

Камчатский государственный технический университет

Кафедра холодильных машин и установок

Л.И. Балыкова

ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

Рекомендовано

*Дальневосточным региональным учебно-методическим центром
(ДВ РУМЦ) в качестве учебно-методического пособия (практикума)
для студентов специальности*

*140401 «Техника и физика низких температур»
вузов региона*

Издательство



КамчатГТУ

Петропавловск-Камчатский
2008

УДК 628.8(07)
ББК 38.762
Б20

Рецензенты:

Р.И. Пашкевич,

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой естественнонаучных и технических
дисциплин филиала Дальневосточного государственного
технического университета (ДВПИ им. В.В. Куйбышева)
в г. Петропавловске-Камчатском

А.С. Латкин,

доктор технических наук, профессор,
заместитель директора НИГТЦ ДВО РАН

Балыкова, Лидия Ивановна

Б20 Вентиляция и кондиционирование воздуха: Учебно-методическое пособие (практикум) / Л.И. Балыкова. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2008. – 110 с.

ISBN 978–5–328–00169–4

Учебно-методическое пособие (практикум) составлен в соответствии с требованиями к обязательному минимуму содержания дисциплины «Вентиляция и кондиционирование воздуха», входящей в основную образовательную программу подготовки специалистов по специальности 140401 «Техника и физика низких температур» государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования.

УДК 628.8(07)
ББК 38.762

ISBN 978–5–328–00169–4

© КамчатГТУ, 2008
© Балыкова Л.И., 2008

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Санитарно-гигиенические основы кондиционирования воздуха

Состояние (кондиция) воздуха в помещениях является существенным фактором, влияющим как на самочувствие человека, так и на течение многих технологических процессов в промышленности.

Кондиционирование воздуха применяют главным образом для создания комфортных условий труда и отдыха человека (*комфортное кондиционирование*) в общественных и рабочих помещениях, а также создания оптимальных условий для проведения технологических процессов (*технологическое кондиционирование*). Наибольшее распространение получило комфортное кондиционирование.

Система кондиционирования воздуха (СКВ) представляет собой комплекс средств и устройств, обеспечивающих создание и поддержание в закрытых помещениях заранее заданных параметров воздушной среды, наиболее благоприятных для самочувствия человека – так называемых *комфортных условий*. Эти условия определяются температурой t , относительной влажностью воздуха φ , загрязненностью пылью, определенным химическим составом воздуха и скоростью его движения ω .

Тепло от человеческого организма отводится путем конвекции, испарения и излучения. Так, при температуре воздуха и стен около 20°C теплотери людьми составляют: конвекцией – 15,30%, излучением – 55,60%, испарением – 29,10% от общего количества тепла.

Сочетание температуры и относительной влажности воздуха определяет охлаждающую способность воздуха по отношению к человеческому организму. Доля испарения в теплоотдаче увеличивается при повышении температуры и понижении относительной влажности. Если температура ок-

ружающего воздуха и температура поверхности ограждений помещения будут равны температуре человеческого тела, то все тепло от организма будет отводиться только испарением.

Если влажность воздуха велика, то он не может полностью поглощать выделенную влагу – у человека возникает обильное потоотделение. При этом он быстро утомляется и испытывает жажду. Воздух с низкой влажностью приводит к сухости кожи, ее шероховатости и растрескиванию. Повышается восприимчивость организма к заболеваниям. Для того чтобы обеспечить в помещениях требуемую влажность, воздух осушают летом и увлажняют зимой. Осуществление этих процессов является одной из главных функций системы кондиционирования воздуха.

Скорость воздуха оказывает существенное влияние на отвод тепла. С повышением скорости теплоотдача конвекцией и испарением увеличивается, но при больших скоростях воздуха получается неприятное ощущение «сквозняка». Оптимальная величина скорости воздуха в помещении не должна быть выше $0,2 \div 0,3$ м/с. Комфортные параметры воздуха в помещении приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Комфортные параметры воздуха в помещении

Помещения	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость воздуха, м/с
Общественные и жилые	20–22/23–25	30–45/30–60	0,2/0,3
Производственные	182–0/21–23	40–60/40–60	0,2/0,3

Примечание. В числителе приведены параметры для холодного и переходного периодов года, в знаменателе – для теплого периода года.

В летний период года нельзя допускать увеличения разности температур между наружным воздухом и воздухом в помещении больше величин, приведенных в табл. 1.2.

Перепад температур воздуха помещения и подаваемого воздуха (при подаче воздуха непосредственно в зону пребыва-

ния людей) должен быть не более 2°C при его скорости $0,15$ м/с. При подаче воздуха на высоту $2-3$ м от пола допускается перепад в 4°C . При больших перепадах температур, что часто наблюдается в судовых системах кондиционирования воздуха, с целью предотвращения неприятного ощущения холодный воздух перемешивается с воздухом помещения. Для этого предусматривают специальные устройства – смесители воздуха.

Таблица 1.2

**Допустимые значения разности температур
наружного и внутреннего воздуха**

Температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$	25	30	35	40
Разность температур, $^{\circ}\text{C}$	3	6	10	3

Жизнь человека в первую очередь зависит от того, достаточно ли он получает кислорода. При снижении содержания кислорода в помещении до $17,5\%$ человек не сможет прожить и нескольких минут. Содержание углекислого газа свыше $1-1,5\%$ вызывает неприятные ощущения. Поэтому важными для самочувствия человека являются газовый состав и чистота воздуха. С целью поддержания необходимого газового состава воздуха рекомендуются следующие нормы подачи свежего воздуха на одного человека: производственные помещения – $60-120$ м³/ч, общественные и административно-бытовые помещения – $20-60$ м³/ч.

Большое значение имеет бесшумность работы системы кондиционирования воздуха. Шум, как правило, вызывается работой вентиляторов и большой скоростью перемещения воздуха. При использовании автономных кондиционеров дополнительным источником шума могут явиться компрессор и другие механизмы.

Основными теплопритоками в жилых и общественных помещениях являются: теплоприток через ограждения помещения, тепловыделения людьми, теплопритоки от работающих механизмов и приборов. Величина суммарных значений теплопритоков составляет в среднем от 50 до 100 Вт/м³ помещения.

Таким образом, для создания комфортных условий в жилых и общественных помещениях требуется поддержание в них заданной температуры, влажности и скорости воздуха. Кроме того, воздух должен быть очищенным от пыли и иметь нормальный газовый состав.

1.2. Параметры атмосферного воздуха

Атмосферный воздух можно рассматривать как смесь двух газов – сухого воздуха и водяного пара. Такая смесь называется *влажным воздухом*. Сухая часть воздуха по объему состоит из 78,13% азота, 20,90% кислорода, 0,03% углекислого газа и примерно 1% инертных и других газов. С достаточной для технических расчетов точностью можно считать, что влажный воздух подчиняется всем законам смеси идеальных газов. Тогда по закону Дальтона общее давление атмосферного воздуха p_0 будет равно сумме давлений сухого воздуха p_v и водяного пара p_n , т. е.

$$p_0 = p_n + p_v. \quad (1.1)$$

Воздух, состоящий из сухого воздуха и перегретого водяного пара, называется *ненасыщенным влажным воздухом*, а состоящий из сухого воздуха и насыщенного водяного пара – *насыщенным влажным воздухом*. Давление насыщенного пара p_n'' зависит только от температуры воздуха и может быть найдено по таблицам (прил. 3).

Охлаждение насыщенного воздуха сопровождается выпадением конденсата воды. При нагревании насыщенного воздуха водяной пар становится *перегретым*.

Содержание водяного пара измеряется его количеством в граммах на 1 м³ объема воздуха (абсолютная влажность). Масса водяного пара, приходящаяся на 1 кг сухого воздуха, называется *влажностью* (d). Содержание водяных паров в воздухе зависит от температуры, количества осадков, наличия водоемов, направляющих ветров.

Однако каждому значению температуры воздуха соответствует некоторое максимальное содержание пара в единице объема, при котором пар становится *насыщенным*. Содержание водяных паров в насыщенном воздухе при атмосферном давлении в зависимости от температуры приведено в табл. 1.3.

Таблица 1.3

**Содержание водяных паров в насыщенном воздухе
при атмосферном давлении**

Температура воздуха, °С	10	20	30	40	-10
Количество водяных паров, г/м ³	9,4	17,3	30,4	51,1	2,3
Влагосодержание, г/кг	7,64	14,61	27,23	48,64	1,70
Парциальное давление насыщенных водяных паров, кПа	1,12	2,32	4,20	7,31	0,28

Характеристикой влияния влажности воздуха на самочувствие людей является *относительная влажность* (φ).

Относительной влажностью воздуха φ называется отношение абсолютной влажности ненасыщенного воздуха к абсолютной влажности насыщенного воздуха при той же температуре. Относительную влажность можно определить как отношение парциального давления водяного пара p_n к парциальному давлению водяного пара насыщенного воздуха p_n'' при той же температуре. Относительную влажность воздуха выражают в процентах или в долях единицы:

$$\varphi = \frac{p_n}{p_n''}, \quad \varphi = \frac{p_n}{p_n''} 100\%. \quad (1.2)$$

Относительная влажность насыщенного воздуха равна 100%.

Влагосодержание и относительная влажность воздуха связаны соотношением

$$d = 0,622 \frac{\varphi p_n''}{P_0 - \varphi p_n''}. \quad (1.3)$$

К основным параметрам воздуха относятся не только температура, относительная влажность, влагосодержание, но и энтальпия (теплосодержание). *Энтальпию воздуха* i выра-

жают как сумму энтальпий 1 кг сухого воздуха $i_{c,в}$ и энтальпии водяных паров $i_{п}$, приходящихся на 1 кг сухой части воздуха, т. е.

$$i = i_{c,в} + di_{п} = t + (1,89t + 2500)d. \quad (1.4)$$

Основные параметры воздуха можно вычислять по формулам (1.1–1.4), однако для построения процессов изменения состояния воздуха удобнее пользоваться i,d -диаграммой влажного воздуха (прил. 1). На рис. 1.1 приведена i,d -диаграмма (диаграмма Рамзина).

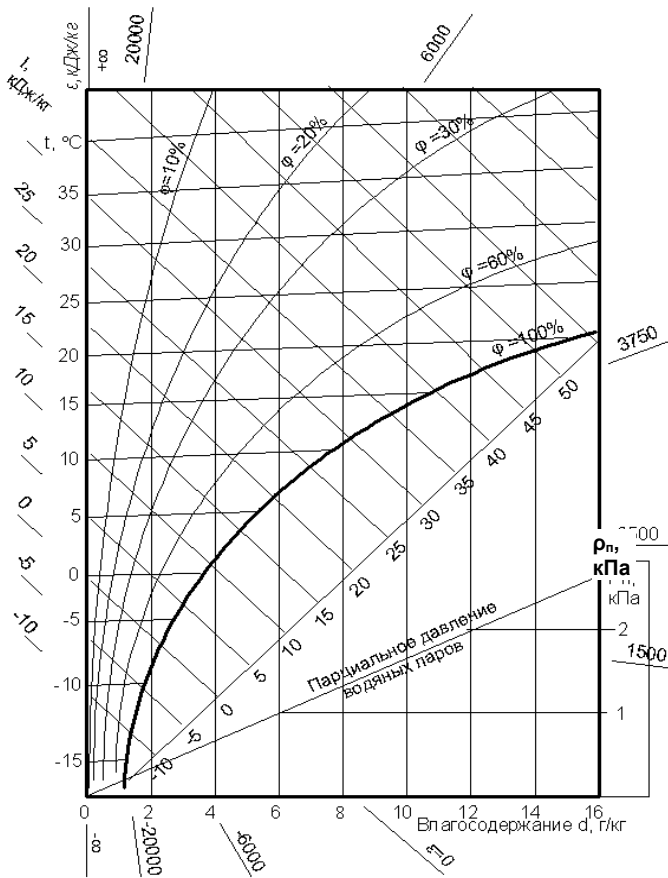


Рис. 1.1. i,d -диаграмма влажного воздуха

По горизонтальной оси отложены значения влагосодержания и нанесена сетка вертикальных линий $d = \text{const}$. Под углом 135° к вертикальной оси диаграммы проведены линии постоянной энтальпии i . На диаграмму нанесены кривые равных значений относительной влажности ϕ от 0 до 100% и линии постоянных температур в виде прямых под небольшим углом к горизонтальной оси диаграммы. i, d -диаграмма дополнена линией парциальных давлений водяного пара p_n .

Каждая точка диаграммы характеризуется взаимно согласованными параметрами t, d, i, p_n, ϕ . Точки диаграммы определяют следующие состояния: ненасыщенного воздуха над кривой $\phi = 100\%$; насыщенного воздуха на кривой $\phi = 100\%$; насыщенного воздуха, содержащего капельки жидкой влаги или льда под кривой $\phi = 100\%$.

Диаграммой пользуются следующим образом (рис. 1.2). Пусть известно, что воздух имеет температуру 20°C и относительную влажность 60%. На пересечении изотермы 20°C с линией $\phi = 60\%$ получим точку A . Тогда по i, d -диаграмме легко прочесть остальные параметры воздуха: $i_A = 42,2$ кДж/кг; $d_A = 8,8$ г/кг; $p_{nA} = 1,4$ кПа.

С помощью диаграммы можно определить *температуру точки росы воздуха* t_p . Если воздух охлаждать при $d = \text{const}$, то температура, при которой воздух становится насыщенным, будет t_p . Дальнейшее охлаждение сопровождается выпадением влаги. Для точки A температура точки росы $t_p = 12^\circ\text{C}$. Точка B называется точкой росы для воздуха, имеющего состояние, характеризуемое точкой A .

Важнейшим параметром воздуха является *температура по мокрому термометру* t_m . Это такая температура, которую воздух принимает в результате его адиабатического насыщения (увлажнения). Если взять два термометра, смочить шарик одного термометра и поместить оба термометра в поток воздуха, то температура смоченного термометра будет ниже, чем температура сухого термометра. Объясняется это тем, что между воздухом и мокрым термометром происходит тепло- и массообмен. Оба термометра будут показывать одинаковую температуру, если омывающий их воздух будет насыщенным.

