

**РАБОТА ТД-04**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**  
**ВО ВЛАЖНОМ ВОЗДУХЕ**

Цель работы – ознакомление с основными параметрами влажного воздуха; проведение экспериментального исследования по определению изменения параметров влажного воздуха в различных термодинамических процессах.

Продолжительность работы – 4 ч.

**Основы теории**

Такие широко используемые в технике газы, как атмосферный воздух или продукты сгорания топлива, всегда содержат водяной пар. Даже небольшое содержание водяного пара при определенных условиях может оказать существенное влияние на термодинамические свойства парогазовых смесей. Если же доля пара оказывается значительной или возможно протекание процесса конденсации пара, то парогазовую смесь следует рассматривать как особое рабочее тело с необычными для пара или газа термодинамическими свойствами. Такие процессы изменения состояния парогазовой смеси используются в технике. Примерами могут служить процессы сушки материалов, сжатия воздуха в компрессорах, кондиционирования воздуха и т. д.

Влажным воздухом называют смесь сухого воздуха и водяного пара. В общем случае воздух может содержать пары и других веществ (спирта, аммиака и т. п.). Содержание водяного пара в атмосферном воздухе зависит от метеорологических условий, а также от наличия источников испарения воды.

Практический интерес представляет применение влажного воздуха при ограниченных диапазонах значений температуры и давления (значения температуры не ниже  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  и значения давления, близкие к значению атмосферного давления). В этих условиях воз-

дух находится в газообразном состоянии, а вода может находиться в газообразном, жидком или твердом состоянии. Поэтому количество водяного пара в парогазовой смеси не может быть произвольным. Предельное содержание водяного пара во влажном воздухе определяется полным давлением и температурой парогазовой смеси.

Если при заданных давлении и температуре воздух содержит максимально возможное количество водяного пара, то в этом состоянии воздух принято называть насыщенным; если же возможно поглощение воздухом дополнительного количества водяного пара, то влажный воздух называют ненасыщенным. В насыщенном воздухе водяной пар находится в насыщенном состоянии, а в ненасыщенном воздухе – в перегретом состоянии.

### Основные параметры влажного воздуха

Максимальное давление пара в насыщенном воздухе равно давлению насыщенного водяного пара при температуре воздуха и зависит только от этой температуры (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Давление пара в зависимости от температуры воздуха

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$
-20	0,104	+20	2,333
0	0,611	+40	7,332

Для иллюстрации различных состояний влажного воздуха на рис. 4.1 представлена диаграмма  $v$ - $p$  состояния воды и водяного пара. Сплошная линия  $k$ - $c$ - $b$ - $d$  называется верхней пограничной кривой (ВПК) и представляет собой геометрическое место точек, соответствующих состоянию насыщенного пара. Слева от ВПК расположена область двухфазного состояния смеси жидкости и насыщенного пара, справа – область состояния перегретого пара. Пунктирными линиями изображены изотермы ( $t_1 > t_2$ ). В области двухфазного состояния смеси воды и водяного пара изотермы совпадают с соответствующими изобарами. Если состоянию пара во влажном воздухе соответствует точка  $a$ , это означает, что влажный воздух является ненасыщенным, парциальное давление перегре-

того пара в смеси жидкости и пара равно  $p_{\text{п}}$ , оно меньше давления насыщения  $p_{\text{н}}$ , соответствующего температуре  $t_1$  (точке  $c$ ). Если охладить такой ненасыщенный влажный воздух до температуры  $t_2$  при постоянном давлении  $p_{\text{п}}$ , то водяной пар станет насыщенным (точка  $b$ ). Температура  $t_2$  называется температурой точки росы. Дальнейшее охлаждение влажного воздуха приведет к конденсации части паров воды и образованию тумана.

