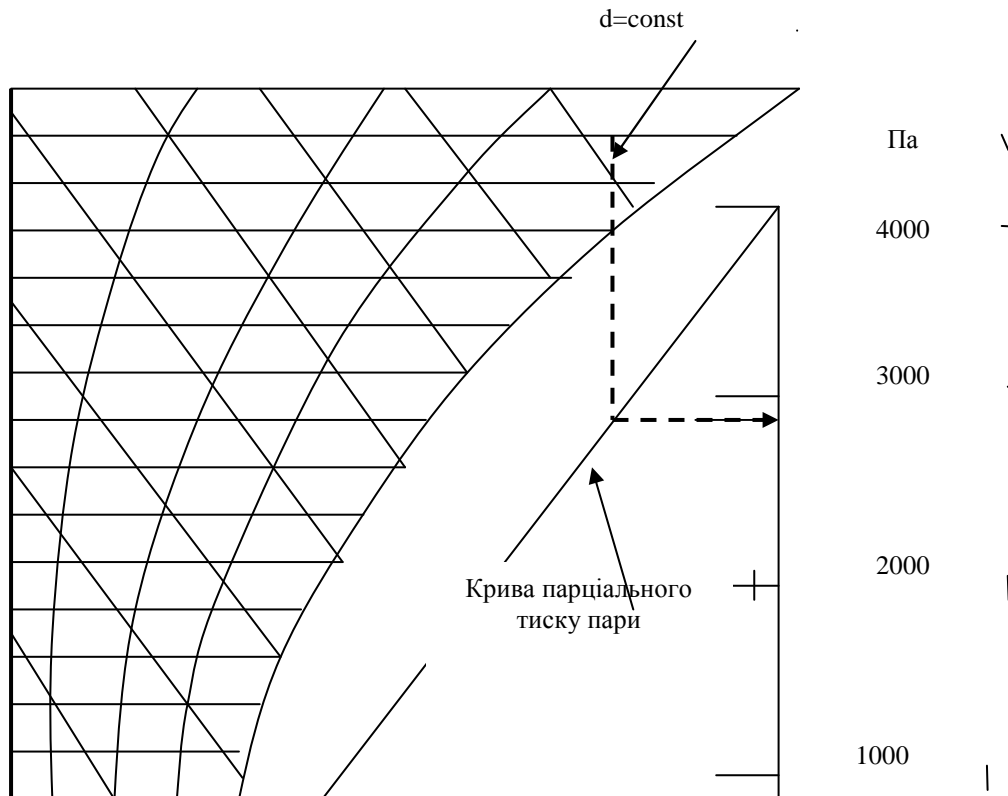


Рис. I-d діаграма з кривою парціального тиску водяної пари

Таким чином, за допомогою I-d діаграми можна встановити наступні параметри вологого повітря:

- температура t , °C;
- відносна вологість ϕ , %;
- ентальпія I , кДж/кг сухого повітря;
- вологовміст d , г/кг сухого повітря;
- парціальний тиск водяної пари $P_{в.п.}$, Па;
- температура мокрого термометра t_m , °C;
- температура точки роси t_p , °C.

Якщо маємо будь-які два з перерахованих вище, решту параметрів можна визначити за I-d діаграмою.

Лекція. Процеси зміни тепловологісного стану повітря в I-d діаграмі

Сукупність станів вологого повітря, які змінюються, називається процесом. Початковий і кінцевий стани повітря можуть позначатися цифрами або літерами.

Елементарним слід вважати процес, що здійснюється в будь-якому одному апараті або пристрої. Проміжні стани повітря при відображенні даного процесу в I-d діаграмі вважаються лежачими на прямій, що з'єднує точки початку (параметри входу повітря в апарат) і кінця (параметри виходу) процесу.

Комплексним називається процес обробки повітря, що складається із ряду послідовно здійснених елементарних процесів при використанні послідовно встановлених апаратів або пристроїв. Кінець попереднього елементарного процесу є початком наступного. Комплексний процес відображається в I-d діаграмі ломаною лінією.

Процеси нагріву і охолодження повітря при постійному волого вмісті

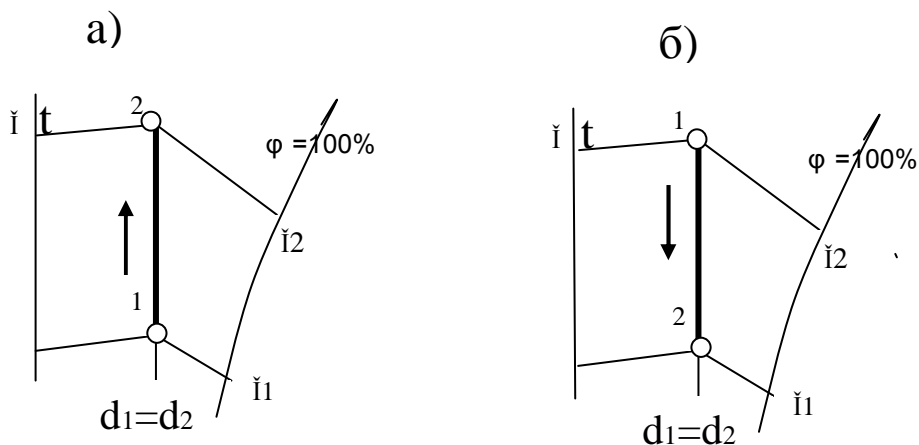


Рис. Процеси: а) нагріву і б) охолодження повітря при постійному вологовмісті

а) Нагрів повітря в СВ та СКП частіше здійснюється в холодний період року, коли тепловитрати приміщення перевищують надходження теплоти або коли необхідно поповнити обсяг повітря, що видаляється, зовнішнім, а без підігріву це зробити неможливо. На рис. а) представлений процес нагріву повітря від початкового 1 до кінцевого 2 стану. При цьому має місце зміна стану повітря, що характеризується параметрами:

- температура збільшується від t_1 до t_2 ;
- ентальпія збільшується від I_1 до I_2 ;
- вологовміст $d_1 = d_2 = \text{const}$;
- відносна вологість зменшується від ϕ_1 до ϕ_2 .