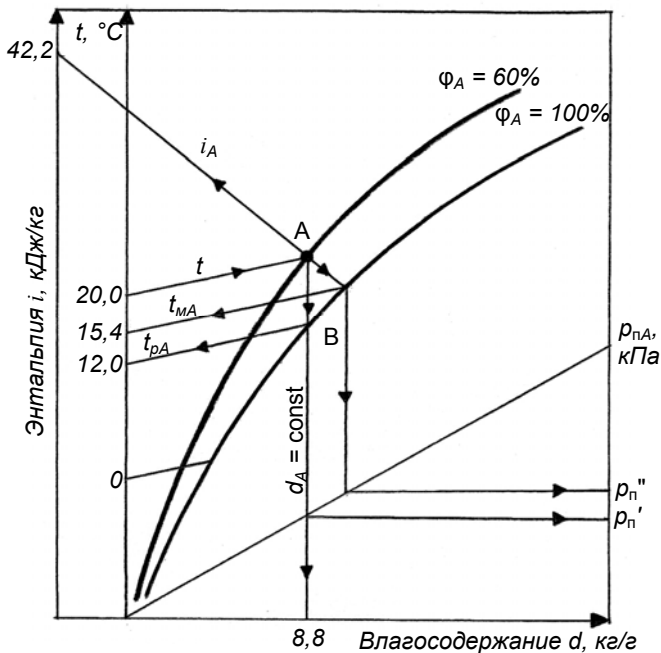


Рис. 1.2. Определение параметров воздуха с помощью i, d -диаграммы

Таким образом, чтобы найти t_m для воздуха состояния точки A , надо из этой точки провести линию $i = \text{const}$ до пересечения с линией $\phi = 100\%$. Значение t_m для точки A будет составлять $15,4^\circ\text{C}$. Из диаграммы видно, что для воздуха заданных параметров температура по мокрому термометру t_m снижается при уменьшении относительной влажности ϕ воздуха.

Основное назначение диаграммы – это изображение процессов изменения состояния воздуха: увлажнения, нагревания, охлаждения и т. д. Изменение состояния воздуха может произойти тогда, когда ему подводится (отводится) тепло Q или влага W , или за счет одновременного воздействия обоих факторов. Процесс изменения состояния воздуха при этом характеризуется значением ε (кДж/кг), называемым *тепло-влажностным отношением*, или угловым коэффициентом:

$$\varepsilon = Q/W. \quad (1.5)$$

Если начальные параметры воздуха различны, а значения ε одинаковы, то линии, характеризующие изменение состояния воздуха, параллельны между собой.

Для удобства построения процессов изменения состояния воздуха на i, d -диаграмме нанесены линии углового масштаба в виде пучка лучей, исходящих из центра координат диаграммы ($i = 0, t = 0, d = 0$) со значением ε от $-\infty$ до $+\infty$. Однако для того чтобы эти лучи не мешали основным линиям, оставляют только концы лучей на поле диаграммы (прил. 1).

На рис. 1.3 приведены характерные случаи изменения состояния влажного воздуха с использованием углового коэффициента ε :

1. Влажный воздух с начальными параметрами i_A, d_A (точка A) при неизменном влагосодержании изменяет свое состояние до точки 1 (линия $A-1$). Энтальпия конечного состояния выше энтальпии начального состояния, т. е. $i_1 > i_A$. Тогда значение углового коэффициента линии изменения состояния воздуха определяется как

$$\varepsilon_1 = [(i_1 - i_A)/(d_1 - d_A)]10^3 = [+ \Delta i/0]10^3 = +\infty. \quad (1.6)$$

2. Изменение состояния воздуха происходит по линии постоянной энтальпии $i_2 = i_A = \text{const}$ (линия $A-2$). Угловым коэффициентом линии этого процесса определяется по формуле

$$\varepsilon_2 = [(i_2 - i_A)/(d_2 - d_A)]10^3 = [0/(+\Delta d)]10^3 = 0. \quad (1.7)$$

3. Параметры воздуха изменяются от состояния A до состояния 3 (i_3, d_3) (линия $A-3$). В этом случае $i_3 > i_A$ и $d_3 > d_A$. Направление линии процесса определится выражением

$$\varepsilon_3 = [(i_3 - i_A)/(d_3 - d_A)]10^3 = [+ \Delta i/(+\Delta d)]10^3 = > 0. \quad (1.8)$$

Ограниченную линиями $d_A = \text{const}$ ($\varepsilon_1 = +\infty$) и $i_A = \text{const}$ ($\varepsilon_2 = 0$) часть поля i, d -диаграммы, на которой значения угловых коэффициентов изменения состояния воздуха ε_3 характеризуются выражением (1.8), принято обозначать как сектор I ($\alpha_1 = 135^\circ$).

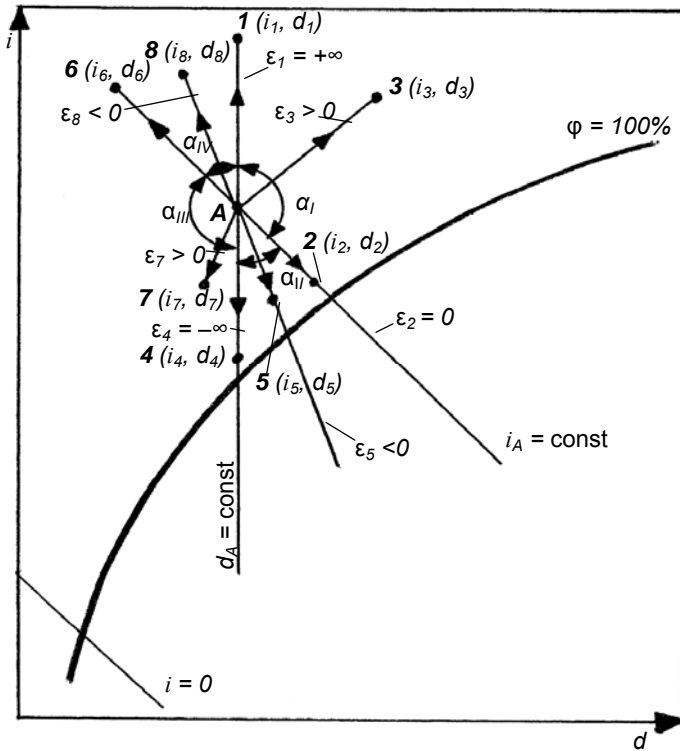


Рис. 1.3. Характерные случаи изменения состояния влажного воздуха

4. Влажный воздух понижает энтальпию ($i_4 < i_A$) при неизменном влагосодержании ($d_4 = d_A$). Процесс изменения состояния воздуха происходит по линии $d_A = \text{const}$ вниз от точки A (линия $A-4$). Угловым коэффициентом линии изменения состояния воздуха составит:

$$\varepsilon_4 = [(i_4 - i_A)/(d_4 - d_A)]10^3 = [-\Delta i/0]10^3 = -\infty. \quad (1.9)$$

5. Понижение энтальпии воздуха ($i_5 < i_A$) с одновременным увеличением влагосодержания ($d_5 > d_A$) (линия $A-5$) определяется угловым коэффициентом:

$$\varepsilon_5 = [(i_5 - i_A)/(d_5 - d_A)]10^3 = [-\Delta i/(+\Delta d)]10^3 < 0. \quad (1.10)$$

Ограниченную линиями $i_A = \text{const}$ ($\varepsilon_2 = 0$) и $d_A = \text{const}$ ($\varepsilon_4 = -\infty$) часть поля i, d -диаграммы, на которой значения угловых коэффициентов ε_5 характеризуются выражением (1.10), принято обозначать как сектор II ($\alpha_{II} = 45^\circ$).

6. Понижение влагосодержания воздуха ($d_6 < d_A$) при неизменной энтальпии ($i_6 = i_A$) (линия $A-6$) характеризуется угловым коэффициентом:

$$\varepsilon_6 = [(i_6 - i_A)/(d_6 - d_A)]10^3 = [0/(-\Delta d)]10^3 \leq 0. \quad (1.11)$$

7. Понижение энтальпии ($i_7 < i_A$) с одновременным уменьшением влагосодержания ($d_7 < d_A$) (линия $A-7$) воздуха определяется угловым коэффициентом:

$$\varepsilon_7 = [(i_7 - i_A)/(d_7 - d_A)]10^3 = [-\Delta i/(-\Delta d)]10^3 > 0. \quad (1.12)$$

Ограниченную линиями $d_A = \text{const}$ ($\varepsilon_4 = -\infty$) и $i_A = \text{const}$ ($\varepsilon_6 = 0$) часть поля i, d -диаграммы, на которой значения угловых коэффициентов характеризуются выражением (1.12), принято обозначать как сектор III ($\alpha_{III} = 135^\circ$).

8. Увеличение энтальпии воздуха ($i_8 > i_A$) с одновременным понижением влагосодержания ($d_8 < d_A$) (линия $A-8$) определяет угловой коэффициент:

$$\varepsilon_8 = [(i_8 - i_A)/(d_8 - d_A)]10^3 = [+ \Delta i/(-\Delta d)]10^3 < 0. \quad (1.13)$$

Ограниченная линиями $i_A = \text{const}$ ($\varepsilon_8 = 0$) и $d_A = \text{const}$ ($\varepsilon_1 = +\infty$) часть поля i, d -диаграммы обозначается как сектор IV ($\alpha_{IV} = 45^\circ$).

Таким образом, рассмотрены все возможные процессы изменения состояния влажного воздуха на i, d -диаграмме с использованием углового коэффициента ε .

Практическое пользование угловым масштабом сводится к следующему.

Пусть известно начальное состояние воздуха в помещении, характеризуемое точкой A (рис. 1.3). Чтобы выяснить направление процесса с известным ε , нужно на полях i, d -диаграммы (прил. 1) найти конец луча с этим значением, соединить его с центром координат и провести из точки A линию, параллельную этому лучу процесса.

Таким образом, параметрами состояния влажного воздуха являются t , $p_{\text{п}}$, φ , d , i при заданном общем давлении p_6 . Основными параметрами, изменяющимися независимо друг от друга, являются t и φ , прочие параметры – производные. Определив значение t и φ , можно найти все остальные параметры воздуха как аналитическим путем, так и графическим с помощью i, d -диаграммы. Для определения φ на практике наиболее широко применяются следующие методы: психрометрический, метод точки росы, гигроскопический и массовый, причём первый из них – самый распространённый.

Психрометрический метод основан на использовании психрометра, который состоит из двух расположенных рядом термометров. Один из термометров, называемый *сухим*, измеряет температуру t воздуха. Баллончик с расширяющейся жидкостью другого термометра обернут легкой гигроскопической тканью, например батистом, в виде чехла, нижний конец которого опущен в сосуд с водой. Вода по чехлу поднимается к баллончику и постоянно смачивает его. Этот термометр называется *влажным*, или *мокрым*, и измеряет температуру воздуха по мокрому термометру $t_{\text{м}}$.

Разность показаний сухого и мокрого термометров ($t - t_{\text{м}}$) называется *психрометрической разностью*. Она тем больше, чем суше воздух, т. е. чем меньше его относительная влажность.

По величине температуры t воздуха и его психрометрической разности ($t - t_{\text{м}}$) можно определить относительную влажность φ и остальные параметры воздуха. Для более простого определения φ составлены психрометрические таблицы (прил. 5).

Широко используется психрометр Ассмана (рис. 1.4), у которого термометры заключены в металлические трубки. Через них специальным вентилятором с пружинным (заводом) или электрическим двигателем, смонтированным в верхней части прибора, просасывается исследуемый воздух со скоростью 2,5–3,0 м/с. Поверхность трубок для защиты термометров от теплового облучения полирована и никелирована.

Для определения φ по показаниям психрометра Ассмана имеются соответствующие таблицы (прил. 5).

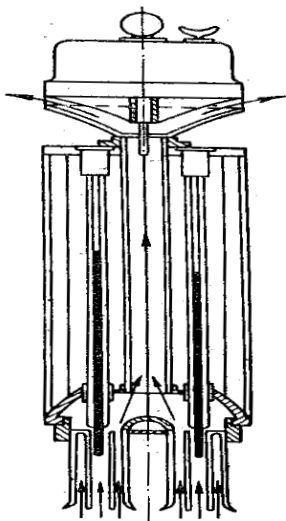


Рис. 1.4. Психрометр Ассмана

Метод точки росы. Этот метод основан на определении t_p воздуха. Устройство наиболее широко применяемого гигрометра следующее. В приборе устанавливается металлическая неокисляемая зеркальная поверхность, которая охлаждается с помощью полупроводниковых элементов или кипящей жидкости при пропускании через нее воздуха. В момент, когда зеркальная поверхность затуманивается выпавшей из воздуха влагой (росой), измеряют температуру этой поверхности t_p при помощи термопары или косвенным путем. Одновременно измеряют температуру воздуха по

сухому термометру t . Момент затуманивания зеркала фиксируется с помощью фотоэлемента или визуально.

Зная t_p и температуру t воздуха, можно с помощью i, d -диаграммы определить ϕ — относительную влажность и другие параметры воздуха.

Гигроскопический метод. Этот метод основан на способности некоторых материалов изменять свою форму и размеры, например удлиняться (обезжиренный человеческий волос, капроновая нить и др.), или свойства, например электропроводность (соль LiCl и др.), при впитывании влаги из воздуха в количестве, пропорциональном его относительной влажности. Поэтому, используя эти материалы в механических или мостовых электрических схемах, создают приборы, называемые гигрометрами. Эти приборы имеют невысокую точность.

Массовый метод. Этот метод иногда называется абсолютным, так как он наиболее точен. Вместе с тем он трудоемок и требует специального оборудования. Исследуемый воздух прасасывается вентилятором через несколько последовательно соединенных трубок, заполненных поглотителями

влаги (адсорбентами). При этом измеряется объемный расход проходящего через поглотители воздуха V (в м^3). Перед замером и после него трубки с адсорбентами взвешивают, причем следят за тем, чтобы масса последнего по ходу воздуха поглотителя оставалась неизменной. Это покажет, что предыдущие трубки поглотили всю влагу из воздуха и он стал сухим. Разность масс поглотителей после и до опыта дает количество поглощенной из воздуха влаги $G_{\text{п}}$ (в кг). Поделив $G_{\text{п}}$ на V , получают абсолютную влажность ненасыщенного воздуха (в $\text{кг}/\text{м}^3$).