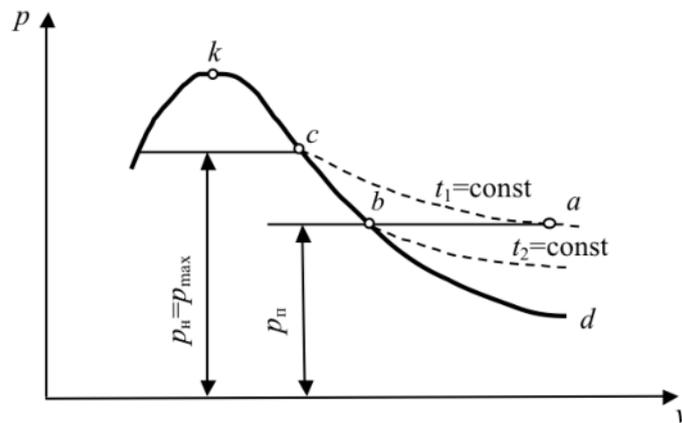


Рис. 4.1. Диаграмма  $v$ - $p$  состояния воды и водяного пара

Влажный воздух с достаточной степенью точности можно считать смесью идеальных газов и применять к нему уравнение Клапейрона

$$pV = mRT, \quad (4.1)$$

где  $p$  – давление смеси, Па;  $V$  – объем, занимаемый смесью,  $\text{м}^3$ ;  $m$  – масса парогазовой смеси, кг;  $R$  – газовая постоянная смеси, Дж/(кг · К);  $T$  – температура смеси, К.

Согласно закону Дальтона

$$p_{\text{в.в}} = p_{\text{с.в}} + p_{\text{п}}, \quad (4.2)$$

где  $p_{\text{в.в}}$  – давление влажного воздуха;  $p_{\text{с.в}}$  – парциальное давление сухого воздуха;  $p_{\text{п}}$  – парциальное давление паров воды.

Абсолютная влажность воздуха равна массе водяного пара, содержащегося в  $1 \text{ м}^3$  влажного воздуха. Так как влажный воздух представляет собой парогазовую смесь, то объем пара в этой смеси равен объему всей смеси. Отсюда абсолютная влажность воздуха

может быть выражена как плотность пара  $\rho_{\text{п}}$  при парциальном давлении пара  $p_{\text{п}}$  и температуре смеси. Согласно данному определению выражение для абсолютной влажности будет иметь вид

$$\rho_{\text{п}} = \frac{m_{\text{п}}}{V}, \quad (4.3)$$

где  $m_{\text{п}}$  – масса пара, кг;  $V$  – объем влажного воздуха, м<sup>3</sup>.

Относительная влажность воздуха  $\varphi$  представляет собой отношение абсолютной влажности воздуха  $\rho_{\text{п}}$  к максимально возможной плотности пара при данной температуре  $\rho_{\text{н}}$ :

$$\varphi = \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{н}}} \cdot 100 \%. \quad (4.4)$$

Для идеальных газов отношение плотностей компонентов парогазовой смеси можно заменить отношением парциальных давлений:

$$\varphi = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{н}}} \cdot 100 \%, \quad (4.5)$$

где  $p_{\text{п}}$  – давление водяного пара во влажном воздухе;  $p_{\text{н}}$  – давление насыщенного пара при температуре влажного воздуха.

Влагосодержание  $d$  влажного воздуха представляет собой отношение массы водяного пара во влажном воздухе к массе сухого воздуха  $m_{\text{с.в.}}$ :

$$d = \frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{с.в.}}} = \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{с.в.}}}. \quad (4.6)$$

Определив массы сухого воздуха и водяного пара из уравнения (4.1) и подставив их в уравнение (4.6) с учетом (4.2), получим формулу для расчета влагосодержания  $d$ :

$$d = \frac{p_{\text{п}} V / (R_{\text{п}} T)}{R_{\text{с.в.}} V / (R_{\text{с.в.}} T)} = \frac{\mu_{\text{п}} p_{\text{п}}}{\mu_{\text{с.в.}} (p_{\text{в.в.}} - p_{\text{п}})} = 0,622 \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{в.в.}} - p_{\text{п}}}, \quad (4.7)$$

где  $R_{\text{п}} = R_0 / \mu_{\text{п}}$ ,  $R_{\text{с.в.}} = R_0 / \mu_{\text{с.в.}}$  – газовые постоянные водяного пара и сухого воздуха;  $\mu_{\text{п}} = 18,06$  кг/кмоль и  $\mu_{\text{с.в.}} = 28,95$  кг/кмоль – молярные массы водяного пара и сухого воздуха соответственно.