Практичний інтерес має визначення витрати теплоти на нагрів повітря. Це можна зробити за формулою

$$Q = m_v (I_2 - I_1),$$

де m_v - кількість повітря, що нагрівається.

б) Процес охолодження повітря частіше здійснюється в теплий період. Охолодження при постійному вологовмісті має місце тоді, коли температура охолоджуючої поверхні $t_{пов}$ знаходиться в діапазоні $t_1 > t_{пов} > t_{p1}$.

У даному процесі має місце:

- зменшення температури повітря від t_1 до t_2 ;
- зменшення ентальпії від I_1 до I_2 ;
- збільшення відносної вологості від ϕ_1 до ϕ_2 ;
- постійний вологовміст $d_1 = d_2 = \text{const}$.

Процеси охолодження повітря при зміні вологовмісту

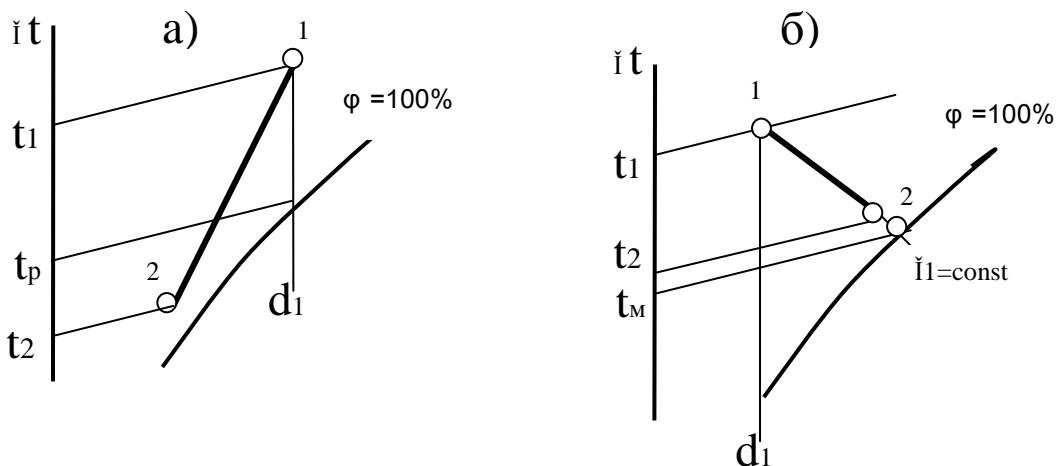


Рис. Процеси охолодження повітря із зміною вологовмісту:

а) охолодження із зменшенням вологовмісту повітря; б) випарне охолодження і зволоження повітря

а) Охолодження зі зменшенням вологовмісту повітря. Необхідною умовою (рис. а) здійснення процесу є

$$t_{пов} < t_{p1}.$$

Співвідношення параметрів повітря у початковому і кінцевому його стані таке саме, як і на рис. б, але при цьому $d_2 < d_1$, тобто має місце не тільки охолодження, але й осушення повітря.

Саме такий процес охолодження є переважним при необхідності забезпечити задані параметри температури й відносної вологості повітря приміщення.

б) Випарне охолодження і зволоження повітря. Якщо ненасичене повітря пропускати крізь розвинуту поверхню плівок або крапель води, то вода

буде випаровувати в повітря, повітря буде насичуватися вологою, а його температура буде знижуватися. Зниження температури повітря обумовлюється тим, що на випарування води теплота відбирається від повітря, яке зволожується.

Має місце така зміна параметрів повітря:

- зменшення температури повітря, $t_1 > t_2$;
- збільшення вологовмісту, $d_2 > d_1$;
- збільшення відносної вологості, $\varphi_1 < \varphi_2$;
- практично постійне значення ентальпії, $I_1 = I_2$.

Постійність ентальпії повітря у даному процесі дозволяє назвати його адіабатним (ізоентальпійним). Для здійснення такого процесу не потрібне джерело холоду.

Процеси нагріву і зволоження повітря, що відбуваються одночасно

Такі процеси мають місце, наприклад, у тих приміщеннях, де знаходяться люди (кінотеатри, театри, зали нарад та ін.). В I-d діаграмі процес представлений лінією 1-2 (рис.). Умовно його можна поділити на два послідовних у часі процеси 1-1' та 1'-2.

Лінія 1-1' характеризує умовний процес нагріву повітря з постійним вологовмістом. Приріст ентальпії в цьому процесі називається явною теплотою.

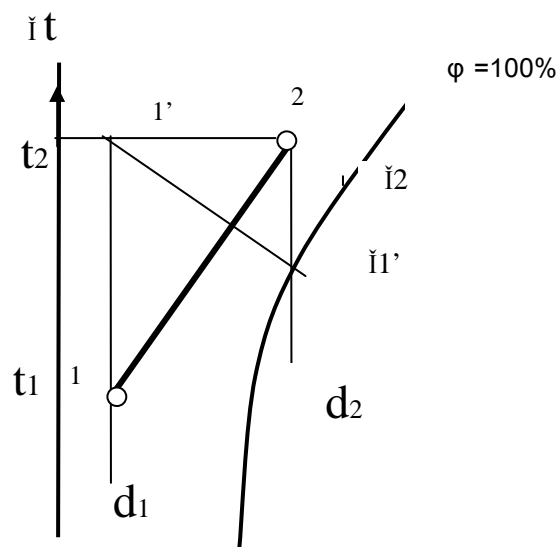


Рис. Процес нагріву повітря з одночасним його зволоженням

Її величина обумовлена виключно збільшенням температури повітряно-парової суміші.