По температуре воздуха из таблиц насыщенного пара (прил. 6) находят абсолютную влажность насыщенного воздуха и рассчитывают относительную влажность. Затем определяют все остальные его параметры.

1.3. Процессы обработки воздуха

Смешение воздуха. Часто наружный воздух, подаваемый в помещение, смешивают с внутренним воздухом. Возможны и другие случаи, связанные с перемешиванием масс воздуха разного состояния. Процесс смешения воздуха на i, d -диаграмме изображается прямой, соединяющей точки, отвечающие состоянию смешиваемых масс воздуха. Точка смеси всегда располагается на этой прямой и делит ее на отрезки, обратно пропорциональные смешиваемым порциям воздуха. Если смешивать воздух состояния 1 (рис. 1.5) в количестве G с воздухом состояния 2 в количестве nG , то точка смеси 3 разделит отрезок 1–2 или его проекцию на части 1–3 и 3–2.

Таким образом, чтобы найти точку смеси, нужно прямую 1–2 или ее проекцию разделить на $(n + 1)$ частей и отложить от точки 1 одну часть, оставив n частей до точки 2. Такое построение определит положение точки смеси. Возможен случай, когда точка смеси окажется в области ниже линии $\phi = 100\%$. Это значит, что при смешении будет образовываться туман (рис. 1.6). Снижение влагосодержания воздуха за счет конденсации влаги будет равно Δd .

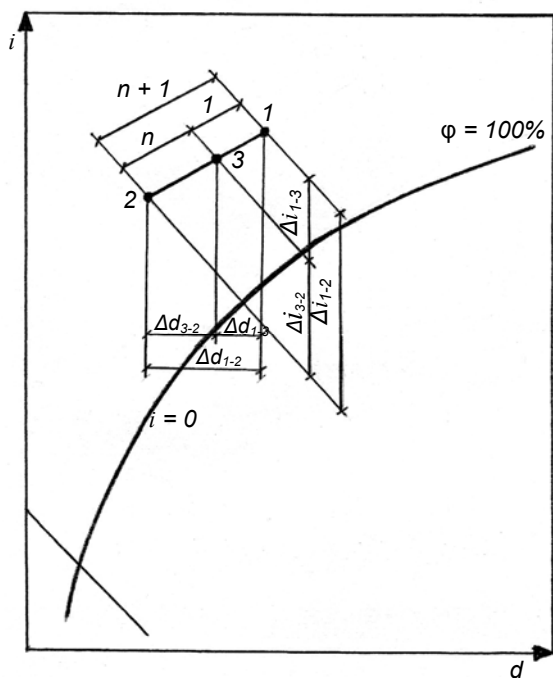


Рис. 1.5. i, d -диаграмма с режимом смешения двух масс воздуха различного состояния

Нагревание воздуха. Это процесс, при котором воздух получает явное тепло в результате конвективного теплообмена с сухой нагретой поверхностью. При этом влагосодержание воздуха остается неизменным (рис. 1.7). Процесс нагрева изображается отрезком $1-2$, идущим по линии $d = \text{const}$. Чем больше теплоты Δi_1 (кДж) будет передано воздуху, тем выше по линии $d = \text{const}$ будет располагаться точка 2. В качестве сухой нагревающей поверхности используют ребреные трубы, внутрь которых подается водяной пар необходимой температуры и соответствующего давления или по ним пропускают горячую воду. В автономных кондиционерах используют электрокалориферы. Как видно из диаграммы (рис. 1.7, линия $1-2$), процесс нагревания приводит к снижению отно-

сительной влажности воздуха.

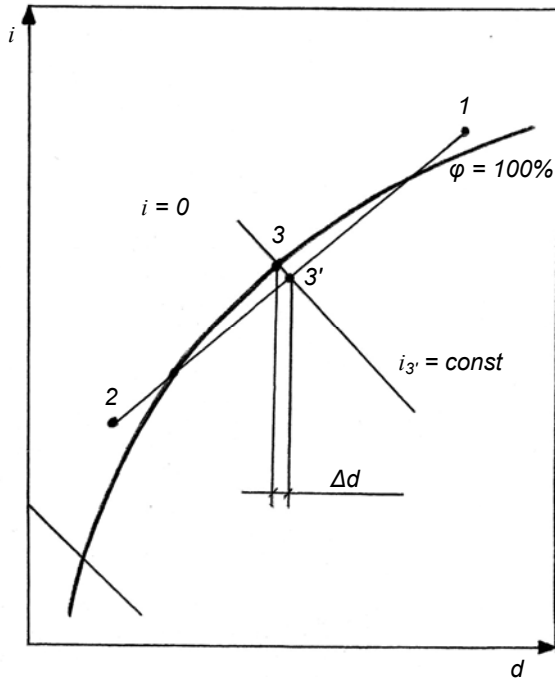


Рис. 1.6. i, d -диаграмма с режимом смешения двух масс воздуха при расположении точки смеси ниже $\varphi = 100\%$

Охлаждение воздуха. Если в процессе охлаждения воздух отдает только явное тепло в результате конвективного теплообмена с холодной сухой поверхностью, то в i, d -диаграмме он изображается отрезком $1-3$, идущим по линии $d = \text{const}$ от начального до конечного состояния воздуха (рис. 1.7). При этом одним килограммом сухой части воздуха будет отдано Δi_2 (кДж) теплоты. Такой процесс охлаждения воздуха $1-3$, когда отдается только явное тепло, может протекать до точки 4 (рис. 1.7). Эта точка соответствует температуре точки росы воздуха. При дальнейшем охлаждении водяные пары, содержащиеся в воздухе, будут конденсироваться. Изменение тепловлаж-

ностного состояния воздуха будет прослеживаться вниз налево по линии $\varphi = 100\%$, например до точки 5. При этом охлаждение связано с отдачей не только явного, но и скрытого тепла конденсации. Такой процесс относится к более сложному процессу тепло- и влагообмена воздуха.

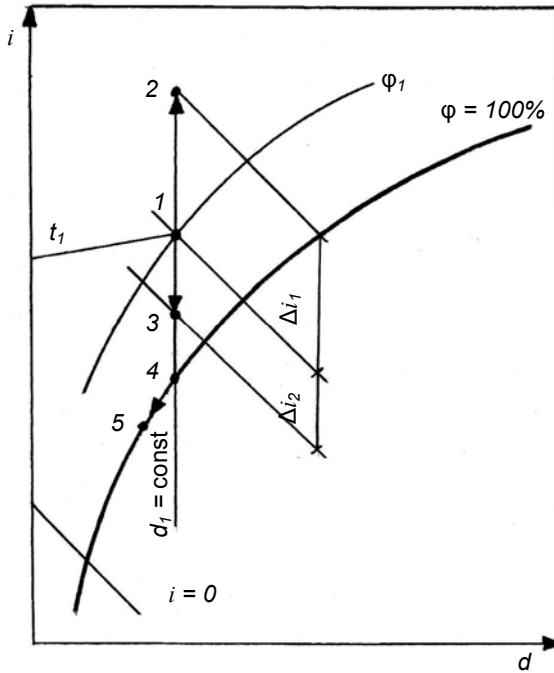


Рис. 1.7. i, d -диаграмма с режимами нагрева и охлаждения воздуха

Охлаждение воздуха производят с помощью специальных воздухоохладителей, которые бывают поверхностными сухими и мокрыми. В сухих воздухоохладителях воздух контактирует с охлаждающей поверхностью ребренных труб, через которые протекает холодный теплоноситель или внутри которых кипит холодильный агент.

В сухих воздухоохладителях воздух может охлаждаться только в том случае, если температура охлаждающих поверхностей будет ниже температуры воздуха. Если температура поверхности сухого воздухоохладителя ниже температуры охлаждаемого воздуха по сухому термометру, но выше температуры точки росы этого воздуха, то процесс охлаждения происходит при постоянном влагосодержании (рис. 1.7). Если же поверхность воздухоохладителя будет иметь температуру ниже температуры точки росы, то процесс охлаждения будет сопровождаться выпадением влаги, и воздух будет не только охлаждаться, но и осушаться. Процесс будет проходить по линии 1–5 (рис. 1.7). В мокрых воздухоохладителях воздух охлаждается при соприкосновении с каплями холодной воды, которые разбрызгиваются с помощью форсунок в специальной форсуночной камере (камере орошения). Принципиальная схема камеры орошения приведена на рис. 1.8.

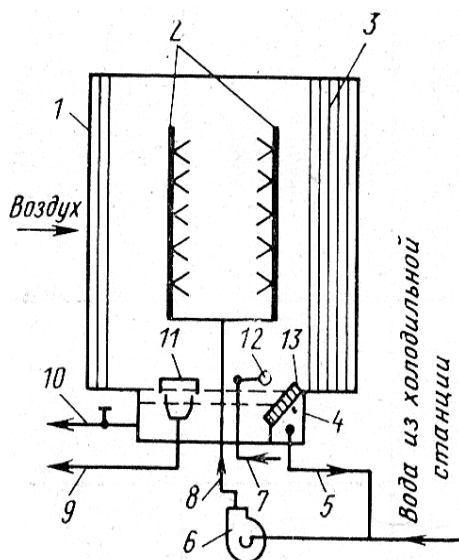


Рис. 1.8. Принципиальная схема оросительной камеры:

- 1 – воздухораспределитель; 2 – стойки с форсунками; 3 – каплеуловитель;
 4 – поддон; 5, 7, 8, 9, 10 – трубопроводы; 6 – циркуляционный насос;
 11 – переливное устройство; 12 – шаровой клапан; 13 – фильтр для воды

При непосредственном контакте воздуха с капельками разбрызгиваемой воды изменение состояния воздуха будет зависеть от температуры воды. Если температура воды ниже температуры точки росы охлаждаемого воздуха, то будет происходить охлаждение и осушение его точно так же, как в сухих воздухоохладителях. При температуре разбрызгиваемой воды, равной температуре мокрого термометра, охлаждаемый воздух будет увлажняться, а температура его – снижаться. Процесс будет протекать по линии постоянной энтальпии.

Увлажнение воздуха. Его осуществляют путем непосредственного подмешивания к воздуху водяного пара или путем разбрызгивания воды в камерах орошения при адиабатическом процессе.

Тонкий слой воды или ее капли при контакте с воздухом приобретают температуру, равную температуре мокрого термометра. При контакте воздуха с водой, имеющей такую температуру, происходит процесс адиабатного (изоэнтальпийного) увлажнения воздуха, т. е. энтальпия воздуха остается практически неизменной. В i, d -диаграмме этот процесс можно проследить по линиям $i = \text{const}$ (слева – вниз – направо) (рис. 1.9). Если воздух состояния 1 (рис. 1.9) находится в контакте с водой, имеющей температуру мокрого термометра t_{m1} , то его состояние изменится по линии $i_1 = \text{const}$, например до точки 2 с ассимиляцией Δd_1 граммов влаги на один килограмм сухой части воздуха. Предельное состояние воздуха в этом процессе соответствует его насыщению влагой (точка 3, отвечающая пересечению луча процесса с кривой $\phi = 100\%$).

При кондиционировании часто используют адиабатное увлажнение воздуха рециркуляционной водой. Для этого в оросительной камере разбрызгивают воду, имеющую температуру, близкую к температуре мокрого термометра. При этом небольшая часть воды (до 1÷3%) испаряется и увлажняет воздух, проходящий через камеру. Реальный процесс несколько отклоняется вверх от линии $i = \text{const}$, но это отклонение практически незначительно.

Если в воздух подать пар, имеющий ту же температуру, что и воздух по «сухому» термометру, то он будет увлажняться, не изменяя своей температуры.

Изотермический процесс увлажнения паром в i, d -диаграмме изображается линией 1–4 (рис. 1.9). После увлажнения состояние воздуха может соответствовать произвольной точке на этой изотерме, например точке 4 при ассимиляции Δd_2 влаги. Предельное состояние в этом процессе соответствует точке 5 пересечения линии t_1 с линией $\varphi = 100\%$.

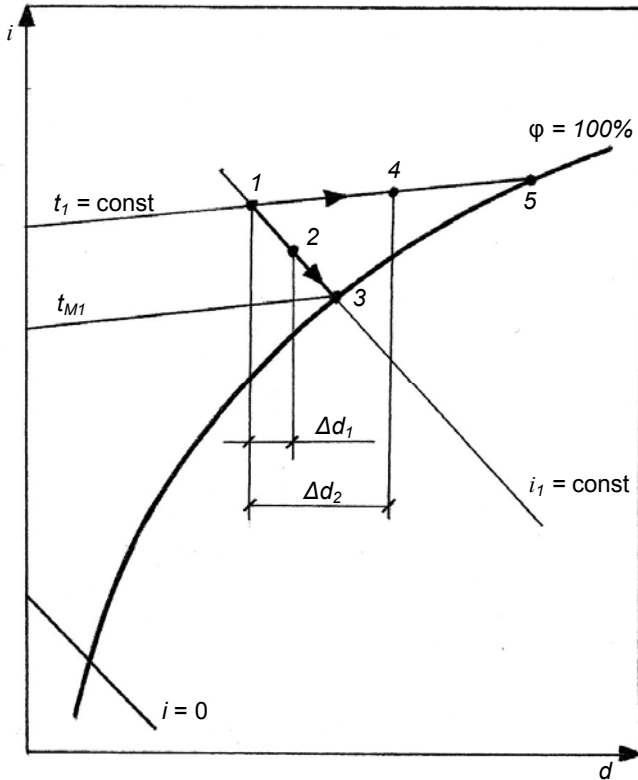


Рис. 1.9. i, d -диаграмма с режимами изохлальной и изотермического увлажнения воздуха

При кондиционировании воздуха используют процесс увлажнения воздуха острым паром, который обычно имеет температуру более 100°C , т. е. значительно отличающуюся от температуры воздуха. Однако в связи с тем что содержание

явного тепла в паре, ассимилируемом воздухом, незначительно, луч процесса идет с небольшим отклонением вверх от изотермы. Изменение энтальпии воздуха в основном определяется теплотой парообразования водяного пара, при этом температура воздуха немного повышается.

На практике принимают процесс увлажнения паром, протекающий по линии постоянной температуры.

