ЛЕКЦІЯ 5 ПОБУДУВАННЯ ПРОЦЕСІВ В I-d ДІАГРАМІ

5.1 Кутовий коефіцієнт променю процесу

В процесі зміни стану повітря змінює всі або деякі свої параметри. Процес зміни стану на I-d-діаграмі відображається прямою лінією (променем), що виходить з точки *А*, що відповідає початковому стану повітря. Точка кінцевого стану *Б* лежить на промені і обмежує відрізок з іншого боку. Для характеристики *напряму* зміни стану використовується поняття *кутового коефіцієнта променю процесу ε,* який зазвичай називають для стислості *кутовим коефіцієнтом:*

$$\varepsilon = 1000\,(I_Б - I_A) / (d_Б - d_A) = 1000\,\Delta I / \Delta d. \qquad (5.1)$$

У цьому рівнянь коефіцієнт 1000 (г/кг) служить лише для переводу одиниць виміру: значення кутового коефіцієнта виражено в кДж/кг, в той час як вміст вологи прийнято виражати в г/кг. Особливо відзначимо, що розмірність кутового коефіцієнта зовні збігається з розмірністю ентальпії повітря (кДж/кг), однак насправді це абсолютно різні величини: в знаменнику для ентальпії розуміється кілограм сухого повітря, а для кутового коефіцієнта – кілограм вологи.

Для будь-якого процесу однозначно можна визначити конкретне значення кутового коефіцієнта. Значимість цього параметра полягає в тому, що він характеризує нахил лінії променю процесу на I-d-діаграмі. Існує кілька типових процесів, для яких заздалегідь відомо значення кутового коефіцієнта.

Відмінність I-d-діаграми від звичної декартової системи координат полягає лише в тому, що вона косокутна: кут між осями ентальпій і вологовмісту зазвичай дорівнює 135°. У всьому іншому є майже повна аналогія. Вертикальна лінія і в тій і в іншій системі координат має кутовий коефіцієнт, що дорівнює нескінченності, кутовий коефіцієнт горизонтальної лінії в обох системах дорівнює 0.

Особливо підкреслимо, що кутовий коефіцієнт і на I-d-діаграмі *не може вказувати напрямок* променю процесу, а характеризує *тільки його нахил*.

5.2 Процеси нагріву і охолодження та їх відображення на I-d діаграмі

Чистий нагрів.

Процес нагрівання повітря від деяких джерел явного тепла (наприклад, нагрітих поверхонь) йде без зміни вологовмісту по лінії d = const вгору. Це дуже поширений процес, коли повітрю передається тільки тепло без вологи: тепловіддача від нагрівальних приладів або устаткування, нагрівання повітря в теплообмінниках (калорифери).

Теоретично, нагрів може йти необмежено вгору, тобто кінцеве значення температури може бути дуже великим. В вентиляції найчастіше мають справу з температурами до 70°, так як це граничне значення температури повітря, з якою його можна подавати в приміщення.

З огляду на те, що волога повітрю не передається, $\Delta d = 0$, і тоді

$$\varepsilon = 1000\,\Delta I / 0 = \pm\infty.$$

Відзначимо відразу ж, що знак кутового коефіцієнта в цьому процесі не визначений, так як значення 0 не має знаку, а є точкою зміни його. Лише умовно можна вважати, що процес чистого нагріву має $\varepsilon = +\infty$. Якщо Δd матиме нескінченно мале, але від'ємне значення, то знак зміниться на негативний. Фактично вертикальна лінія є кордоном стрибка знаку: найменший нахил її від вертикалі вліво призводить до негативного знаку, а найменший нахил вправо – до позитивного. Точно так же в декартовій системі координат тангенс кута 90° дорівнює $+\infty$, і функція тангенса в цій точці має розрив.

Чисте охолодження (без конденсації водяної пари).

Процес йде також без зміни вмісту вологи по вертикальній лінії d = const вниз, теоретично до кривої φ = 100 %. Цей процес можливий при контакті повітря з холодними поверхнями зовнішніх огороджень або обладнання. Кутовий коефіцієнт для даного процесу теж дорівнює нескінченності, умовно вважається, що знак негативний (ε = -∞).

Охолодження з конденсацією водяної пари.

Фактично це охолодження повітря нижче температури точки роси.

Якщо температура повітря вище точки роси, то процес спочатку йде як чисте охолодження, без зміни вмісту вологи по лінії d = const вниз до кривої φ = 100 %. В кінці цього процесу повітря приймає насичений стан (φ = 100 %). Потім процес йде вниз по лінії φ = 100 % до кінцевої температури. На другій стадії процесу деяка кількість вологи Δd випадає у вигляді конденсату. Саме цю другу стадію і слід розуміти як охолодження з конденсацією водяної пари.