Парциальное давление водяного пара  $p_{\text{п}}$  при данном давлении влажного воздуха  $p_{\text{в.в.}}$  является функцией влагосодержания  $d$ :

$$p_{\text{п}} = p_{\text{в.в}} \frac{d}{0,622 + d}. \quad (4.8)$$

Используя уравнения (4.7) и (4.8), можно записать формулы для расчета максимально возможного влагосодержания  $d_{\text{н}}$  в насыщенном влажном воздухе и давления насыщения  $p_{\text{н}}$ :

$$d_{\text{н}} = 0,622 \frac{p_{\text{н}}}{p_{\text{в.в}} - p_{\text{н}}}, \quad (4.9)$$

$$p_{\text{н}} = p_{\text{в.в}} \frac{d_{\text{н}}}{0,622 + d_{\text{н}}}. \quad (4.10)$$

Для решения многих технических задач необходимо знать плотность влажного воздуха  $\rho_{\text{в.в}}$ . Ее можно определить, если известны абсолютная влажность  $\rho_{\text{п}}$  и влагосодержание  $d$ , по формуле

$$\rho_{\text{в.в}} = \rho_{\text{п}} \frac{d + 1}{d}. \quad (4.11)$$

Относительная влажность воздуха экспериментально определяется прибором, называемым психрометром. Психрометр имеет два поставленных рядом термометра: один называют «сухим», другой – «мокрым». Шарик «мокрого» термометра обернут влажной тканью, которая постоянно смачивается водой. Термометры с достаточно большой скоростью продуваются воздухом, относительную влажность которого требуется определить.

С поверхности влажной ткани вода испаряется, и температура «мокрого» термометра понижается. В процессе теплообмена воздуха с влажной тканью через некоторое время устанавливается состояние равновесия, которому соответствует постоянная температура  $t_{\text{м}}$ , показываемая «мокрым» термометром. Температура  $t_{\text{м}}$  будет меньше температуры  $t_{\text{с}}$  «сухого» термометра, который фиксирует действительную температуру влажного воздуха. Разность температур  $t_{\text{с}} - t_{\text{м}}$  пропорциональна влажности воздуха. Чем суше воздух, тем больше разность температур  $t_{\text{с}} - t_{\text{м}}$ .

Для определения параметров состояния влажного воздуха предназначена диаграмма  $h-d$  (энтальпия – влагосодержание), предложенная в 1918 г. профессором Л.К. Рамзиным. На диаграм-

ме  $h-d$  (рис. 4.2) по оси абсцисс отложено влагосодержание влажного воздуха, а по оси ординат – энтальпия сухого воздуха. При построении диаграммы барометрическое давление принято равным  $p = 99,325$  кПа, что соответствует среднегодовому давлению для центральной полосы России. Для удобства пользования диаграммой координатные оси в ней проведены под углом  $135^\circ$ . Значения влагосодержания воздуха спроецированы на вспомогательную горизонтальную ось.

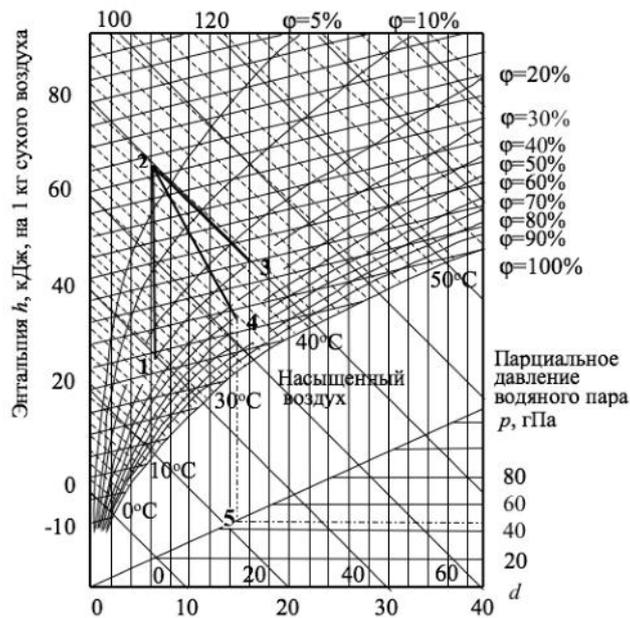


Рис. 4.2. Диаграмма  $h-d$  влажного воздуха

На диаграмме  $h-d$  линии постоянных значений влагосодержания  $d$  представляют собой вертикали к оси абсцисс, линии  $h = \text{const}$  проведены под углом  $135^\circ$  к оси ординат.

На диаграмме  $h-d$  представлены также кривые  $\phi = \text{const}$ .