Осушение воздуха. В зависимости от требований, предъявляемых к процессу осушения, различают следующие способы осушения воздуха:

1. Осушение путем контакта воздуха с твердой поверхностью, имеющей температуру ниже температуры воздуха. Чем меньше конечное влагосодержание воздуха, тем ниже должна быть температура охлаждающей поверхности. Такой способ получил наибольшее распространение. Для осушения воздуха можно использовать как сухие воздухоохладители, так и камеры орошения. На рис. 2.4 такой процесс протекает по линии *A–B*.

Осушение воздуха в поверхностных воздухоохладителях (с помощью механического осушителя) – относительно новый способ осушения воздуха, который производится с помощью холодильных машин. Такой способ наиболее приемлем для просушки сырых помещений и поддержания умеренно пониженной относительной влажности в помещениях, где необходим небольшой подогрев. Процессы осушения воздуха в механическом осушителе представлены на рис. 2.4.

2. Осушение обработкой воздуха водными растворами различных солей (CaCl_2 , NaCl , LiBr и др.), способных поглощать из воздуха влагу. Это связано с тем, что над поверхностью раствора парциальное давление паров ниже, чем над поверхностью растворителя (воды), и зависит от температуры t и концентрации раствора K_p . Выбирая различные сочетания t и K_p и пользуясь i, d -диаграммой равновесного состояния водяного пара над поверхностью раствора (прил. 2), можно осуществлять любые процессы осушения воздуха.

Положительным свойством растворов солей является их способность находиться в жидкой фазе при отрицательных температурах. Это позволяет использовать их для обработки

воздуха с очень низкими начальными температурами, а также дает возможность эффективно утилизировать теплоту удаляемого воздуха в районах с суровым климатом. Для расчетов процессов, происходящих при отрицательных температурах, используют диаграмму фазового состояния растворов (рис. 1.10). Для раствора CaCl_2 температура замерзания раствора зависит от концентрации растворенного вещества K_m .

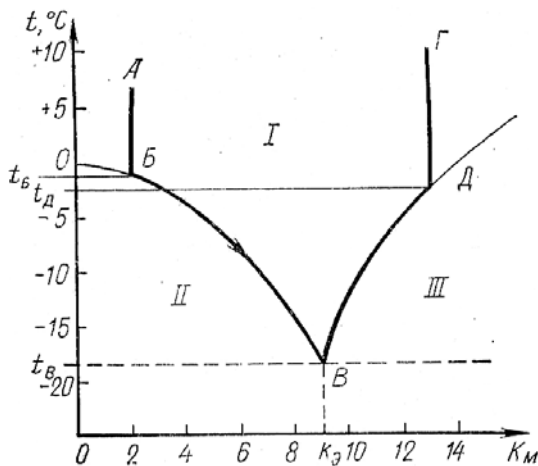


Рис. 1.10. Диаграмма фазового состояния раствора:
I – жидкая фаза; II – фаза образования льда; III – фаза выпадения соли

Если воздух состояния A охлаждать, то по линии $K_m = \text{const}$ в точке B раствор переходит в криоскопическое состояние, сохраняя при этом жидкую фазу. Дальнейшее охлаждение будет происходить по кривой BB с образованием кристаллов льда. При этом K_m концентрация раствора будет повышаться. При достижении температуры ниже t_B образуется лед и твердый раствор. Если начальное состояние раствора характеризуется точкой Γ , то при охлаждении до точки D начинает выпадать соль. Дальнейшее понижение температуры протекает по кривой $D-B$ до эвтектической концентрации K_3 в точке B . При дальнейшем охлаждении весь раствор переходит в твердое состояние.

Парциальное давление водяного пара над раствором солей зависит только от температуры его замерзания и практически одинаково над растворами различных солей. Однако при этом концентрация раствора должна быть меньше эвтектической. Наиболее часто для осушения воздуха используют водные растворы LiBr.

3. Осушение обработкой воздуха твердыми поглотителями влаги (адсорбентами), способными поглощать влагу. Они характеризуются капиллярно пористой структурой и обладают весьма развитой внутренней поверхностью капилляров, достигающей нескольких сот тысяч квадратных метров на 1 кг массы вещества (например, активированный уголь, силикагель, алюмогель и др.).

Механизм процесса осушения воздуха при прохождении его через слой адсорбента заключается в следующем. Известно, что когда смачивающая жидкость частично заполняет капиллярный канал, мениск жидкости в капилляре приобретает вогнутую форму. Парциальное давление над такой поверхностью меньше парциального давления над плоской поверхностью жидкости. Образующаяся разность парциальных давлений вызывает перенос влаги из окружающего воздуха в капилляр. В капиллярном канале водяной пар переходит в жидкое состояние. Осушение с помощью твердых сорбентов протекает по линии 1–2 (рис. 1.11). Однако процесс при этом сопровождается ростом температуры (рис. 1.11, процесс 1–2). Способность адсорбентов поглощать влагу уменьшается при повышении температуры воздуха и снижении влагосодержания воздуха (рис. 1.12)

Осушение воздуха твердыми поглотителями получило широкое распространение, так как оно значительно эффективнее осушения воздуха растворами солей.

В технике кондиционирования воздуха широко применяется силикагель, представляющий собой зернистое стекловидное вещество, получаемое путем обработки жидкого стекла минеральной кислотой. Для осушения воздуха обычно применяют силикагель с размерами зерен от 1 до 3 мм. Площадь поверхности капилляров в 1 кг силикагеля достигает 400 000 м². Он об-

ладает высокой гидрофильностью. Адсорбирующая способность силикагеля зависит от температуры осушаемого воздуха – с ее повышением способность поглощения влаги силикагеля уменьшается. Из рис. 1.11 видно, что при определенном влагосодержании воздуха равновесное состояние силикагеля тем ниже, чем выше температура воздуха. Применять силикагель при температурах выше 35°C нецелесообразно.

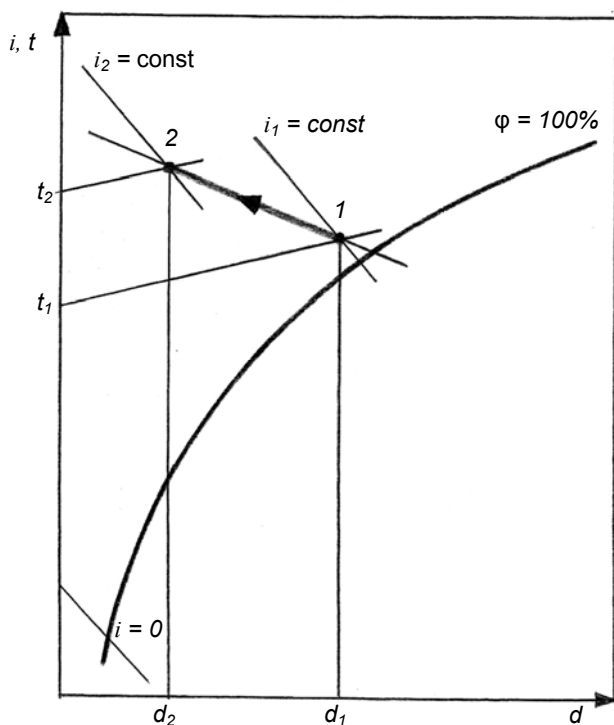


Рис. 1.11. i, d -диаграмма с режимом адсорбции

В условиях практического применения силикагеля или другого адсорбента влажность не следует доводить до предельных состояний, показанных на рис. 1.12. Последнее объясняется тем, что в процессе осушения воздуха насыщение адсорбента происходит отдельными слоями по ходу воздуха.

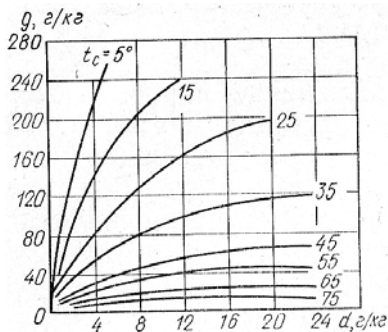


Рис. 1.12. Зависимость равновесного влагосодержания силикагеля от температуры и влагосодержания воздуха

Если через слой адсорбента толщиной $A-G$ (рис. 1.13) проходит осушаемый воздух, то отношение x/a в какой-то момент времени будет выражать степень насыщения адсорбента влагой (здесь x – влажность адсорбента в данный момент; a – предельное количество влаги, насыщающей адсорбент, равно $0,08 \div 0,1$ массы сухого силикагеля).

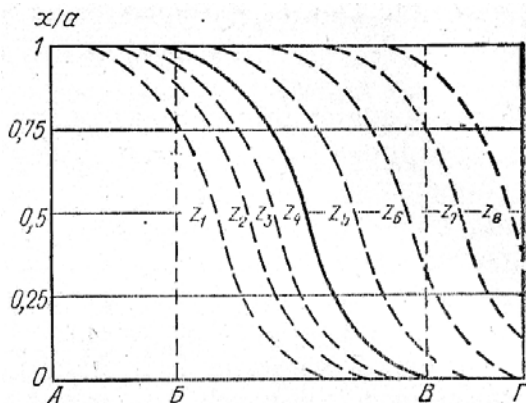


Рис. 1.13. Изменение влажности силикагеля

На рис. 1.13 масштаб этого отношения от 0 до 1 нанесен на оси ординат. По истечении времени Z_4 некоторая часть слоя толщиной $A-B$ оказывается полностью насыщенной. В пределах толщины слоя $B-B$ в этот момент степень насыщения адсорбента изменяется от 0 до 1. В последней части слоя $B-G$ отношение $x/a \rightarrow 0$. Следовательно, воздух приобретает конечную влажность по выходу из слоя $B-B$. По истечении времени, равного Z_6 (ч), воздух уже невозможно осушить до заданного уровня, так как с этого момента степень использования

адсорбента будет непрерывно снижаться. Таким образом, осушение воздуха должно прекратиться еще до достижения всем слоем адсорбента равновесной влажности $x/a = 1$.

Чем меньше толщина слоя AG , тем меньше предельная величина степени насыщения x/a . Следовательно, для более полного использования адсорбента толщина его слоя должна быть по возможности большей.

Очистку воздуха от пыли производят с помощью фильтров – сухих, масляных и электростатических.

В сухих фильтрах (рис. 1.14) используют фильтровальный материал, в качестве которых служат металлизированные гофрированные сетки из стали или ткани из синтетических волокон (например, акрил, стеклоткань, упругое стекловолокно). Конструктивно они могут быть оформлены в виде панелей (ячеек), фильтрующих прокладок, гофрированных листов и пр.

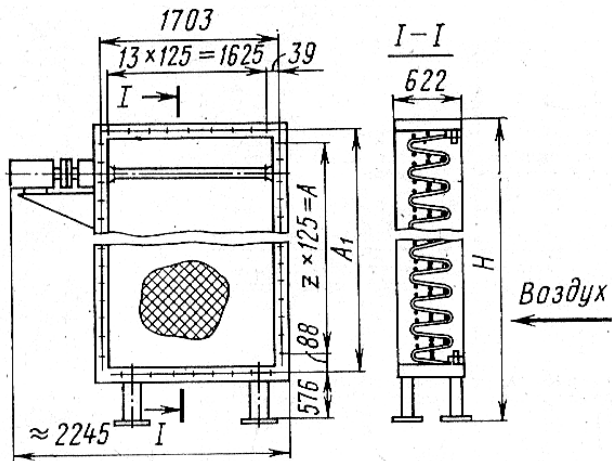


Рис. 1.14. Воздушный сухой фильтр

Применяются рулонные сухие фильтры (рис. 1.15), эксплуатация которых сводится к смене использованных рулонов. В процессе работы фильтрующий материал перематывается по мере накопления в нем пыли с одного барабана на другой.

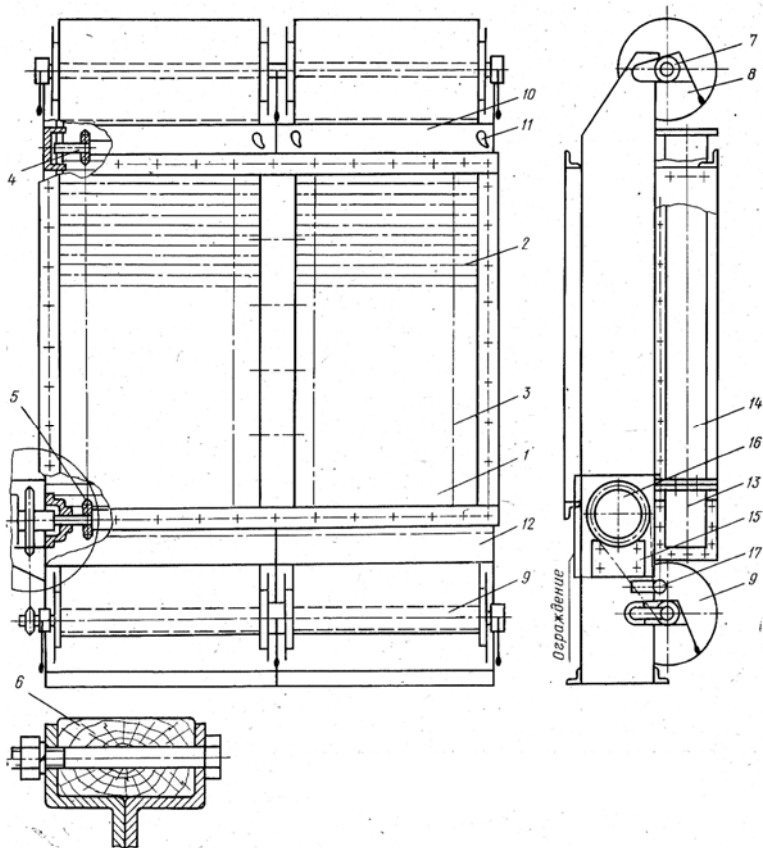


Рис. 1.15. Рулонный фильтр:

- 1 – каркас; 2 – подвижная решетка; 3 – роликовые цепи;
 4 – ведомый вал; 5 – ведущий вал; 6 – деревянные брусья;
 7 – подшипники; 8 – верхняя катушка с фильтрующим материалом;
 9 – нижняя катушка; 10 – люк; 11 – щелочда; 12 – пылесборник;
 13 – отвод; 14 – воздуховод; 15 – кронштейн; 16 – привод; 17 – леникс

В кондиционерах большой производительности используют масляные самоочищающиеся фильтры (рис. 1.16), представляющие собой непрерывную ленту из сетки. Лента образует по ходу движения воздуха две панели, которые приводятся в непрерывное движение и по пути проходят через масляную ванну, где промываются от пыли.