Цей процес можливий при контакті повітря з холодними поверхнями зовнішніх огороджень, устаткування або холодною водою, які мають температуру нижче температури точки роси. У кондиціюванні цей процес використовується свідомо для осушення повітря.

При контакті теплого вологого повітря з холодним повітрям також відбувається охолодження з конденсацією, але волога випадає не на холодних поверхнях, а безпосередньо в обсязі повітря у вигляді туману.

З огляду на те, що в даному процесі ΔI < 0 і Δd < 0, тоді кутовий коефіцієнт ε = 1 000 ΔI /Δd > 0.

За рахунок сильного охолодження повітря може бути дуже сильно осушене. Вже при температурі -20 °С вологовміст вологого повітря всього 0,8 г/кг, а при більш низьких температурах він ще менший. Тому взимку зовнішнє атмосферне повітря має дуже маленький вологовміст навіть при відносній вологості більше 80 %.

5.3 Процес адіабатного охолодження повітря і його відображення на I-d-діаграмі

Процес адіабатного охолодження повітря при контакті з водою, що має температуру мокрого термометра, йде за рахунок випаровування вологи, при якому явна теплота повітря переходить в приховану теплоту водяної пари. Тому даний процес називають також прямим випарним охолодженням. З огляду на те, що явне тепло, витрачене на випаровування вологи, повертається знову в повітря у вигляді прихованого тепла, ентальпія повітря в цьому процесі змінитися не може. На I-d-діаграмі процес йде по лінії I = const вниз до кривої φ = 100 %. З огляду на те, що теплота повітря не передається, ΔI = 0, і тоді

$$\varepsilon = 1000\ 0 / \Delta d = 0.$$

Це поширений процес, здійснюваний в основному в форсункових зрошувальних камерах кондиціонерів шляхом розпилення форсунками

безперервно циркулюючої води в обсязі камери, через яку проходить повітря що обробляється. Основна умова – досить велика поверхня масообміну, що

досягається за рахунок дрібного розпилу води. Реально досягається відносна вологість повітря близько 95 %. Адіабатичне охолодження може бути здійснено і в апаратах з пористої насадкою (зрошувані шари), при зрошенні циркулюючої водою.

Крім того, є пристрої для випарного охолодження шляхом дрібного розпилу води безпосередньо в повітря приміщень. Вони мають, як правило, відносно невелику продуктивність.

5.4 Процес зволоження повітря парою і його відображення на I-d-діаграмі

Зволоження повітря парою здійснюється при безпосередньому випуску пари в приміщення, а частіше в кондиціонерах комфортного і технологічного кондиціонування при зволоженні повітря паровими зволожувачами. Пара подається безпосередньо в припливний повітропровід через перфоровану трубку, розташовану всередині нього. Сам процес випаровування води, тобто приготування пара, здійснюється в окремому пристрої – парогенераторі. Найчастіше для випаровування використовується електричний нагрів. Конструкція парогенератора дозволяє плавно регулювати кількість утворюваної пари змінюючи витрату води, що подається до нього або змінюючи потужність нагрівача.

Враховуючи, що випаровування відбувається при атмосферному тиску, температура пари майже завжди близько 100 °С. При цьому явне тепло, яке несе пара, становить лише 6 % від загальної теплоти, а 94 % припадає на приховану теплоту пароутворення. Тому можна вважати, що в повітря вноситься лише приховане тепло, і процес йде практично по лінії t = const (насправді трохи вище), в межі до кривої φ = 100%. Кутовий коефіцієнт променю процесу приблизно відповідає прихованій теплоті пароутворення (ε = 2 500), насправді трохи більше.

При високій відносній вологості повітря пара починає конденсуватися на холодних поверхнях, локально утворюючи в об’ємі повітря зони туману, тобто краплинної вологи. При конденсації виділяється явне тепло, так як відбувається процес перетворення прихованого тепла в явне. При цьому повітря і поверхні, на яких відбувається конденсація, підвищують свою температуру. Точний розрахунок такого процесу скрутний через необхідність урахування локальних температур повітря і поверхонь.

5.5 Осушення повітря. Обробка повітря сорбентами

Під терміном «сорбенти» тут розуміються будь-які пористі гігроскопічні речовини. здатні поглинати вологу. Одним з найбільш відомих сорбентів з високим поглинанням вологи є силікагель. Він випускається у вигляді невеликих гранул і закладається в невеликих мішечках в упаковки для різних приладів і апаратів для стабілізації вологісного режиму.

Не розглядаючи тут докладно фізичні основи процесів сорбції та десорбції, відзначимо лише найбільш важливу особливість твердих сорбентів – при зміні температури сорбенту рівноважна відносна вологість повітря майже не змінюється (рис. 5.1).