Лінія 1'-2 співпадає з ізотермою t_2 і показує ту частину загального приросту ентальпії, що обумовлена збільшенням вологовмісту: $\Delta I_{пр} = I_2 - I_1'$. Цей приріст називається прихованою теплотою, оскільки на зміну цієї теплоти не реагує термометр.

Очевидно, що

$$\Delta I_{\text{я}} + \Delta I_{\text{пр}} = I_2 - I_1 = \Delta I_{\text{п}},$$

де $\Delta I_{\text{п}}$ - повний приріст ентальпії в процесі 1-2.

Кутовий коефіцієнт і кутовий масштаб процесів зміни стану вологого повітря

Залежно від співвідношення явної і прихованої теплоти змінюється напрям променя процесу 1-2. Цей напрям прийнято характеризувати відношенням

$$\varepsilon = \frac{I_2 - I_1}{\frac{d_2 - d_1}{10^3}}$$

і позначити ε - кутовий коефіцієнт процесу (рис. 1).

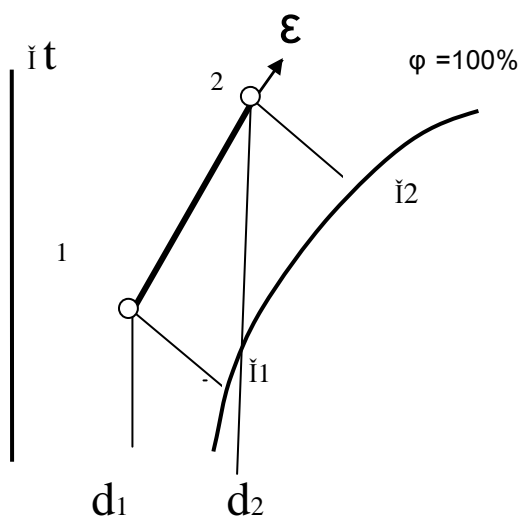


Рис. 1. Кутовий коефіцієнт процесу

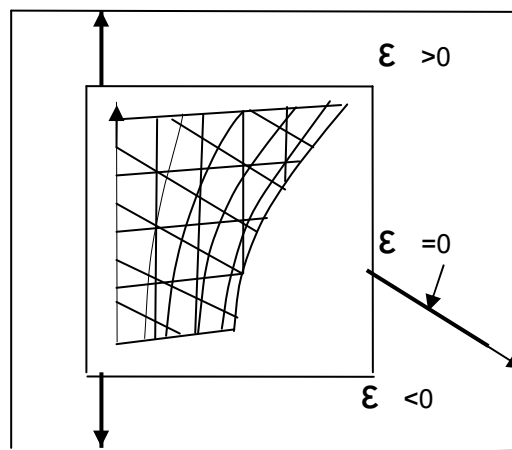


Рис. 2. Схема $\dot{I} - d$ діаграми з кутовим масштабом

Якщо $\varepsilon' = \varepsilon$, то промені процесів, які вони характеризують, паралельні між собою, звідси висновок: значення коефіцієнта ε визначає його направленість в $I-d$ діаграмі. Тому можна раніше побудувати промені процесів для дискретного ряду значень кутового коефіцієнта ε . Це називається кутовим масштабом. Кутовий коефіцієнт ε може приймати значення від $+\infty$ до $-\infty$. В $I-d$ діаграмі значення ε нанесені відповідно наведеній схемі (рис. 2).

$I-d$ діаграма наочно представляє процеси зміни стану повітря, дає при цьому їх кількісну і якісну характеристики, а кутовий масштаб спрощує розрахунки.

Зволоження повітря парою

Розглянемо на конкретному прикладі закономірності, пов'язані із зволоженням повітря парою. Нехай треба в повітря початкового стану I_1, d_1 з витратою m_B кг/с підмішувати G_1 кг/с, водяної пари і визначити кінцевий стан повітряно-парової суміші I_2, d_2 . Визначимо приріст ентальпії і вологовмісту повітря після його зволоження:

$$I_2 - I_1 = \frac{G \cdot I_{\text{п}}}{m_B},$$

$$\frac{d_2 - d_1}{1000} = \frac{G}{m_B},$$

$$\frac{I_2 - I_1}{\frac{d_2 - d_1}{1000}} = i_{\text{п}} = \varepsilon$$

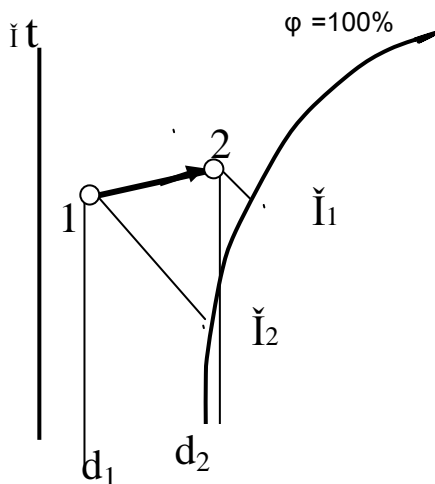


Рис. Процес зволоження повітря парою

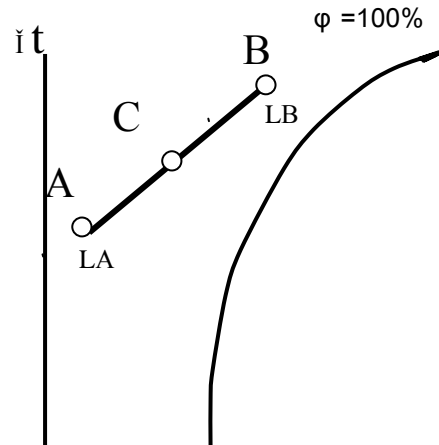


Рис. Змішування повітря різних обсягів та стану

Приймаючи температуру пари $t_{\text{п}} = 100^{\circ}\text{C}$ і використовуючи вираз для $I_{\text{п}}$, отримаємо $\varepsilon = i_{\text{п}} = 2680$ кДж/кг. Нанесемо промінь процесу на $I-d$ діаграму, отримаємо, що він практично співпадає з ізотермою точки I . Таким чином, при зволоженні повітря водою, що в ньому випарується, процес йде за $I = \text{const}$ ($\varepsilon = 0$), а при зволоженні парою - за ізотермою ($\varepsilon = i$).

Для того, щоб вирішити поставлену задачу визначення кінцевого стану повітря, потрібно:

- а) знайти кінцевий вологовміст суміші

$$d_2 = d_1 + \frac{G10^3}{m_B}, \text{ г/кг с.п.}$$

б) знайти в I-d діаграмі точку перетину лінії постійного вологовмісту d_2 з ізотермою t_1 . Ця точка визначить ентальпію повітря кінцевого стану I_2 .

Зміна стану повітря при змішуванні різних його обсягів та станів

Нехай є об'єми повітря L_A і L_B , стани яких визначені положенням в I-d діаграмі точок А і В. Необхідно знайти в I-d діаграмі деяку точку суміші С, параметри якої відповідають вихідним даним.

Складаємо рівняння балансу:

$$\text{за теплотою: } L_A I_A + L_B I_B = (L_A + L_B) I_C,$$

$$\text{за вологою: } L_A d_A + L_B d_B = (L_A + L_B) d_C,$$

або

$$I_C = \frac{L_A I_A + L_B I_B}{L_A + L_B};$$

$$d_C = \frac{L_A d_A + L_B d_B}{L_A + L_B}.$$

Позначимо $L_A/L_B = n$ і поділимо (3.16) та (3.17) на L_B

Маємо

$$I_C = \frac{n I_A + I_B}{n + 1}; d = \frac{n d_A + d_B}{n + 1}.$$

Після елементарного перетворювання отримаємо рівняння прямої, яка проходить через точки А, В, С:

$$n = \frac{I_B - I_C}{I_C - I_A} = \frac{d_B - d_A}{d_C - d_A}$$

Висновок: точка суміші С лежить на прямій, що з'єднує точки А і В.

Із (3.18) можна записати

$$\frac{d_B - d_C}{d_C - d_A} = \frac{BC}{CA} = n = \frac{L_A}{L_B}.$$

Загальний висновок: точка суміші С лежить на прямій, що з'єднує точки А і В, і поділяє відрізок прямої АВ на частини, обернено пропорційні об'ємам повітря, що вступають в суміш (рис.).

Визначення необхідного повітрообміну для обслуговування приміщень

Як вже відзначалося, основними шкідливостями, що надходять до приміщення, є теплота і волога. Очевидно, що максимальна кількість теплоти і вологи надходить до приміщення в теплий період, тому теплий період є

розрахунковим для визначення необхідного повітрообміну і вибору відповідного обладнання.

Визначення необхідного повітрообміну пов'язано з рядом питань, суттєвість яких і методика вирішення викладені в наступних розділах даної теми.

Лекція. Розрахункові параметри зовнішнього повітря

Параметри зовнішнього повітря залежать від кліматичного району, в якому розташований географічний пункт, періоду року, а також категорії параметрів (А або Б), що приймається залежно від характеру об'єкта і типу системи повітрообміну (припливно-витяжна вентиляція, системи кондиціонування I, II або III класу). Роль розрахункових параметрів зовнішнього повітря полягає в тому, що вони визначають необхідну потужність СВ або СКП, яка повинна забезпечувати задані параметри внутрішнього клімату при прийнятих розрахункових параметрах зовнішнього повітря.

Відповідно до СНіП 2.04.05-91^{хУ} застосовуються наступні категорії зовнішніх параметрів повітря:

- а) при розрахунку на теплий період
 - категорія А - всі СВ ,
 - СКП III класу,
 - категорія Б - СКП I класу ,
 - СКП II класу з коректуванням розрахункових значень температури і ентальпії.
- б) при розрахунках на холодний період
 - категорія Б - практично всі СВ та СКП.

Класи СКП

Формуються, виходячи з призначення СКП.

СКП I класу. Призначається для забезпечення метеоумов, потрібних для технологічного процесу при відповідному обґрунтуванні;

СКП II класу. Призначається для забезпечення метеоумов в межах оптимальних норм або потрібних для технологічних процесів;

СКП III класу. Призначається для:

- а) забезпечення допустимих норм, коли вони не забезпечуються вентиляцією;
- б) забезпечення метеоумов у діапазоні від допустимих до оптимальних норм при економічному обґрунтуванні.

Нормовані метеорологічні параметри внутрішнього повітря

Нормуються метеорологічні параметри - t , °C, ϕ , %, v , м/с.

Параметри диференціюються:

- за призначенням приміщення (житлові, громадські, адміністративно-побутові, виробничі);
- за категорією метеоумов (допустимі, оптимальні);
- за категорією робіт, що виконуються в приміщенні (легка, середня, важка);
- за періодом року (теплий, холодний).

Від значень параметрів внутрішнього повітря приміщень залежить величина енергоспоживання СВ і СКП. У зв'язку з цим параметри внутрішнього повітря треба приймати обґрунтовано. Рекомендується приймати як розрахункові верхні значення температури і відносної вологості в теплий період і нижні значення в холодний період року.