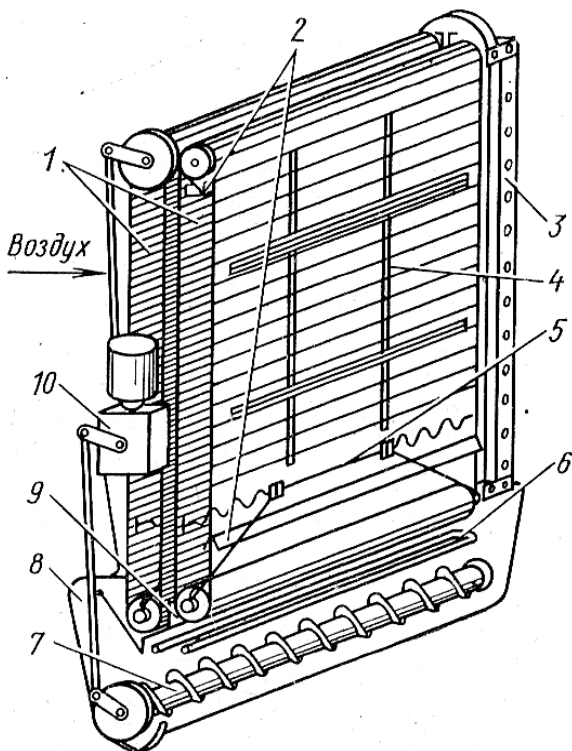


Рис. 1.16. Масляный самоочищающийся фильтр:
 1 – фильтрующие элементы; 2 – маслоъемники; 3 – стойки каркаса;
 4 – ограничители; 5 – натяжное устройство; 6 – змеевик; 7 – шнек;
 8 – бак для масла; 9 – промыватель; 10 – привод

Если воздух не может быть переведен из одного состояния в другое с помощью указанных на рис. 1.17 процессов, то последнее можно реализовать путем сочетания нескольких процессов.

Пусть точки *A* и *B* (рис. 1.17) представляют начальное и конечное состояния воздуха. Процесс изменения состояния воздуха изобразится линией *A–B*, соединяющей эти точки. Достижение воздухом параметров точки *B* может быть реализовано путем сочетания нескольких процессов по разным вариантам.

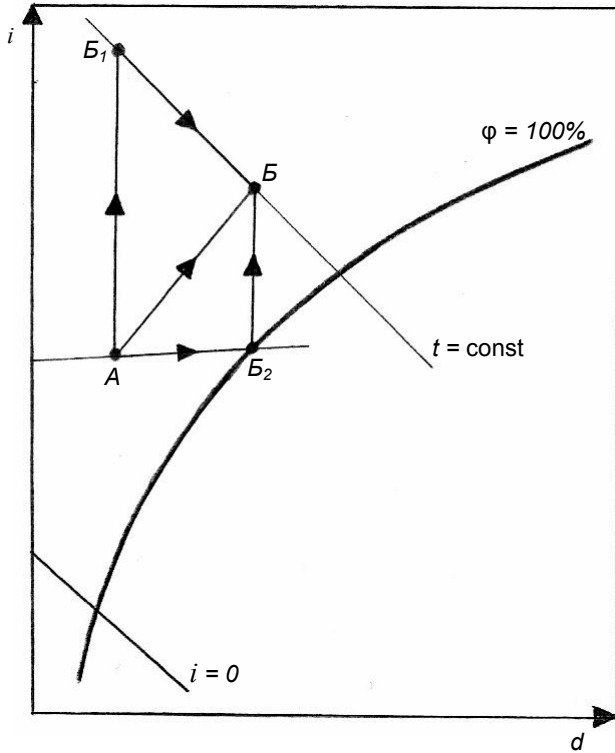


Рис. 1.17. Построение процессов обработки воздуха на i, d -диаграмме

Вариант 1. Воздух может быть сначала подогрет (линия $A-B_1$), а затем увлажнен водой (линия B_1-B) и доведен до состояния в точке B .

Вариант 2. Воздух сначала может быть увлажнен паром (линия $A-B_2$), а затем подогрет (линия B_2-B) до конечного состояния в точке B .

Вариант 3. Воздух может подогреваться и увлажняться одновременно (линия $A-B$).

1.4. Тепло- и влагообмен между воздухом и водой

Процесс обработки воздуха водой рассматривается как процесс смешения воздуха с воздухом, находящимся у поверхности воды.

В общем случае полное количество тепла, обмененное между воздухом и водой и отнесенное к 1 м^2 поверхности контакта, можно записать в следующем виде:

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{я}} + Q_{\text{ск}}, \quad (1.14)$$

где $Q_{\text{п}}$ – полное количество тепла, Вт;

$Q_{\text{я}}$ – количество явного тепла, Вт;

$Q_{\text{ск}}$ – количество скрытого тепла, Вт.

Явный теплообмен происходит при разности температур вследствие теплопроводности, конвекции и излучения. Воздух обладает малой теплопроводностью. Теплообмен излучением в кондиционерах также незначителен и в практических расчетах не учитывается. Поэтому под явным теплообменом в дальнейшем будем понимать только тепло, переданное конвекцией.

Скрытый теплообмен определяется теплотой парообразования и происходит в результате поглощения воздухом или выделения из него влаги вследствие разности парциальных давлений.

Количество тепла, переданное конвекцией, определяется по формуле

$$Q_{\text{я}} = \alpha(t_{\text{в}} - t_{\text{в}})F, \quad (1.15)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$);

$t_{\text{в}}$ – температура воздуха, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{в}}$ – температура воздуха у поверхности воды, $^\circ\text{C}$;

F – поверхность теплообмена, м^2 .

Количество влаги в процессе контакта воздуха с поверхностью воды при нормальном барометрическом давлении определится уравнением

$$W = \beta(p_{\text{в}} - p_{\text{п}}), \quad (1.16)$$

где β – коэффициент влагообмена, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$;

$p_{\text{в}}$ – парциальное давление водяных паров в воздухе, Па;

$p_{\text{п}}$ – парциальное давление водяных паров в пограничном слое воздуха над поверхностью воды, Па.

Так как парциальное давление водяных паров в воздухе является однозначной и почти линейной функцией его влагосодержания, в дальнейшем удобно пользоваться не разностью парциальных давлений, а разностью влагосодержаний.

Поскольку кондиционеры работают в области сравнительно низких температур ($\approx 20^\circ\text{C}$), можно приближенно принять:

$$\frac{p_{\text{в}} - p_{\text{п}}}{d_{\text{в}} - d_{\text{п}}} = A \approx \text{const.} \quad (1.17)$$

Тогда уравнение (1.16) можно записать в следующем виде:

$$W = \beta A (d_{\text{в}} - d_{\text{п}}), \quad (1.18)$$

где $d_{\text{в}}$ – влагосодержание в основной массе воздуха, $\text{г}/\text{кг}$;

$d_{\text{п}}$ – влагосодержание воздуха в пограничном слое, т. е. при температуре, равной температуре поверхности воды, и при полном насыщении воздуха водяными парами, $\text{г}/\text{кг}$.

Обозначим

$$\beta' = \beta A. \quad (1.19)$$

Количество скрытого тепла, обмененного между воздухом и водой, определяем по уравнению

$$Q_{\text{ск}} = rW = r\beta'(d_{\text{в}} - d_{\text{п}}), \quad (1.20)$$

где r – теплота испарения воды при t_w , $\text{кДж}/\text{кг}$.

В результате влагообмена при $t_w > t_{\text{в}}$ будет происходить испарение воды в воздух, а при $t_w < t_{\text{в}}$ – конденсация на поверхности воды водяного пара из воздуха.

Полное количество тепла, переходящее от воды к воздуху при $t_w > t_{\text{в}}$, вычисляется по формуле

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{я}} + Q_{\text{ск}} = \alpha_{\text{к}}(t_w - t_{\text{в}}) + r\beta'(d_{\text{п}} - d_{\text{в}}). \quad (1.21)$$

В тех случаях, когда $t_{\text{в}} > t_w$ и тепло переходит от воздуха к воде, полное количество тепла определяется как

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{я}} + Q_{\text{ск}} = \alpha_{\text{к}}(t_{\text{в}} - t_{\text{в}}) + r\beta'(d_{\text{в}} - d_{\text{н}}). \quad (1.22)$$

Уравнение (1.22) может применяться во всех случаях, если условно считать тепловой поток от воздуха к воде положительным, а от воды к воздуху – отрицательным.

Если количество воздуха $G_{\text{к}}$ с энтальпией $i_{\text{в}}$ и влагосодержанием $d_{\text{в}}$ вступает в контакт с водяной поверхностью, имеющей температуру $t_{\text{в}}$, то для данного процесса действительны уравнения

$$Q_{\Pi} = G_{\text{к}}(i_{\text{в}} - i_{\text{в}}), \quad (1.23)$$

$$W = G_{\text{к}}(d_{\text{в}} - d_{\text{в}}). \quad (1.24)$$

Разделив левую и правую части уравнения (1.23) на соответствующие части уравнения (1.24), получим:

$$\frac{Q_{\Pi}}{W} = \frac{i_{\text{в}} - i_{\text{в}}}{d_{\text{в}} - d_{\text{в}}} = \frac{\Delta i}{\Delta d} = \varepsilon. \quad (1.25)$$

Уравнение (1.25) в координатах i, d -диаграммы влажного воздуха определяет угловой коэффициент ε прямой, проходящей через точку с параметрами $i_{\text{в}}$, $d_{\text{в}}$, характеризующую начальное состояние воздуха, и через точку с параметрами $i_{\text{в}}$, $d_{\text{в}}$, характеризующую состояние воздуха при температуре воды $t_{\text{в}}$ и относительной влажности $\varphi = 100\%$.

Кроме того, из уравнения (1.25) вытекает, что в случаях непосредственного взаимодействия воздуха с водой при $t_{\text{в}} = \text{const}$ процесс изменения состояния воздуха изображается на i, d -диаграмме отрезком прямой, который определяет процесс изменения состояния воздуха во время его взаимодействия с водой.

В приведенных выводах исходят из того, что за время взаимодействия воздуха с водой энтальпия $i_{\text{в}}$ и влагосодержание $d_{\text{в}}$ являются постоянными. В реальных условиях (в оросительных камерах кондиционеров) температура воды изменяется в пределах $3 \div 4^{\circ}\text{C}$, и линия, отображающая процесс тепловлагообмена на i, d -диаграмме, будет иметь некоторую кривизну. Однако в пределах тех небольших изменений температур воды $t_{\text{в}}$, с которыми приходится иметь дело в

практике кондиционирования воздуха, указанными изменениями можно пренебречь.

Наиболее характерные процессы взаимодействия воздуха с водой при постоянной температуре t_w представлены на рис. 1.18. В целом возможные процессы взаимодействия воздуха с водой лежат в пределах криволинейного треугольника ABB , у которого одной стороной является кривая насыщения $\phi = 100\%$, а двумя другими – касательные к этой кривой, проведенные из точки A начального состояния воздуха. Любой процесс взаимодействия воздуха с водой постоянной температуры изобразится отрезком, находящимся в пределах этого треугольника.

Процесс А–1 протекает при $t_w < t_p$ (где t_p – температура точки росы воздуха). В этом случае явный и скрытый теплопритоки ($Q_{я}$ и $Q_{ск}$) < 0 , т. е. воздух отдает тепло воде, что приводит к снижению температуры воздуха и сопровождается конденсацией влаги, находящейся в воздухе (d уменьшается). Процесс характеризуется охлаждением и осушкой воздуха.

Процесс А–2 протекает при $t_w = t_p$ по линии $d = \text{const}$. Происходит охлаждение воздуха без конденсации влаги (сухое охлаждение). Данный процесс характеризуется отводом явного тепла $Q_{я}$, так как $t_w < t_b$, при этом $Q_{ск} = 0$.

Процесс А–3 протекает при $t_p < t_w < t_m$ (где t_m – температура воздуха по «мокрому» термометру). Здесь тепло, отдаваемое воздухом воде, частично расходуется на испарение воды. Температура воздуха понижается, а влагосодержание его возрастает, т. е. воздух охлаждается и увлажняется ($Q_{я} < 0$, $Q_{ск} > 0$).

При процессах 1, 2, 3 воздух обрабатывается холодной водой, температура которой ниже температуры воздуха по «мокрому» термометру.

Процесс А–4 протекает при $t_w = t_m$ по линии $i = \text{const}$. Воздух охлаждается до t_m , энтальпия его не изменяется, так как тепло, теряемое воздухом при теплообмене с охлаждающей его водой, возвращается в воздух вместе с испарившейся влагой, а влагосодержание d увеличивается, т. е. $Q_{я} = Q_{ск}$. В целом $Q_{\text{общ}} = 0$ (процесс изоэнтальпический).

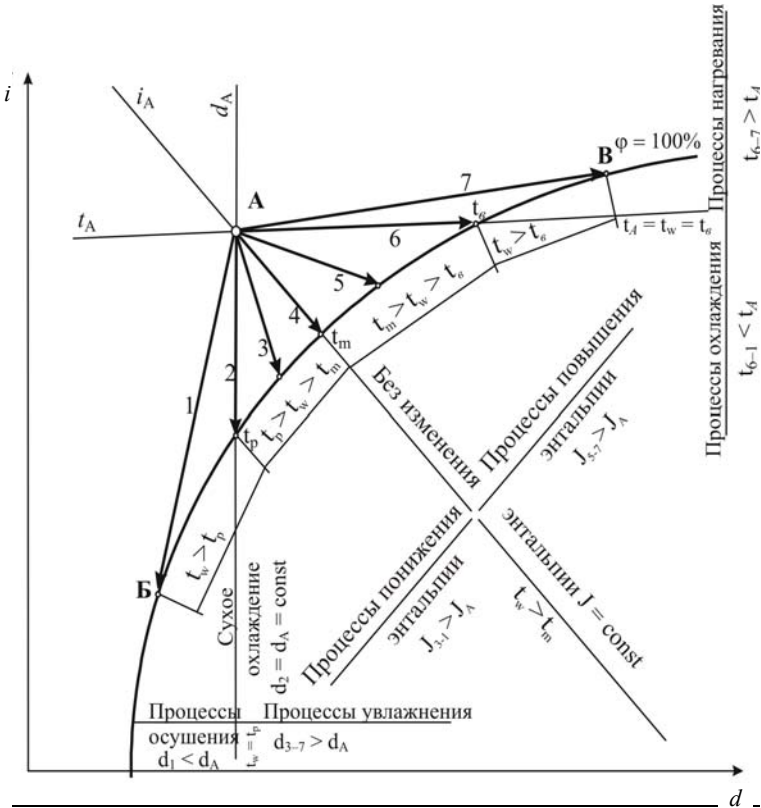


Рис. 1.18. Изображение на i, d -диаграмме возможных процессов взаимодействия воздуха с водой постоянной температуры

Процесс $A-5$ протекает при $t_m < t_w < t_b$. Температура воздуха t_b понижается, а тепло $Q_{\text{общ}}$ и влагосодержание d увеличиваются. Воздух будет охлаждаться и увлажняться ($Q_{\text{я}} < 0$, $Q_{\text{ск}} > 0$).