Кривая  $\phi = 100\%$  определяет параметры состояния насыщенного влажного воздуха. Область диаграммы  $h-d$ , расположенная выше линии  $\phi = 100\%$ , является областью, соответствующей параметрам ненасыщенного влажного воздуха, в котором водяной пар находится в перегретом состоянии. Ниже линии  $\phi = 100\%$

расположена область тумана, в которой вода находится в парожидкостном состоянии. Выше линии  $\varphi = 100\%$  нанесены пунктирные линии постоянных температур «мокрого» термометра, а также сплошные линии – изотермы «сухого» термометра. Эти линии идут более полого, чем линии  $h = \text{const}$ . При  $\varphi = 100\%$  показания «сухого» и «мокрого» термометров одинаковы, поэтому одноименные изотермы на кривой насыщения  $\varphi = 100\%$  пересекаются.

В нижней части диаграммы  $h-d$  с учетом уравнения (4.6) проведена линия  $p = f(d)$  парциальных давлений водяного пара. Значения парциальных давлений нанесены на правой стороне диаграммы.

Относительную влажность воздуха  $\varphi$  по диаграмме  $h-d$  находят следующим образом. По психрометру определяют температуру «сухого»  $t_c$  и «мокрого»  $t_m$  термометров, а по этим значениям – точку на пересечении изотерм  $t_c$  и  $t_m$ , соответствующую состоянию влажного воздуха. По найденной точке определяют искомую величину  $\varphi$ .

Для определения температуры точки росы через точку, характеризующую состояние влажного воздуха, необходимо провести вертикальную прямую  $d = \text{const}$  до пересечения с кривой насыщения  $\varphi = 100\%$ . Изотерма, проходящая через указанную точку пересечения, соответствует искомой температуре точки росы.

Парциальное давление  $p_n$  водяного пара, находящегося во влажном воздухе, состояние которого на диаграмме  $h-d$  характеризуется найденной точкой (например, точка 4 на рис. 4.2), определяется следующим образом. Из точки 4 проводится вертикальная прямая  $d = \text{const}$  до пересечения с линией парциального давления (точка 5) и далее из точки 5 – горизонтальная линия до крайней правой ординаты, где отмечены значения искомой величины  $p_{п4}$ .

### **Изображение процессов нагревания и охлаждения влажного воздуха**

В процессе нагревания влажного воздуха его влагосодержание не изменяется, т. е.  $d = \text{const}$ . Если, например, состояние влажного воздуха до нагревания на диаграмме  $h-d$  (см. рис. 4.2) соответствует точке 1, то для определения состояния влажного воздуха после нагревания необходимо из точки 1 провести вверх верти-

кальную прямую  $d = \text{const}$  до пересечения ее в точке 2 с изотермой  $t_2$  соответствующей температуре влажного воздуха после нагревания. Прямая 1-2 отражает процесс нагревания влажного воздуха. Нетрудно заметить, что энтальпия парогазовой смеси в процессе, изображаемая линией 1-2, увеличивается, а относительная влажность влажного воздуха уменьшается.

Очевидно, что процесс охлаждения влажного воздуха также будет изображаться прямой  $d = \text{const}$ , которую проводят от начальной точки по вертикали вниз.

### **Изображение процессов сушки**

В инженерной практике весьма часто приходится решать задачи, связанные с сушкой влажных материалов ненасыщенным воздухом. В сушильной камере за счет теплоты предварительно нагретого воздуха происходит испарение влаги из высушиваемого материала, вследствие чего увеличивается влагосодержание воздуха.

На диаграмме  $h-d$  (см. рис. 4.2) линией 2-3 изображен процесс сушки в идеальной камере, в которой отсутствуют потери теплоты в окружающую среду. Энтальпия воздуха в таком процессе сушки не изменяется, так как теплота от нагретого воздуха, затраченная на процесс испарения влаги, возвращается в воздух с паром. Разность  $d_3 - d_2$  показывает количество испаренной влаги в граммах на 1 кг сухого воздуха, проходящего через сушильную камеру.