Для прикладу в таблиці наведені оптимальні значення температури, відносної вологості й рухомості повітря в приміщеннях житлових, громадських і адміністративно-побутових будівель.

Таблиця. Оптимальні параметри повітря

Період року	Температура °С	Відносна вологість, %	Швидкість повітря, не більше, м/с
Теплий	20...22	30...60	0,2
	23...25	30...60	0,3
Холодний	20...22	30...45	0,2

Надходження теплоти і вологи в приміщення

Кількість теплоти і вологи, що надходить до приміщення, визначає величину необхідного повітрообміну. Розрахунковим для визначення повітрообміну є період року.

У загальному випадку в приміщення можуть надходити теплота і волога від таких джерел:

- через огорожуючі конструкції приміщення;
- через світлові отвори;
- від технологічного обладнання;
- від виробів і матеріалів, що надходять до приміщення, температура яких значно відрізняється від температури повітря приміщення;
- від людей, що знаходяться у даному приміщенні.

Для адміністративно-побутових і громадських будівель найбільш вірогідні шкідливості й джерела їх надходження такі:

- теплота від сонячної радіації крізь світлові отвори;
- теплота крізь сумісне покриття;
- теплота й волога від людей.

Надходження теплоти від сонячної радіації крізь світлові отвори може бути суттєвим, особливо при південно-східній, південній та південно-західній орієнтації світлових отворів.

Розрахунок надходжень теплоти і вологи від людей виконують відповідно до (СНиП. 2.04.05.-91).

Кількість теплоти і вологи, що надходять до приміщення від людей, визначається за формулами

$$\begin{aligned} Q_{\text{л}} &= n \cdot g, \quad \text{кДж/год;} \\ W &= n \cdot w, \quad \text{кг/год,} \end{aligned}$$

де n - кількість людей, що знаходяться в приміщенні;

g, w - відповідно кількість теплоти і вологи, що надходять до приміщення від однієї людини.

Побудова процесу асиміляції теплоти і вологи в I-d діаграмі

Побудова процесу здійснюється в I-d діаграмі. На діаграмі відповідно вихідним даним до проекту наносять точки "Н" і "В" для теплого періоду року. Через точку "В" проводять промінь процесу асиміляції припливним повітрям надлишків тепла та вологи у приміщенні, що обслуговується. Кутовий коефіцієнт променя обчислюється за формулою

$$\epsilon_{\text{л}} = \frac{\sum Q_{\text{п}}}{\sum W},$$

де $\sum Q_{\text{п}}$ - сума надходжень повної теплоти в приміщення, кДж/год;

$\sum W$ - сума надходжень водяних парів у приміщення, кг/год.

При наявності кутового масштабу орієнтація променя " ϵ " здійснюється методом його паралельного переносу в точку В.

Оскільки в теплий період завданням СКП є асиміляція надлишків теплоти і вологи в приміщенні, температура і вологовміст припливного повітря повинні бути нижче, ніж відповідні параметри точки В (рис.).

Для процесу асиміляції теплоти і вологи, в результаті якого встановлюються задані параметри в зоні обслуговування, справедливі співвідношення

$$\sum Q_{\text{п}} = (I_{\text{в}} - I_{\text{п}}) \cdot m_{\text{в}} ;$$

$$\sum W = (d_{\text{в}} - d_{\text{п}}) \cdot m_{\text{в}} ;$$

де $I_{\text{в}}; I_{\text{п}}$ - ентальпія повітря відповідно в т. "В" і "П";

$m_{\text{в}}$ - кількість припливного повітря;

$d_{\text{в}}; d_{\text{п}}$ - вологовміст повітря в т. "В" і "П".

При постійних значеннях $Q_{\text{п}}$ та $I_{\text{в}}$ необхідна кількість припливного повітря " $m_{\text{в}}$ " буде тим меншою, чим нижче величина $I_{\text{п}}$. Менша кількість припливного повітря вигідна, оскільки при цьому зменшуються капітальні й експлуатаційні витрати на СКП. Мінімальна кількість припливного повітря

буде, якщо параметри припливного повітря взяти в точці перетину "ε" з кривою відносної вологості $\varphi = 100\%$. Якщо вологонадходження в приміщення відносно великі, промінь "ε" не перетинається з $\varphi = 100\%$. Для зменшення коливань температури у робочій зоні рекомендується визначитися з "робочою різницею температур" Δt_p , яку залежно від висоти приміщення слід приймати у межах 2...4 °С. Висота приміщень при цьому повинна знаходитися в межах 4...6 м.

Визначення повітрообміну

Графоаналітичний розрахунок процесу обробки повітря для теплого періоду року виконують у вказаних нижче складі й порядку виконання операцій.

а) Нанесення точок "Н" і "В" в I-d діаграмі (див. рис.).

б) Обчислення кутового коефіцієнта процесу для теплого періоду, його побудова в I-d діаграмі.

в) Вибір розрахункової різниці температур, Δt_p .

г) Визначення в I-d діаграмі положення точки "П", що характеризує параметри припливного повітря.

Точка "П" знаходиться на перетині променя процесу "ε" з ізотермою t_p .

$$t_p = t_b - \Delta t_p,$$

д) Потрібна кількість припливного повітря визначається за формулою

$$m_B = \frac{Q_n}{I_B - I_n},$$

е) Із т. "П" проводиться лінія $d_p = \text{const}$ до перетину з кривою відносної вологості $\varphi = 95\%$. Знайдена таким чином т. "К" з'єднується з т. "Н", що характеризує в I-d діаграмі параметри зовнішнього повітря теплого періоду року.