Процесс $A-6$ протекает при $t_w = t_b$ по линии $t = \text{const}$. В этом случае ни воздух, ни вода не изменяют своих температур. Теплообмен между водой и воздухом отсутствует, происходит только его увлажнение ($Q_{\text{я}} = 0$, $Q_{\text{ск}} > 0$); процесс изотермический.

Процесс $A-7$ протекает при $t_w > t_b$. Происходит передача тепла от воды к воздуху ($Q_y > 0$, $Q_{ск} > 0$). Воздух нагревается и увлажняется.

В процессах $A-5$, $A-6$, $A-7$ воздух обрабатывается теплой водой, температура которой выше температуры воздуха по «мокрому» термометру.

При контакте воздуха с водой невозможно осуществить следующие три процесса: осушение и одновременное нагревание воздуха, нагревание воздуха без изменения влагосодержания, осушение воздуха без изменения его температуры. Все эти процессы изображаются линиями, лежащими вне треугольника ABV , и не могут быть осуществлены при непосредственном контакте воздуха с водой.

1.5. Схема центральной системы кондиционирования воздуха

В состав системы кондиционирования воздуха (СКВ) входят технические средства:

- забора воздуха;
- подготовки воздуха, т. е. придания ему необходимых кондиций (фильтры, теплообменники, камеры орошения, увлажнители или осушители воздуха);
- перемещения воздуха (вентиляторы);
- средства распределения воздуха;
- средства хладо- и теплоснабжения;
- средства автоматики, дистанционного управления и контроля.

Основное оборудование СКВ для подготовки и перемещения воздуха компонуется в единый аппарат, называемый *кондиционером*.

Современные СКВ могут быть классифицированы по следующим признакам:

- *принципу сезонности*: летние, зимние, круглогодичные;
- *использованию рециркуляционного воздуха*: прямоточные, с одной рециркуляцией, с двумя рециркуляциями;

- *месту обработки воздуха*: центральные, местные, местно-центральные и автономные;
- *способу охлаждения*: с непосредственным испарением холодильного агента (фреона) и с промежуточным хладоносителем (вода или рассол);
- *конструктивному признаку*: одноканальные, двухканальные;
- *скорости воздуха в магистральных воздуховодах*: низкоскоростные, среднескоростные и высокоскоростные;
- *давлению, создаваемому вентилятором*: низконапорные, средненапорные, высоконапорные;
- *количеству обслуживаемых помещений (локальных зон)*: однозональные и многозональные.

Центральные СКВ применяются для обслуживания больших помещений: театров, залов, цехов производственных предприятий, больших судов. Как правило, центральные СКВ оборудуются неавтономными кондиционерами, которые снабжаются теплом и холодом от внешних источников. Кондиционеры размещаются вне обслуживаемых помещений.

Обрабатываемый в кондиционере воздух с помощью воздуховодов распределяется по помещениям. Причем воздух может частично вновь поступать из помещений на обработку в кондиционер. В таком случае это система с рециркуляцией воздуха. Применение рециркуляции воздуха сокращает расходы тепла в зимний период и холода в летний период и, следовательно, снижает эксплуатационные затраты. Если же воздух из помещения не возвращается в кондиционер, то такую систему называют прямоточной.

В местно-центральной СКВ воздух, обработанный в центральном кондиционере, затем проходит дополнительную дообработку в местном кондиционере, устанавливаемом в обслуживаемом помещении.

Местные СКВ разрабатывают на базе автономных и неавтономных кондиционеров, устанавливаемых непосредственно в обслуживаемом помещении. Производство холода и тепла при этом децентрализовано.

Автономные СКВ имеют источники тепла и холода, с помощью которых приготавливают воздух требуемых параметров. При этом кондиционер устанавливается непосредственно в кондиционируемом помещении.

В двухканальной системе различно обработанный воздух направляется в помещение по двум самостоятельным каналам (воздуховодам): по одному – холодный, по другому – нагретый. Потребитель смешивает воздух в желательных количественных соотношениях, обеспечивая требуемые параметры воздуха, поступающего в помещения, при различных тепло-влажностных отношениях.

Чем выше скорость воздуха, тем меньше будет сечение воздуховодов. Но с повышением скорости возрастают и потери напора, следовательно, увеличивается потребляемая мощность вентиляторов, а также возрастает уровень шума. Скорость воздуха в высокоскоростных системах достигает 22–30 м/с, в среднескоростных – 17–22 м/с, а в низкоскоростных – 15–17 м/с.

На рис. 1.19 приведена принципиальная схема одноканальной центральной системы кондиционирования воздуха с одной рециркуляцией. Центральный кондиционер располагается в специальном помещении. Иногда в этом же помещении размещается и холодильная машина. При использовании самостоятельной холодильной машины, размещенной в одном помещении с центральным кондиционером, для охлаждения воздуха используют воздухоохладитель непосредственного испарения.

Центральный кондиционер состоит из унифицированных типовых секций, позволяющих обработать от 10 до 250 тыс. м³/ч воздуха. Он включает: фильтр 1, воздушные заслонки 2, воздухоохладитель 3, калорифер 4, паровой увлажнитель 5 и каплеотделитель 6. Воздух, обработанный в кондиционере, с помощью вентилятора 7 подается в помещения через шумоглушитель 15 и приточные насадки 8 (распределитель). Из помещений воздух по воздуховоду 10 поступает вновь в кондиционер. Часть воздуха, подаваемого вентилятором 7, удаляется наружу. В кондиционер через приемное устройство 11 поступает свежий воздух, обеспечивающий нормализацию газового состава воздуха. В зимнее время свежий воздух пред-

варительно подогревается в калорифере 12.

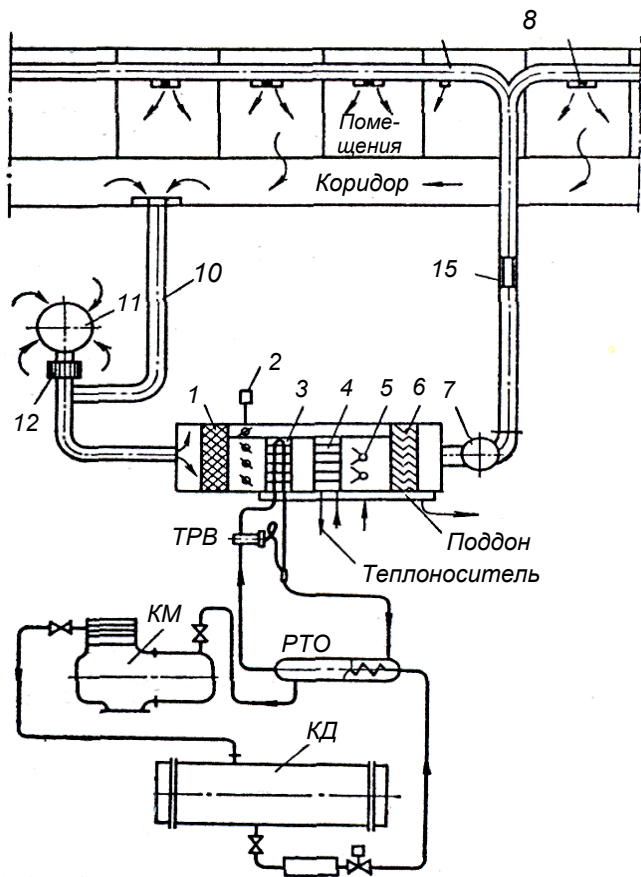


Рис. 1.19. Принципиальная схема одноканальной центральной СКВ с одной рециркуляцией

Очистка всего количества воздуха производится в фильтре 1. Затем одна часть воздуха проходит по обводному каналу, а другая (основная) подвергается обработке в кондиционере.

На рис. 1.19 показана также схема холодильной машины, обеспечивающей работу воздухоохладителя 3. Он состоит из пучка оребренных труб, внутри которых происходит кипение

холодильного агента (чаще всего фреона-22). Пары холодильного агента отсасываются компрессором холодильной машины.

На рис. 1.20 показана схема изменения параметров воздуха при работе установки кондиционирования воздуха в летнее время.

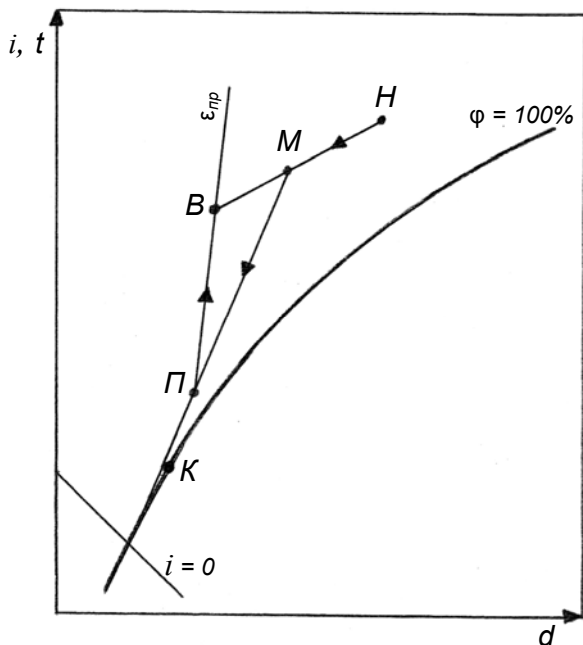


Рис. 1.20. Схема обработки воздуха в центральном кондиционере в летнее время года

Воздух из помещения в состоянии точки B смешивается со свежим (наружным) воздухом состояния точки H , поступающим из приемного устройства. Смесь, определяемая точкой M , проходит через фильтр I (рис. 1.19), систему клапанов 2 и подвергается охлаждению в воздухоохладителе 3 . Процесс охлаждения происходит по линии $M-K$ (рис. 1.20). Воздух охлаждается и осушается. На поверхности воздухоохладителя, температура которой характеризуется точкой K , оседает влага, стекающая в поддон кондиционера. Эту пресную воду

можно использовать для хозяйственных нужд или для питания котлов.

При охлаждении воздух не достигает температуры поверхности воздухоохладителя и в состоянии точки *П* с помощью вентилятора по воздуховоду подается в помещения. Воздух в вентиляторе нагревается на $1\div 2$ градуса (на диаграмме не показывается). Попадая в помещение, воздух воспринимает тепло и влагу, при этом его состояние изменяется. Направление изменения параметров воздуха определяется тепловлажностным отношением $\varepsilon_{пр}$. Из рис. 1.20 видно, что это изменение происходит по линии *П–В*. Это свидетельствует о нагревании и увлажнении воздуха в помещениях.

На рис. 1.21 показана схема обработки воздуха в зимнее время.

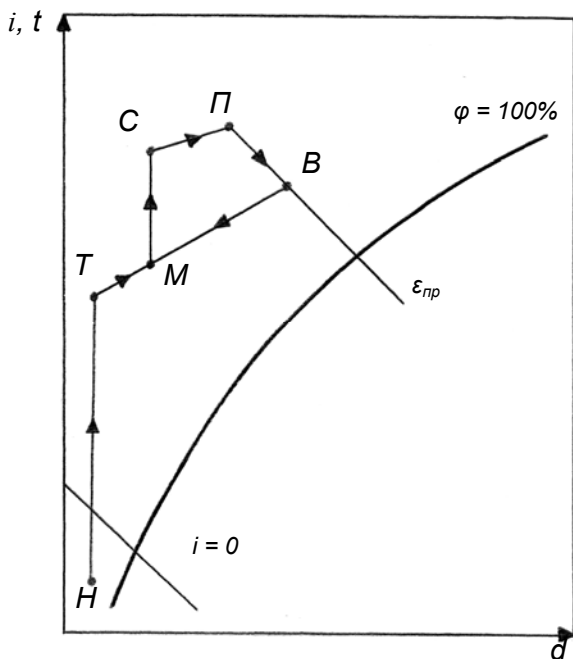


Рис. 1.21. Схема обработки воздуха в центральном кондиционере в зимнее время года

Наружный воздух состояния H подогревается в калорифере 4 (рис. 1.19) до состояния точки T , затем происходит смешение подогретого наружного воздуха состояния точки T с воздухом, поступающим из помещения в состоянии точки B . Процесс смешения идет по линии $T-B$. Параметры смеси определяются точкой M . Далее смесь воздуха подогревается в калорифере до состояния, определяемого точкой C . Затем воздух увлажняется паром (процесс $C-P$) и в состоянии точки P поступает в помещения. В помещениях воздух охлаждается и немного увлажняется (процесс $P-B$).

Таким образом, в летнее время воздух в кондиционере очищается, охлаждается и осушается, а в зимнее время – очищается, подогревается и увлажняется. Рециркуляция воздуха позволяет сократить расход холода – в летний и расход тепла – в зимний периоды года.