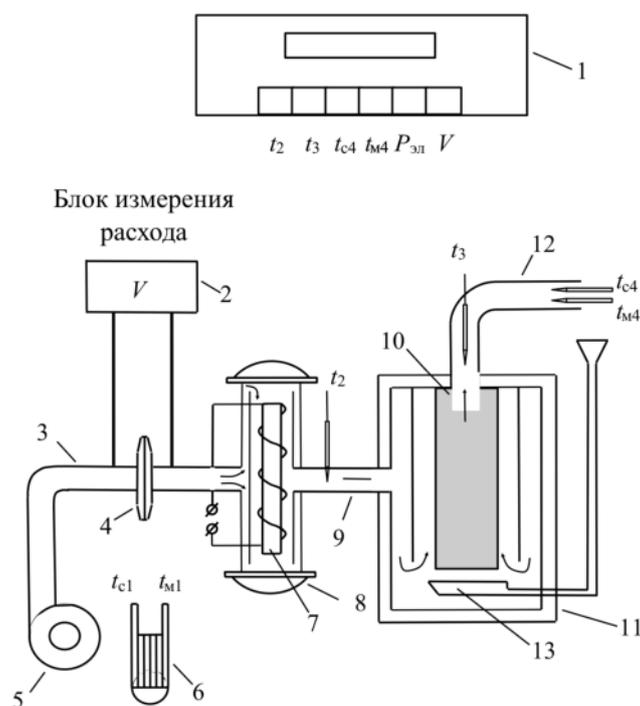
Процесс сушки материала в реальной сушильной камере всегда происходит с потерей теплоты в окружающую среду, поэтому он протекает с уменьшением энтальпии влажного воздуха (линия 2-4 на рис. 4.2).

### **Описание экспериментальной установки**

Экспериментальная установка является моделью сушильной камеры. Сушильным агентом в ней служит воздух, а материалом, подвергающимся сушке – хлопчатобумажная материя, смачиваемая перед опытом водой.

Схема установки показана на рис. 4.3. Основными ее элементами являются калорифер 8 и сушильная камера 11. Корпус калорифера состоит из двух вставленных друг в друга стальных труб. Наружная труба играет роль тепловой изоляции, а во внутренней находятся нагревательные элементы 7. Вентилятор 5 забирает воз-

дух из атмосферы и подает его по воздухопроводу 3 во входной патрубке калорифера 8. По зазору между трубами калорифера воздух направляется к нагревательным элементам, нагревается и далее через соединительную трубу 9 попадает в сушильную камеру. Сушильная камера представляет собой конструкцию, выполненную по принципу труба в трубе. В центр камеры помещена хлопчатобумажная ткань 10, подвергаемая сушке. Нижний конец ткани опущен в поддон 13 с водой. Во время опыта происходит постоянное увлажнение высушиваемого материала, что обеспечивает стационарность процесса. Горячий воздух проходит через сушильную камеру, затем выбрасывается через выхлопную трубу в атмосферу.



**Рис. 4.3.** Схема экспериментальной установки:

1 – цифровой вольтметр; 2 – блок измерения расхода; 3 – воздухопровод во входной патрубке калорифера; 4 – диафрагма блока измерения расхода; 5 – вентилятор; 6 – психрометр; 7 – нагревательные элементы; 8 – калорифер; 9 – соединительная труба; 10 – хлопчатобумажная ткань; 11 – сушильная камера; 12 – выхлопная труба; 13 – поддон с водой

При проведении лабораторной работы измеряют (см. рис. 4.3):

1) расход влажного воздуха с помощью диафрагмы 4 блока измерения расхода 2 и цифрового вольтметра 1 (расход воздуха через установку регулируют регулятором электрической мощности);

2) мощность нагревателя (для измерения используют цифровой ваттметр 1);

3) давление (для измерения применяют барометр, имеющийся в лаборатории);

4) состояние атмосферного воздуха на входе в калорифер (определяют психрометром 6 по показаниям «сухого» и «мокрого» термометров).

Температуру воздуха после калорифера измеряют с помощью термопары  $t_2$ , температуру воздуха после сушилки – с помощью термопары  $t_3$ , а состояние воздуха в выходной трубе 12 определяют по показаниям «сухой» и «мокрой» термопар:  $t_{м4}$  и  $t_{с4}$ . Все термопары хромель-алюмелевые. Их термоЭДС измеряют цифровым вольтметром 1, к которому термопары подключают поочередно.

### Порядок проведения эксперимента

Перед началом эксперимента поддон сушильной камеры заполняют водой и увлажняют хлопчатобумажную ткань. После этого включают вентилятор и электронагреватель в калорифере. С помощью психрометра проводят измерение относительной влажности воздуха, подаваемого в установку, измерение температур по психрометру продолжают до тех пор, пока температура, показываемая «мокрой» термопарой, не достигает минимума. По минимальному значению  $t_{м1}$ , соответствующему ему значению  $t_{с1}$ , определяют положение точки 1 на диаграмме  $h-d$  и относительную влажность воздуха  $\phi_1$ , поступающего в калорифер (рис. 4.4).