Відрізок "НК" відображає в діаграмі процес охолодження і осушення повітря в повітроохолоджувачі будь-якого типу (поверхневому або контактному); відрізок "КП" – процес нагріву повітря в повітронагрівачі другого підігріву (теплообмінник, що живиться гарячою водою, або електричний повітронагрівач).

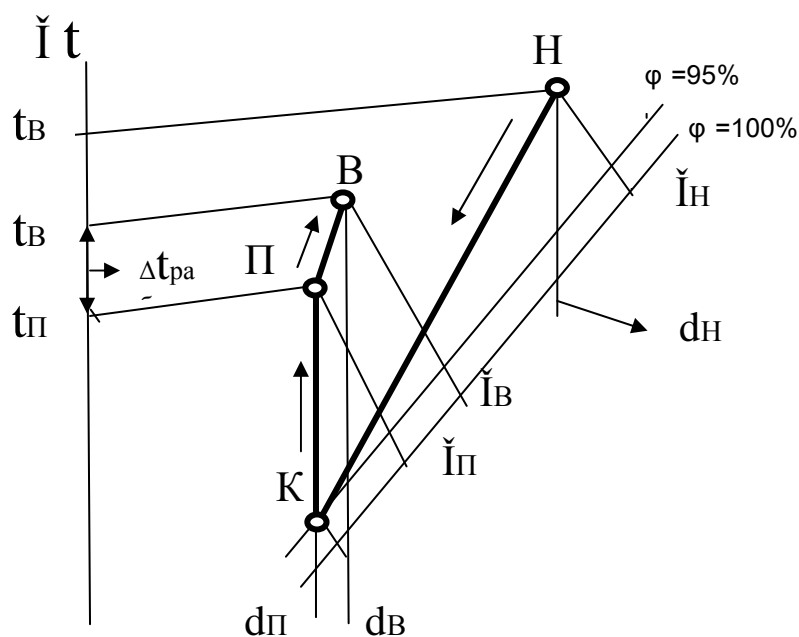


Рис. I-d діаграма процесу обробки повітря в теплий період року

Таким чином, вирішене основне завдання розрахунку - визначений повітрообмін приміщення і параметри припливного повітря, при яких в розрахунковому режимі теплого періоду забезпечується підтримання заданих параметрів внутрішнього повітря.

Крім цього, визначені потужності технологічних блоків, що оброблюють припливне повітря в теплий період (повітроохолоджувач, повітронагрівач, вентилятор).

Процес обробки повітря в холодний період

У холодний період причинами зміни температури та відносної вологості внутрішнього повітря громадських та адміністративно-побутових будівель є:

- надходження теплоти і вологи від людей;
- надходження теплоти від чергового опалення;
- втрати теплоти через конструкції, що огороджують приміщення

Завданням СКП (або СВ) є у цьому випадку подача припливного повітря таких параметрів, при яких забезпечується баланс теплоти й вологи.

Розрахунок та побудову процесу виконують у такому складі й порядку операцій:

а) Нанесення в I-d діаграмі точок "Н" і "В" для холодного періоду року (рис.).

б) Визначення величини тепловологонадходжень в приміщення і тепловтрати. При цьому надходження теплоти від чергового опалення і втрати теплоти через огороження будівлі (приміщення) розраховують за загальноприйнятими методиками, що наведені в курсі "Опалення", а

надходження теплоти й вологи від людей визначають аналогічно тепловому періоду з корекцією на нове значення тв .

в) Обчислення кутового коефіцієнта ϵ_3 , що характеризує зміну параметрів припливного повітря при асиміляції ім надлишків теплоти (або компенсації її витрат) приміщення та вологонадходжень від людей:

$$\epsilon_3 = \frac{Q_n}{W},$$

де

$$Q_n = Q_n^1 + Q_{q.o.} - Q_{ТП},$$

$Q_n^1; Q_{q.o.}; Q_{ТП}$ - відповідно надходження повної теплоти від людей, надходження теплоти від чергового опалення, втрати теплоти огороженням будівлі (приміщення);

W - кількість водяної пари, яка надходить від людей, що знаходяться в приміщенні.

При цьому можливі випадки: $Q_{п} \geq 0, Q_n < 0$.

Кількість вологи, що надходить до приміщення: $W \geq 0$. Тому можливі кутові коефіцієнти процесів:

$$\epsilon_3 \geq 0.$$

$$\epsilon_3 < 0.$$

Відповідно значенню ϵ_3 розташується в I-d діаграмі відрізок "ПВ".

г) Через точку "В" проводимо промінь процесу в приміщенні з кутовим коефіцієнтом ϵ_3 .

д) Визначаємо вологовміст припливного повітря d_p :

$$d_n = d_B - \frac{W \cdot 10^3}{m_B}.$$

е) Знаходимо точку перетину d_p і ϵ_3 , що визначає в I-d діаграмі параметри припливного повітря (точка "П").

ж) Знаходимо точку перетину лінії d_p і $i = 100\%$ - точку "К".

з) Через точку "К" проводимо ізоентальпу, а через "Н" - лінію d_p до перетину з ізоентальпою i_k . Точка перетину позначається "Т".

і) Порядок обробки повітря в технологічних блоках у холодний період року наступний:

"НТ" - підігрів зовнішнього повітря в повітронагрівачі I-го підігріву;

"ТК" - зволоження і охолодження повітря (адіабатний процес) у зволожувачі;

"КП" - підігрів повітря у повітронагрівачі II підігріву;

"ПВ" - промінь процесу компенсації тепловитрат і асиміляція вологонадходжень у приміщення.

Наведені розрахунки і побудова в I-d діаграмі дозволяють визначити початкові й кінцеві параметри кожного з елементарних процесів, послідовність яких формує комплексний процес обробки повітря в холодний період.