При достатньо великій кількості сорбенту можна вважати, що повітря, що знаходиться з ним в контакті, приймає відносну вологість, відповідну рівноважної вологості сорбенту. Процеси нагрівання і охолодження повітря в замкнутому об'ємі при цьому йдуть практично по лінії φ = const (вгору при нагріванні і вниз при охолодженні). Сорбент виконує роль стабілізатора вологості.

Даний процес може використовуватися в замкнутих приміщеннях з радіоелектронним обладнанням для стабілізації їх вологісного режиму. Використання сорбенту дозволяє згладити скачки коливань вологості, викликані зміною температурного режиму, пов'язані з різкою зміною споживаної електричної потужності.

Крім твердих сорбентів для обробки повітря можуть застосовуватися рідкі сорбенти – розчини солей. Рівноважна вологість повітря над розчином солі залежить від концентрації розчину і температури.

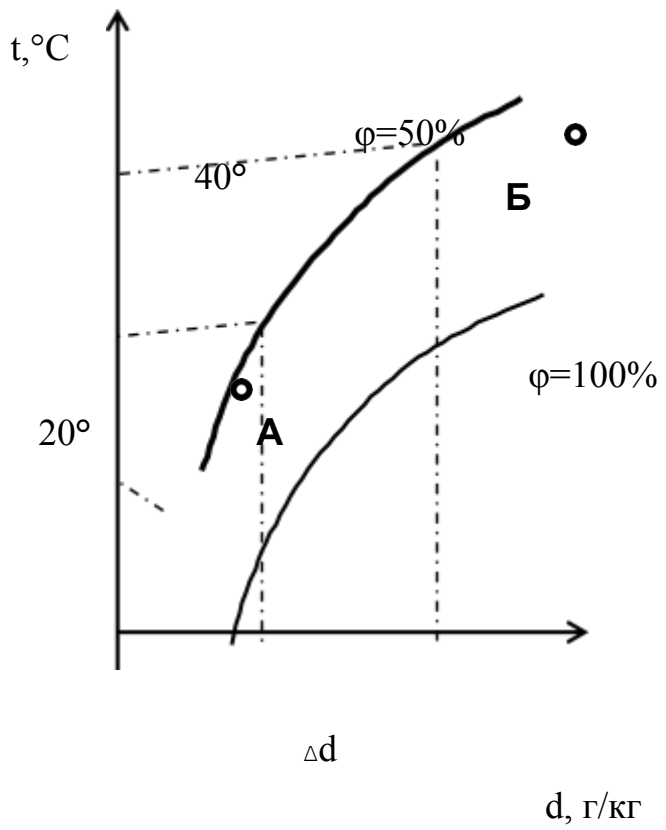

Рисунок 5.1 – Нагрівання замкнутого об'єму повітря з твердим сорбентом

5.6 Змішування вологого повітря

Особливим процесом є процес змішування двох кількостей повітря (або двох витрат), початкові стан яких на I-d-діаграмі відображаються точками А і Б.

В результаті змішування обидва повітря змінюють свій стан і приймають кінцеве стан суміші, що відображається на діаграмі точкою $C_{АБ}$, яка лежить на прямому відрізку, що з'єднує точки початкових станів А і Б (рис. 5.2).

Положення точки С на відрізку АБ може бути визначено за значенням будь-якого з трьох параметрів (температура, вміст вологи і ентальпія), яке визначається з рівнянь збереження:

$$G_C = G_A + G_Б,$$

$$c\, G_C\, t_C = c\, G_A\, t_A + c\, G_Б\, t_Б,$$

$$G_C\, d_C = G_A\, d_A + G_Б\, d_Б,$$

$$G_C\, I_C = G_A\, I_A + G_Б\, I_Б.$$

Як видно, принциповий вид і сенс рівнянь для будь-якого параметра однаковий: кількість речовини або теплоти в суміші дорівнює сумі вкладів двох складових.

Вибір, який саме параметр використовувати для визначення положення точки суміші, ґрунтується на принципі досягнення максимальної точності побудови. якщо кількості що змішуються мають приблизно рівні вологовмісти, то немає сенсу визначати параметр d_C, так як це дасть велику похибку, а слід визначити параметр t_C, при якому точність побудови буде максимальна.

Таким чином, слід дотримуватися простого правила:

– для приблизно вертикальних ліній змішування краще визначати параметр I_C;

– для приблизно горизонтальних ліній змішування краще визначати параметр d_C;

– для ліній змішування, нахилених приблизно під кутом 45°, краще визначати I_C.