Далее устанавливают стационарный режим работы установки. С этой целью мощность нагревателя регулируют таким образом, чтобы температура воздуха  $t_2$  на выходе из калорифера составляла 60...70 °С.

Стационарный режим работы установки характеризуется постоянством показаний «сухой» и «мокрой» термопар, расположенных в выходной трубе сушильной камеры. При установлении стационарного режима работы установки все показания приборов записывают в протоколе опыта в течение 15 мин через каждые три минуты.

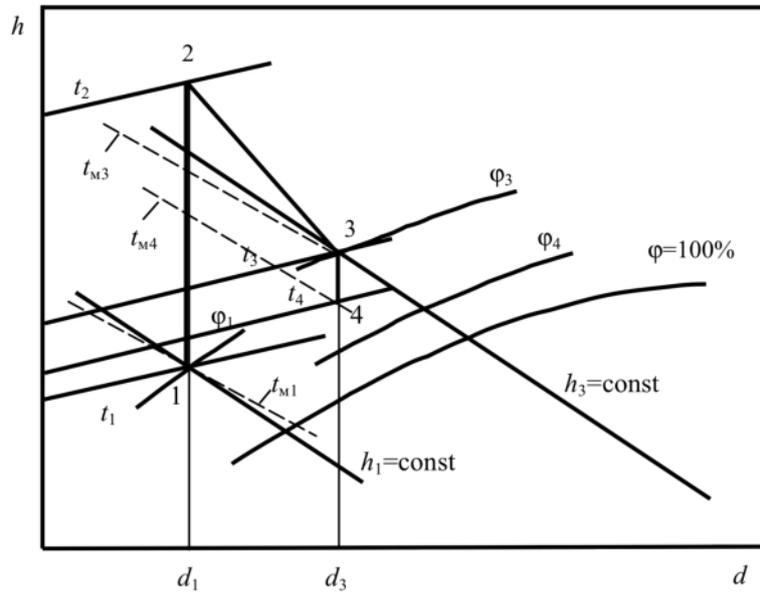


Рис. 4.4. Линии процессов на диаграмме  $h-d$  влажного воздуха

### Обработка результатов эксперимента

После окончания эксперимента необходимо найти средние значения температур  $t_2, t_3, t_{c4}, t_{M4}$ , затем построить на диаграмме  $h-d$  линии процессов, происходящих с влажным воздухом. Точка 2 (см. рис. 4.4) определяет состояние воздуха после подогрева на выходе из калорифера. Подогрев воздуха в калорифере (линия 1-2) идет при  $d = \text{const}$  ( $d_1 = d_2$ ), поэтому, чтобы найти точку 2, следует провести вертикальную прямую из точки 1 до пересечения с изотермой  $t_2$  ( $t_2$  – температура воздуха на выходе из калорифера). Затем по показаниям «сухой»  $t_{c4}$  и «мокрой»  $t_{M4}$  термопар, расположенных в выходной трубе сушилки, находят точку 4, характеризующую состояние воздуха на выходе из установки. Чтобы найти точку 3, характеризующую состояние влажного воздуха на выходе из сушилки, проводят вертикальную прямую из точки 4 вверх до пересечения с изотермой  $t_3$  ( $t_3$  – температура влажного воздуха, измеренная на выходе из сушильной камеры), поскольку процесс 3-4 в выходной трубе идет при  $d = \text{const}$  ( $d_3 = d_4$ ).

Процесс сушки влажного материала протекает с увеличением влагосодержания воздуха, проходящего через сушильную камеру и с уменьшением его температуры. На диаграмме  $h-d$  этот процесс изображают условной прямой линией 2-3 (см. рис. 4.4).

По точкам 1, 3 определяют влагосодержание  $d_1$  и  $d_3$ , относительную влажность воздуха ( $\varphi_1, \varphi_3$ ), энтальпии ( $h_1, h_3$ ) до и после сушки материала, а по разности  $d_3 - d_1$  – количество испаренной из высушиваемого материала влаги, по разности энтальпий  $h_3 - h_1$  – количество теплоты, затрачиваемой на испарение влаги и на нагрев уходящего из установки влажного воздуха.