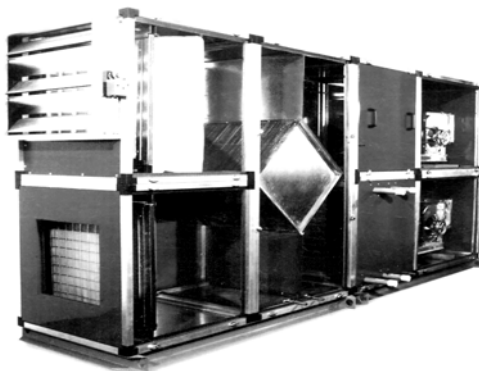


Рис.1.22. Внешний вид центрального кондиционера

Внешний вид центрального кондиционера типа КЦКП приведен на рис. 1.22.

1.6. Устройства для обработки и распределения воздуха

Холодильная машина. В установках производительностью до 350 кВт рекомендуется применять систему с непосредст-

венным охлаждением воздуха в воздухоохладителях поверхностного типа. По этой схеме каждый кондиционер работает с индивидуальным фреоновым компрессорно-конденсаторным агрегатом. В качестве холодильного агента обычно используется R22. Применение систем непосредственного охлаждения позволяет создавать компактные установки.

Холодоснабжение нескольких удаленных друг от друга кондиционеров осуществляется с помощью промежуточного хладоносителя, охлаждаемого в центральной холодильной установке. Хладоноситель выбирают в зависимости от требуемой температуры: при 2°С и выше применяют воду, а при более низких температурах – различные рассолы.

Воздухонагреватели (калориферы). Калорифер (рис. 1.23) состоит из труб, на которые напрессованы гофрированные пластины наружного оребрения. Внутри трубок пропускается теплоноситель – пар или горячая вода. Снаружи трубок движется нагреваемый воздух. Весь трубный пучок нагревателя монтируется в легком кожухе, две стороны которого остаются открытыми для входа и выхода воздуха. Поверхность воздухонагревателя оцинковывается, что обеспечивает защиту от коррозии и хороший контакт между ребрами и трубками. Для нагревания воздуха могут использовать электрические нагреватели, применение которых упрощает систему обогрева и повышает ее надежность. Электрические нагреватели состоят из корпуса с укрепленными греющими элементами в виде спиралей или оребренных ТЭНов.

Увлажнительные устройства. Как было рассмотрено выше, в зимнее время воздух в кондиционере необходимо увлажнять. Это объясняется тем, что влагосодержание наружного воздуха мало. При подогреве такого воздуха относительная влажность сильно уменьшается (рис. 1.21, процессы $H-T$ и $M-C$). Если влаговыведения в обслуживаемых помещениях невелики, то подача такого воздуха в помещение приведет к недопустимому снижению относительной влажности в этом помещении. В таких случаях производят увлажнение подогретого воздуха паром или водой.

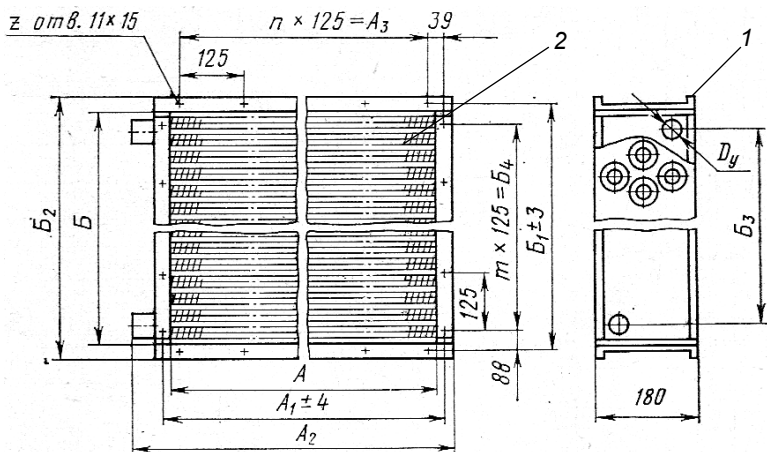


Рис. 1.23. Схема калорифера: 1 – корпус; 2 – труба нагревателя

Для увлажнения воздуха используют камеры орошения (рис 1.24). Вода распыляется специальными форсунками и приходит в контакт с воздухом. Воздух насыщается, а вода стекает в поддон камеры на повторную подачу к форсункам. При циркуляции вода принимает температуру мокрого термометра проходящего воздуха. Увлажнение воздуха происходит по линии постоянной энтальпии.

В последнее время получили распространение камеры содового увлажнения. В такой камере воздух омывает орошаемые насадки, собранные из различных гигроскопических материалов (рис. 1.25).

По высоте камеры установлены сотовые насадки 1, собираемые из гофрированных гигроскопических листов. Над сотовыми насадками 1 располагается оросительный водораспределитель 2, соединенный гибким шлангом 3 с нагнетательной стороной насоса 4. Нижняя часть сотовой насадки 1 располагается над поддоном 5, куда стекает орошающая вода после прохождения по поверхности гофрированных гигроскопических листов. К поддону 5 присоединяется водопроводный трубопровод 7 диаметром D_y . Шаровый клапан в поддоне соединен с подводимым водопроводным трубопроводом 7 и обеспечивает поддержание постоянного уровня воды в под-

доне 5. Излишек воды в поддоне 5 сливается через перелив 6. Для предотвращения уноса капель воды потоком воздуха на выходе из блок-камеры сотового увлажнения установлены простейшие сепараторы 8. Эффективность адиабатного увлажнения зависит от глубины насадок по ходу воздуха и скорости приточного воздуха в их фасадном сечении.

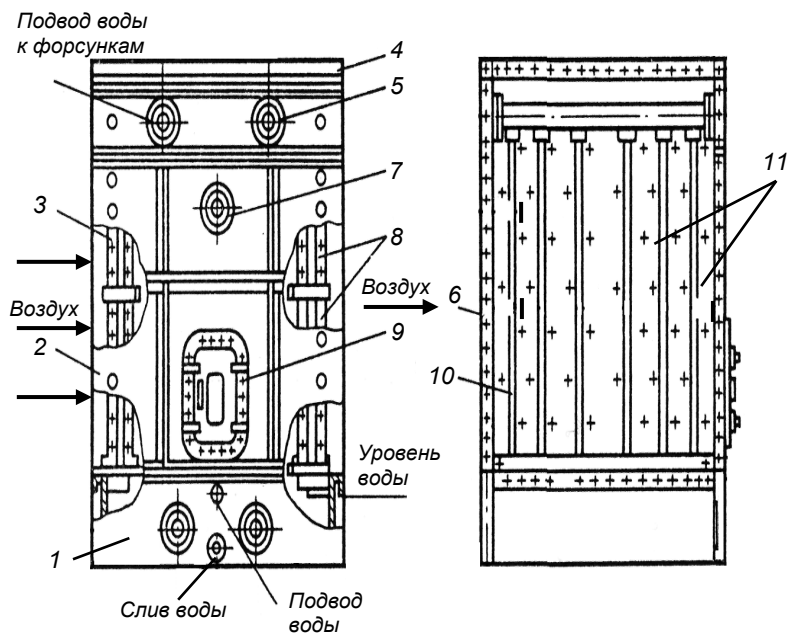


Рис. 1.24. Схема камеры орошения: 1 – бак для воды; 2 – стенка передняя; 3 – воздухораспределитель; 4 – потолок; 5 – коллекторный ряд; 6 – стенка; 7 – светильник герметичный; 8 – каплеуловитель; 9 – дверка герметичная; 10 – стояк; 11 – форсунки

В судовых кондиционерах широко используют паровые увлажнители, которые конструктивно проще и занимают меньше места. Для осуществления процесса парового увлажнения используют различные конструкции генераторов водяного пара.

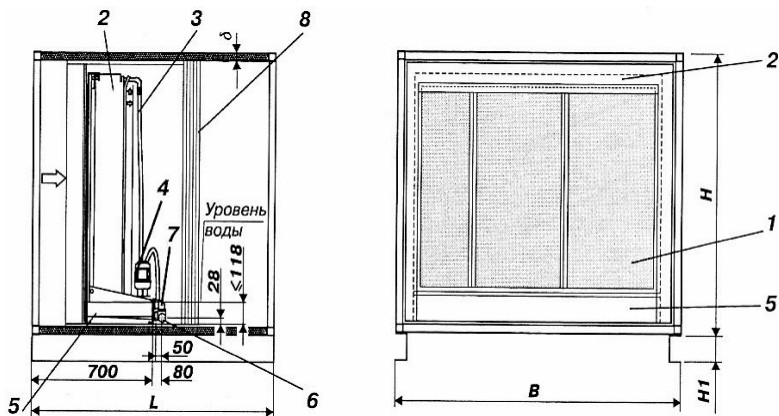


Рис. 1.25. Блок-камера сотового увлажнителя:
 1 – сотовые насадки; 2 – оросительный водораспределитель;
 3 – гибкий шланг; 4 – насос; 5 – поддон; 6 – перелив;
 7 – водопроводный трубопровод; 8 – сепараторы

В системах кондиционирования воздуха наибольшее распространение получили электрические генераторы пара, принципиальная схема которых показана на рис. 1.25.

Конструктивно электрический парогенератор выполняется в форме шкафа 8, в который встроен один или несколько цилиндрических сосудов 4. Внутри сосудов располагаются электроды 2. К электродам через автоматически управляемые от привода пускатели подводится электроэнергия. Паровой увлажнитель устанавливают после калорифера (рис. 1.19). При наличии пара на производстве увлажнитель представляет собой трубку с отверстиями. К трубке подводится пар, который, выходя из отверстий, смешивается с подогретым воздухом (рис. 1.26). Увлажнение воздуха паром происходит почти без изменений температуры (рис. 1.21, процесс $C-II$). Применение перегретого пара сопровождается небольшим подогревом воздуха.

Для уменьшения шума парового увлажнителя иногда применяют специальные сопла, устанавливаемые в отверстиях для выхода пара из трубки увлажнителя.

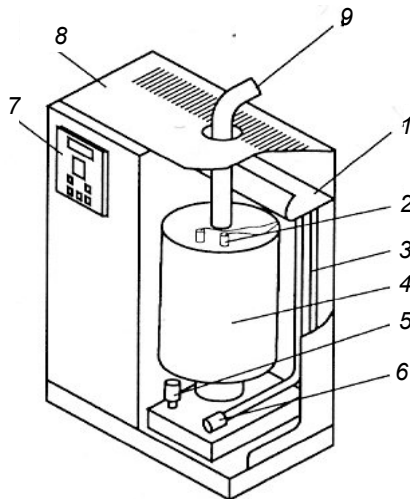


Рис. 1.26. Электрический парогенератор: 1 – указатель уровня воды; 2 – электроды блока управления; 3 – перелив; 4 – цилиндрический сосуд для генерации пара; 5 – патрубок для присоединения к дренажному сбросному трубопроводу; 6 – патрубок для присоединения наполняющего водой трубопровода; 7 – блок управления; 8 – кожух; 9 – присоединение паропроводного трубопровода

Каплеотделители (рис. 1.27, в) предназначены для предотвращения уноса капель воды из воздухоохладителей или камер орошения. Каплеотделители выполняют из изогнутых вертикальных металлических пластин или пластмассовых профилей, имеющих несущую конструкцию из стали. Воздух движется зигзагообразно между пластинами. Увлеченные воздухом капли воды по инерции сталкиваются с поверхностями пластин и по ним стекают в поддон.

Ионизаторы. При ионизации в воздухе образуются положительно или отрицательно заряженные частицы газов. Единичные частицы, обладающие электрическим зарядом определенного знака, образуют группу легких ионов, которые отличаются большой подвижностью. Наличием их обуславливаются определенные положительные гигиенические и даже целебные свойства воздуха. В естественных условиях в 1 см^3 воздуха содержится до 1000 пар легких ионов.

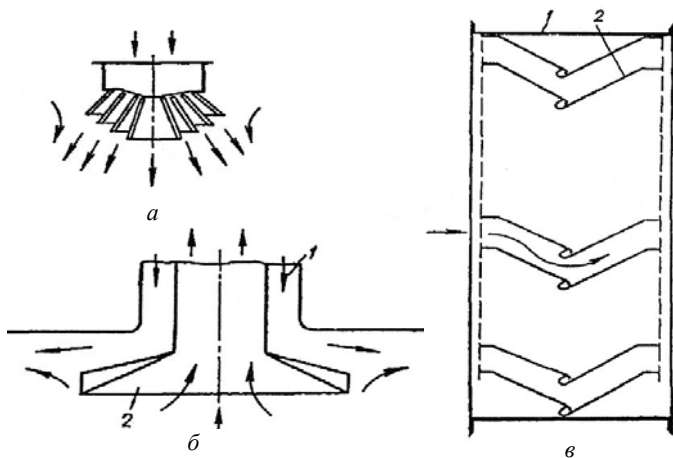


Рис. 1.27. Устройства для обработки и распределения воздуха:
a – смеситель воздуха с эжекторами; *б* – смеситель воздуха
 с всасывающим каналом: 1 – канал подачи воздуха;
 2 – канал рециркуляционного воздуха; *в* – каплеотделитель:
 1 – корпус; 2 – отражатели; 3 – воздухопровод

В результате обычных методов обработки воздуха в системах кондиционирования (фильтрации, охлаждения, осушения и т. п.) ионный состав его резко снижается. Ионизацию воздуха можно осуществлять с помощью тонкораспыленных капель воды (вода должна быть проточной).

В природных условиях ионизация воздуха происходит около водопадов, горных рек и при ударах морских волн. Ионизацию воздуха следует производить лишь после его очистки от механических и токсических примесей.

Распределители воздуха. Распределитель воздуха предназначен для создания в помещении равномерного температурного поля.

По принципу действия распределители воздуха бывают эжектирующие и неэжектирующие (рис. 1.27, *a*, *б*). В эжектирующие распределители обработанный в кондиционере воздух подается через сопла с большой скоростью (до 30 м/с). Вокруг струи (рис. 1.27, *б*), выходящей из сопла, создается зона с пониженным давлением, куда подсасывается воздух

помещения и где происходит смешение воздушных потоков. Для снижения шума в распределителе воздуха предусмотрен глушитель шума.

Количество подсасываемого из помещения воздуха, входящееся на 1 кг воздуха, подаваемого в помещение, называется коэффициентом эжектирования. Обычно его величина равна 2÷3. Чем выше скорость воздуха, тем больше коэффициент эжектирования. Однако с возрастанием скорости воздуха повышается шум распределителя, вызывая неприятные ощущения в помещении. Для снижения шума в распределителе воздуха устанавливают глушитель.