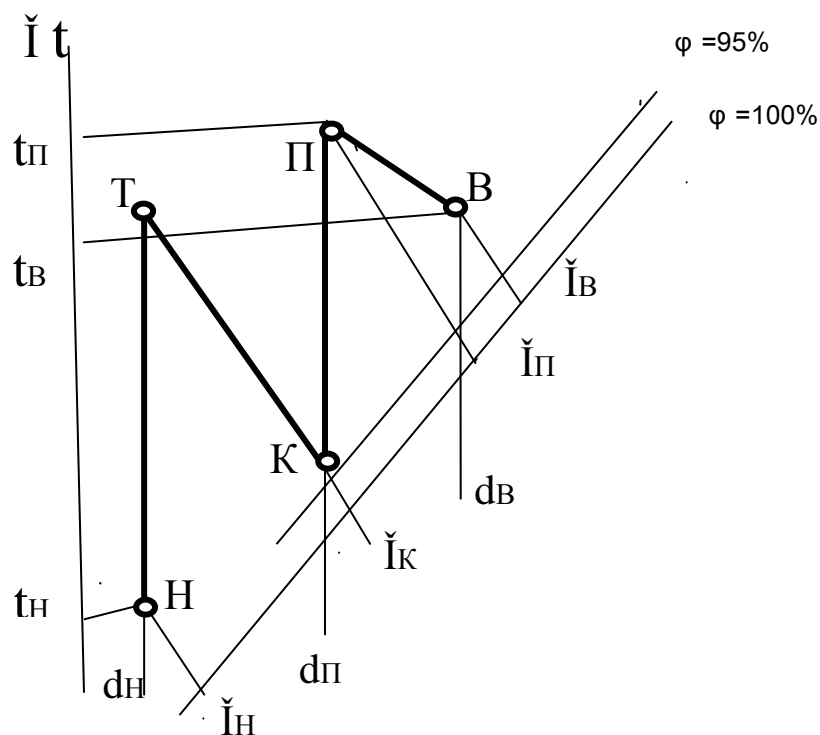


Рис. I-d діаграма обробки повітря в холодний період року при компенсації тепловитрат і асиміляції надлишків вологи

Особливістю розрахунку на холодний період є те, що до переліку заданих параметрів процесу не включена кількість припливного повітря. Вона дорівнює визначеному для теплого періоду.

Маючи кількість повітря, а також його початкові та кінцеві параметри, можна визначити конструктивні особливості, тепловий та гідравлічний режими роботи технологічних блоків. Крім того, на обладнання його поставником подаються послуги engineering, які розповсюджуються на весь діапазон інженерних робіт від розрахунків СВ або СКП з підбором і монтажем обладнання до розрахунків з визначенням конструктивних і режимних параметрів блоків, що виконуються за фірмовими розрахунковими методиками. Зрозуміло, інтереси замовника точніше всього можуть бути визначені самим замовником. Тому споживацькі параметри обладнання (початкові, кінцеві параметри повітря та його витрата, тобто результати наведених розрахунків) краще виконувати самостійно, а забезпечення споживацьких параметрів (конструктивні й режимні характеристики) обладнання покласти на поставника.

СВ і СКП для забезпечення температури повітря приміщення

Наведена вище методика може бути використана при розрахунку СКП будь-якого класу для прямоточних кондиціонерів будь-яких типів і розмірів, що забезпечують формування і підтримання двох параметрів внутрішнього повітря приміщень - температури і відносної вологості.

У тих випадках, коли в холодний період року достатньо додержання одного параметру - температури (системи припливної вентиляції), завдання стає простішим.

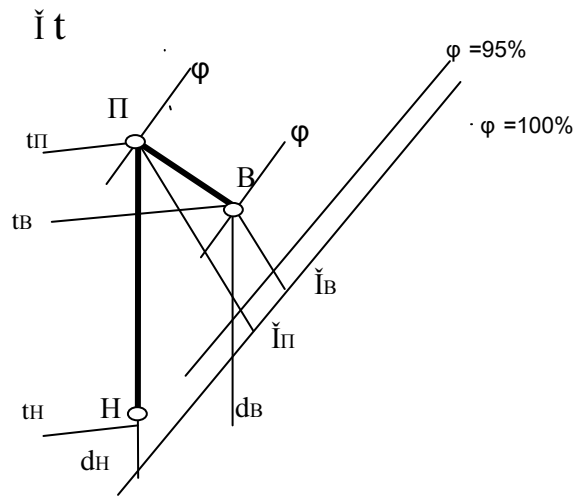


Рис. Зміна тепловологісного стану повітря при припливній вентиляції приміщення з вологонадлишками в холодний період року

"НП" - нагрів зовнішнього повітря у повітрянагрівачі;

"ПВ" - процес компенсації тепловтрат та асиміляції вологи.

Продуктивність установки за теплом встановлюють без урахування витрати теплоти на зволоження повітря:

$$Q = m_v \cdot c_p (t_{\text{п}} - t_{\text{в}}),$$

де c_p – питома масова теплоємність повітря.

Продуктивність такої СВ за повітрям визначається з використанням санітарної норми свіжого повітря на одну людину (20...70 м³/год). Підвищення вологовмісту внутрішнього повітря відбувається за рахунок надходження вологи від людей. Відносна вологість повітря не регламентується. СВ працює, як правило, паралельно з системою опалення, розрахованою на нормативну температуру приміщення. Якщо поповнення тепловтрат прийнятим "m_v" здійснюється без суттєвого перегріву припливного повітря, система опалення розраховується на температурний перепад чергового опалення. Останнє є більш економічним за витратою теплоти.