У деяких випадках точка суміші при побудові може потрапити нижче кривої φ = 100 %. Такого стану повітря не може бути, тому при змішуванні частина вологи конденсується у вигляді туману. При цьому з повітря з вологою йде частина прихованого тепла, проте майже така ж кількість теплоти конденсації надходить в повітря в явному вигляді. Тому загальний тепловміст повітря не змінюється, і реальна точка суміші буде розташована на перетині кривої φ = 100 % і лінії, проведеної по I = const з попередньої точки суміші С. Приклад такої побудови показаний на рисунку 5.2 вихідні стану повітря відображаються точками Е і Д, а результат змішування відповідає точці $C_{ДЕ}$. Кількість вологи Δd випадає у вигляді конденсату, тобто туману.

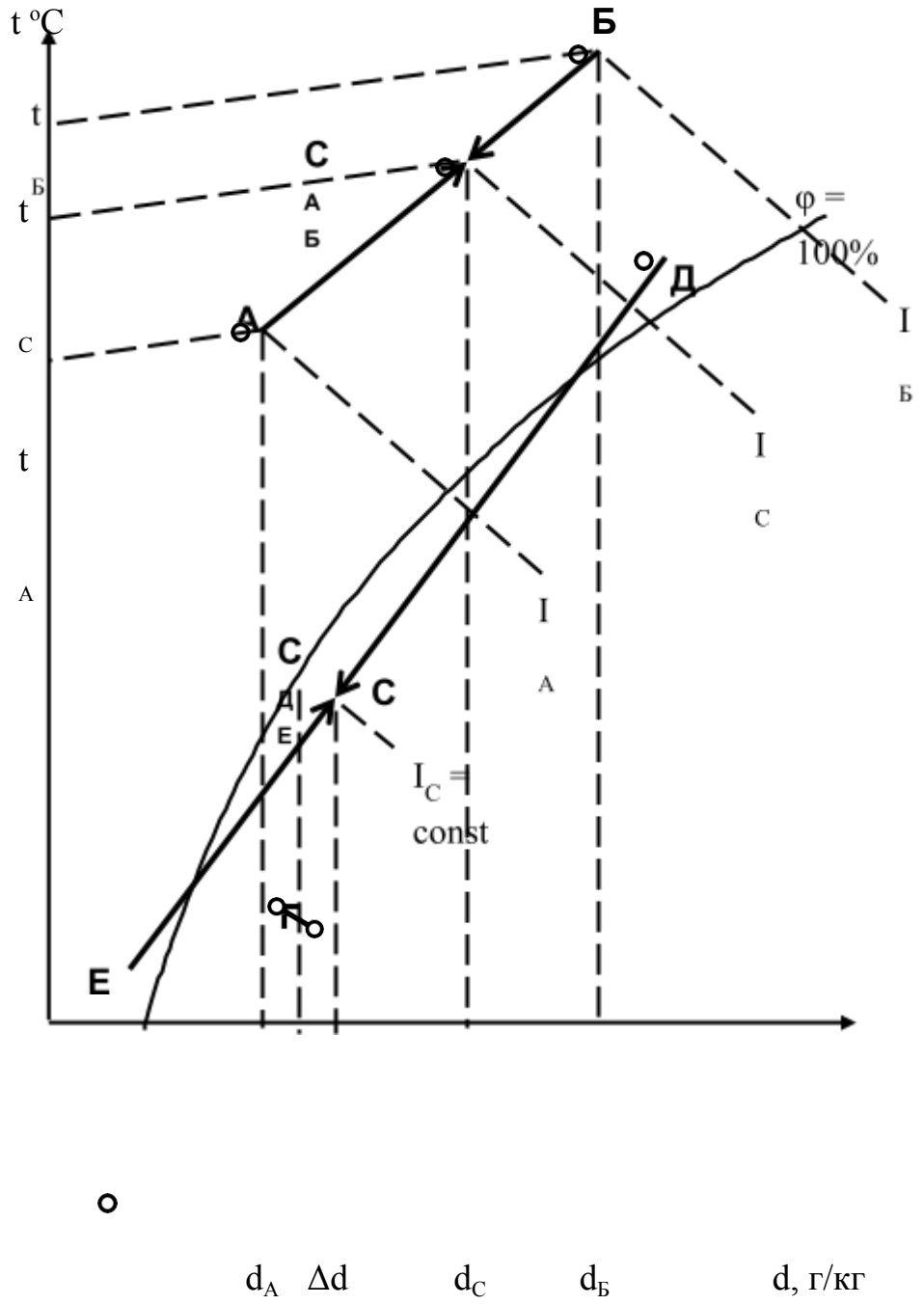

Рисунок 5.2 – Процеси змішування повітря на I-d-діаграмі