Ниже приведен порядок расчета.

1. Рассчитать среднюю скорость испарения влаги  $G_{\text{H}_2\text{O}}$  (кг/ч) из высушиваемого материала по формуле

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{d_3 - d_1}{1000} G_{\text{с.в}},$$

где  $G_{\text{с.в}}$  – расход сухого воздуха, кг/ч, определяемый из уравнения состояния

$$G_{\text{с.в}} = \frac{133,3 p_{\text{с.в}} V_{\text{в.в}}}{R_{\text{с.в}} (t_{\text{с1}} + 273)};$$

$p_{\text{с.в}}$  – парциальное давление\* сухого воздуха во влажном воздухе, мм рт. ст.,  $p_{\text{с.в}} = p_{\text{в.в}} - p_{\text{п}} = B - p_{\text{п}}$ ;  $p_{\text{в.в}}$  – давление влажного воздуха, равное барометрическому давлению, мм рт. ст.;  $p_{\text{п}}$  – парциальное давление водяного пара во влажном воздухе, мм рт. ст.;  $V_{\text{в.в}}$  – объемный расход влажного воздуха, м<sup>3</sup>/ч (по расходомеру);  $R_{\text{с.в}}$  – газовая постоянная сухого воздуха ( $R_{\text{с.в}} = 287 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{с})$ );  $t_{\text{с1}}$  – температура воздуха на входе в калорифер, определяемая по показаниям «сухого» термометра переносного психрометра, °С.

2. Вычислить количество теплоты, затраченной (за 1 ч) на подогрев влажного воздуха в калорифере и испарение влаги из высушиваемого материала в сушильной камере, по формуле

---

\* Измерение давления в миллиметрах ртутного столба связано с тем, что измерительные приборы экспериментальной установки градуированы в мм рт. ст.

$$Q = (h_3 - h_1)G_{с.в.}$$

3. Определить изобарную удельную массовую (на 1 кг сухого воздуха) теплоемкость воздуха в калорифере (при влагосодержании  $d = d_1$ ):

$$C_{pm}^{в.в} = C_{pm}^{с.в} + \frac{C_{pm}^п d_1}{1000},$$

где  $C_{pm}^{с.в}$  – удельная массовая теплоемкость сухого воздуха (1,0 кДж/(кг·°С));  $C_{pm}^п$  – удельная массовая теплоемкость водяного пара (1,97 кДж/(кг·°С)).

4. Рассчитать теплоту, затраченную (за 1 ч) на нагрев влажного воздуха в калорифере  $Q_{в.в.}$ , кДж/ч:

$$Q_{в.в} = C_{pm}^{в.в} G_{с.в} (t_3 - t_1).$$

5. Рассчитать теплоту, затраченную на испарение влаги из сушиваемого материала:

$$Q_{исп} = Q - Q_{в.в.}$$

6. Определить теплоту, затраченную на 1 кг испаренной влаги, кДж/кг:

$$q_{исп} = \frac{Q_{исп}}{P_{эл}},$$

где  $P_{эл}$  – мощность калорифера, Вт (по показанию ваттметра).

7. Найти суммарные потери теплоты установки:

$$Q_{пот} = 3,6P_{эл} - Q_{исп}.$$

8. Рассчитать суммарные потери теплоты установки на 1 кг испаренной влаги:

$$q_{пот} = \frac{Q_{пот}}{G_{H_2O}}.$$

9. Определить относительные суммарные тепловые потери, %:

$$\gamma = \frac{q_{пот}}{q_{пот} + q_{исп}} \cdot 100 \text{ \%}.$$

10. Вычислить полезно использованную в установке теплоту:

$$n = 100 - \gamma.$$

### ***Контрольные вопросы***

1. Как устроен психрометр?
2. Что такое абсолютная и относительная влажность?
3. Что называется влагосодержанием влажного воздуха?
4. Что называется парциальным давлением?
5. Объясните значение линий диаграммы  $h-d$  ?
6. Как определить температуру точки росы по диаграмме  $h-d$  ?
7. Как определить парциальное давление водяного пара по заданному состоянию влажного воздуха на диаграмме  $h-d$  ?
8. Изобразите процессы нагрева, сушки и охлаждения влажного воздуха на диаграмме  $h-d$ .
9. От чего зависит теплоемкость влажного воздуха?