Для невеликих обсягів з незначними надходженнями теплоти та вологи в теплий період на СКП III класу може бути покладена функція підтримання у достатньо широких межах (± 2 °C) температури зони обслуговування при подачі санітарної норми зовнішнього повітря. Якість мікроклімату приміщень при цьому знижується, але зменшуються капітальні та експлуатаційні витрати на СКП. Може бути використане агрегатне обладнання з фіксованими параметрами холодопродуктивності та регулюванням пропусками (рис.). Мікроклімат, що забезпечується такою СКВ, має ряд особливостей:

1. Значний перепад між температурою припливного повітря $t_{\text{п}}$ і температурою внутрішнього повітря приміщень викликає нерівномірність температурного поля зони обслуговування.

2. Значення відносної вологості повітря в приміщенні не відповідає оптимальному, іноді ця невідповідність є дуже великою.

3. Мінімальна норма свіжого повітря в припливному повітрі після повітроохолоджувача кондиціонера знижає якість клімату приміщення.

Перераховані недоліки можна зменшити, якщо прийняти кондиціонер з більшою холодопродуктивністю, ніж потрібно за розрахунком. Тоді норму свіжого повітря можна буде збільшити, а регулюванням температури кипіння холодильного агента збільшити висадження вологи.

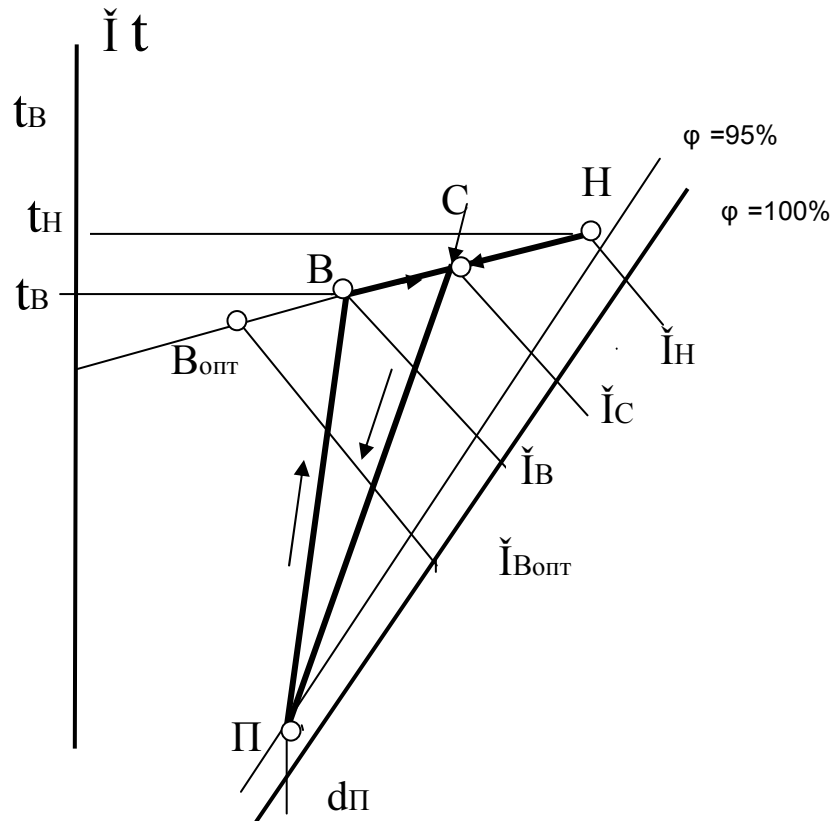


Рис. I-d діаграма процесу обробки повітря в теплий період в автономному побутовому кондиціонері

Висновки

Параметри зовнішнього й внутрішнього повітря, які приймаються для проектування, повинні відповідати вимогам об'єкта і класу системи, що застосовується.

У приміщеннях громадських та адміністративно-побутових будівель надходить теплота через сумісні покриття, світові отвори, а також від людей.

Зміна тепловологісного стану повітря в приміщенні характеризується кутовим коефіцієнтом "ε", що визначається як відношення кількостей повної теплоти і водяної пари, що надходять у приміщення за одну годину.

З метою зниження нерівномірності температурного поля в зоні обслуговування приміщень прийнято регламентувати робочу різницю температур перепадом 2...4 °С і призначати її залежно від висоти приміщення (4...6 м). При встановленні робочої різниці температур необхідно також враховувати, що зі зменшенням її збільшується кількість повітря, яке вентилюється, і зростають експлуатаційні витрати СКП та СВ.

При побудові комплексних процесів тепловологісної обробки повітря в I-d діаграмі для теплого і холодного періодів визначаються початкові й кінцеві стани повітря в кожному технологічному блоці. Це дозволяє розраховувати конструктивні й режимні параметри технологічних блоків кондиціонерів.

Розрахунковим для визначення продуктивності за повітрям СКП є теплий період року.

Підтримання лише одного параметра (температури) повітря приміщення, що обслуговується, знижує експлуатаційні витрати, але погіршує якість мікроклімату.

Контрольні запитання до розділу

1. Як передається теплота від людини до навколишнього середовища?
2. Як визначити об'єм повітря, що треба подати у приміщення для розбавлення шкідливостей до межової допустимої концентрації?
3. Чим відрізняються оптимальні параметри повітря в приміщенні від допустимих?
4. Як визначити відносну вологість повітря за допомогою I - d діаграми та психрометра?
5. Що характеризує кутовий коефіцієнт ϵ_3 ?
6. Навести рівняння балансу теплоти і вологи у приміщенні.
7. Як побудувати в I - d діаграмі процес кондиціонування повітря в теплий період року? в холодний?
8. В яких випадках треба застосовувати СКП 3 класу?