Смесь воздуха, выходящая из решетки распределителя воздуха, имеет скорость от 2 до 5 м/с. Это дает возможность вторичного эжектирования воздуха помещения, что приводит к еще большему выравниванию температуры выходящей из распределителя струи воздуха помещения. Применение распределителей воздуха двойного эжектирования (рис. 1.27, б) позволяет допускать разность температур воздуха помещения и воздуха, обработанного в кондиционере, до значений 15÷18°C. Увеличение перепада температур приводит к сокращению расхода циркулирующего воздуха и, следовательно, к уменьшению размеров поперечного сечения воздухопроводов.

Применяются распределители воздуха, имеющие вид перфорированного прямоугольного воздуховода. При этом воздух поступает в помещение через отверстия небольшого размера (3÷5 мм), что обеспечивает хорошее перемешивание его с воздухом помещения и приводит к снижению скорости и выравниванию температуры. Распределители воздуха, кроме основного своего назначения, должны также отвечать требованиям эстетики.

На рис. 1.28 показан кондиционер-доводчик, предназначенный для круглогодичного кондиционирования воздуха в административных и общественных многоквартирных зданиях. Воздух от центрального кондиционера поступает в камеру 15. Из камеры воздух выходит через сопло 4 со скоростью 15–20 м/с. Благодаря эжектирующему действию струи выходящий воздух подсасывает рециркуляционный воздух из по-

мещения. При этом он предварительно проходит очистку в воздушном фильтре 13 и тепловую обработку в поверхностных теплообменниках 11 и 12. Затем обработанный рециркуляционный воздух смешивается в камере смешения и через выходной патрубок 9 подается в помещение.

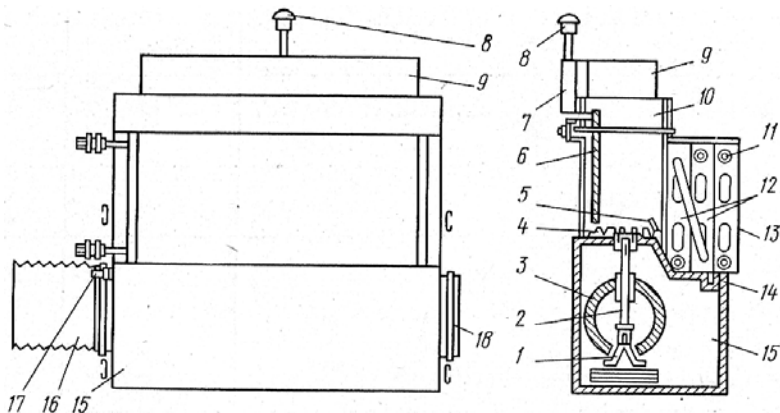


Рис. 1.28. Эжекционный кондиционер-доводчик:

1 – целевое отверстие; 2 – регулирующий клапан (изменение расхода первичного воздуха); 3 – распределительная труба; 4 – эжектирующие сопла; 5 – воздушная заслонка; 6 – воздушный регулирующий клапан (регулирование теплохолодопроизводительности); 7 – рычажная система; 8 – рукоятки; 9 – патрубок выхода воздуха; 10 – смешительная камера; 11, 12 – теплообменники; 13 – капроновый фильтр; 14 – поддон для сбора конденсата; 15 – камера первичного воздуха; 16 – гибкий патрубок; 17 – штуцер; 18 – резиновая заглушка

Вентиляторы. По конструктивному исполнению вентиляторы делятся на центробежные (рис. 1.29) и осевые. На кровле здания устанавливаются специальные крышные вентиляторы. Существуют центробежные вентиляторы одностороннего и двухстороннего всасывания. По направлению вращения центробежные вентиляторы делятся на вентиляторы правого и левого вращения. Вентиляторами правого вращения называются те, у которых колесо вращается по часовой стрелке, если смотреть со стороны всасывания, а вентиляторами левого вращения – те, у которых колесо вращается про-

тив часовой стрелки.

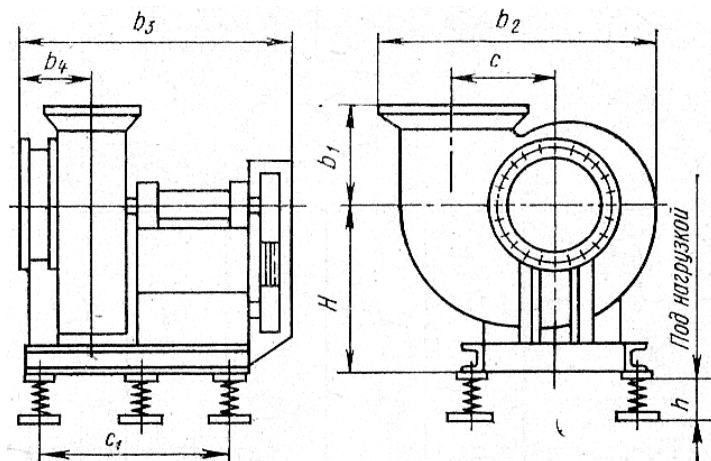


Рис. 1.29. Центробежный вентилятор

По типу привода различают следующие соединения колеса с валом электродвигателя: с постоянным передаточным отношением и с регулируемой бесступенчатой передачей (вариаторы, гидро- и индукторные люфты скольжения).

Технические характеристики вентиляторов приводятся для стандартных условий чистого воздуха при барометрическом давлении.

1.7. Автономные кондиционеры

Автономные кондиционеры широко используются для комфортного и технологического кондиционирования воздуха. Они устанавливаются, как правило, в жилых, общественных и производственных помещениях для поддержания в них заданных комфортных условий.

Автономные СКВ снабжаются извне только электроэнергией. Они имеют вид агрегатов, состоящих из холодильной машины и аппаратов для обработки воздуха, выполненных в виде шкафов, сплит-систем и т. п. Кондиционер чаще всего располагают в обслуживаемом помещении. Иногда один кондиционер обслуживает несколько помещений.

На рис. 1.30 приведено устройство автономного кондиционера БК-1500, который предназначен для охлаждения воздуха в бытовых и служебных помещениях площадью до 25 м² в теплый период года.

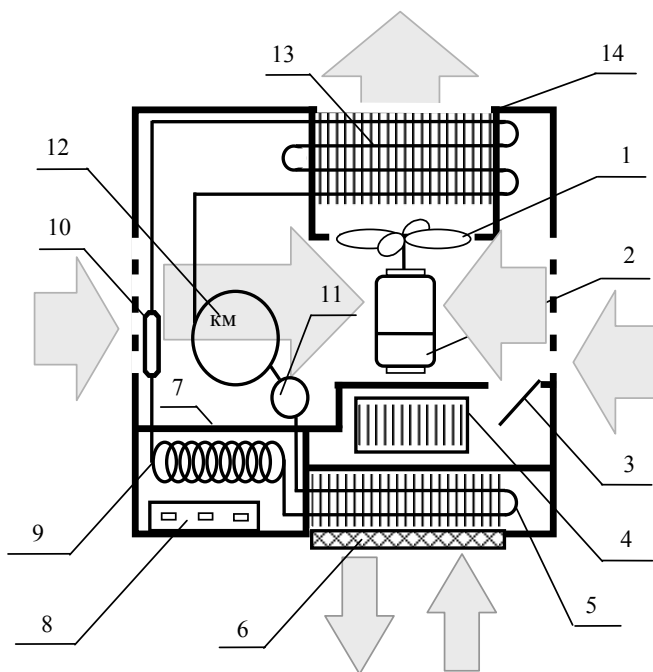


Рис. 1.30. Принципиальная схема кондиционера марки БК-1500:
 1 – вентилятор осевой; 2 – электродвигатель вентилятора;
 3 – заслонка; 4 – вентилятор центробежный; 5 – испаритель;
 6 – фильтр воздушный; 7 – перегородка; 8 – пульт управления;
 9 – капиллярная трубка; 10 – фильтр-осушитель;
 11 – расширитель; 12 – компрессор ротационный;
 13 – конденсатор; 14 – кожух кондиционера

Кондиционер работает на смеси рециркуляционного и наружного воздуха. Необходимое соотношение между рециркуляционным и наружным воздухом устанавливается регулируемой заслонкой, с помощью которой можно изменять влажность воздуха в помещении.

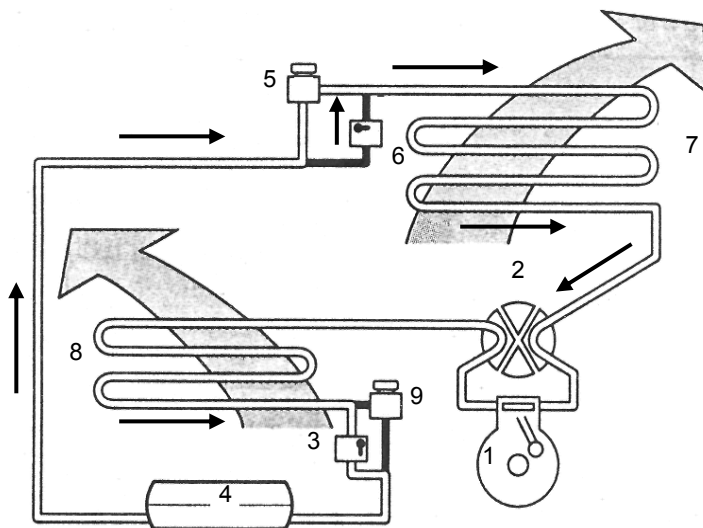
Кондиционер устанавливается в стене или окне помещения. Он может работать в двух заданных режимах, т. е. в режиме вентиляции и охлаждения (включены вентилятор и холодильный агрегат) либо только вентиляции (включен только вентилятор). В кондиционере предусмотрена очистка воздуха от пыли. Регулирование холодопроизводительности – двухступенчатое, методом пуска и остановки холодильной машины по сигналу датчика температуры воздуха в обслуживаемом помещении.

Внутренняя перегородка 7 делит кондиционер на два отсека. В наружном отсеке размещается герметичный компрессор 12, воздушный конденсатор 13, рабочее колесо осевого вентилятора 1.

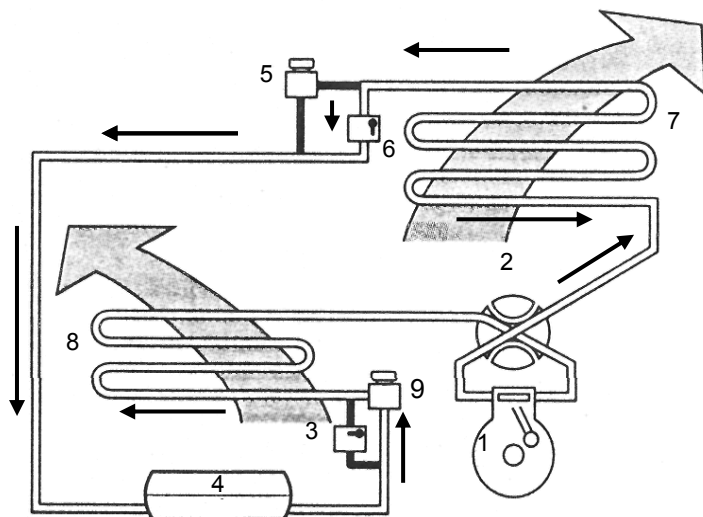
Автономные кондиционеры охлаждают воздух, для чего вентилятор продувает рециркуляционный воздух через поверхностные воздухоохладители, которыми являются испарители холодильных машин. В переходное и зимнее время они могут производить подогрев воздуха с помощью электрических подогревателей или путем реверсирования работы холодильной машины по циклу так называемого «теплового насоса» (рис. 1.31).

В режиме охлаждения (рис. 1.31, а) пары после компрессора 1 с помощью четырехходового клапана 2 направляются в конденсатор 8 наружного блока, где конденсируются.

Через обратный клапан 3 и ресивер 4 жидкий фреон с высоким давлением подается на терморегулирующий вентиль 5. Обратный клапан 6 и терморегулирующий вентиль 9 при этом закрыты. После терморегулирующего вентиля 5 хладагент поступает в испаритель-воздухоохладитель 7 внутреннего блока, где он испаряется и через четырехходовой клапан 2 поступает на всасывание в компрессор 1.



a



б

Рис. 1.31. Схема работы кондиционера в режиме теплового насоса: а – охлаждение; б – обогрев

В режиме обогрева (рис. 1.31, б) пары хладагента после компрессора 1 с помощью четырехходового клапана 2 направляются в испаритель 7 внутреннего блока, выполняющего роль конденсатора. При этом они конденсируются и отдают тепло в обогреваемое помещение. Через обратный клапан 6 и ресивер 4 жидкий фреон с высоким давлением попадает в терморегулирующий вентиль 9 и затем в конденсатор 8 наружного блока, выполняющий роль испарителя. В этом режиме открыт клапан 3, а терморегулирующий вентиль 5 закрыт. Использование теплового насоса чрезвычайно выгодно, так как количество тепла, поступающего в помещение, примерно в три раза больше затрачиваемой энергии.

Наиболее распространенным вариантом, представляющим автономные СКВ, можно считать применение кондиционеров сплит-систем.

Такой кондиционер состоит из двух блоков, состав которых представлен на рис. 1.32. В наружном блоке установлен компрессор 1, четырехходовой клапан 2, теплообменник-конденсатор 3 и капиллярная трубка. Компрессор закрыт звукоизоляцией 4. Обдув конденсатора производится вентилятором 5 через жалюзи кожуха 6 и выходную решетку 7. Соединение с трубками холодного контура осуществляется двухходовым клапаном 8 и трехходовым клапаном 9.

Отвод конденсирующейся влаги из внешнего блока при работе в режиме обогрева производится самотеком из поддона 10 через сливной патрубков 11.

Наружный блок устанавливается на улице на стене здания. Внутренний блок монтируется в помещении. Он состоит из теплообменника-испарителя 12, фильтра 15, вентилятора 13, электронной панели управления. Воздух из помещения поступает в блок через решетку 14 и фильтр 15.

Подача обработанного воздуха в помещение осуществляется через направляющие жалюзи 16 и створки 17. Внутренний и наружный блоки соединены между собой фреоновыми трубопроводами. Такие кондиционеры снабжаются пультом дистанционного управления.

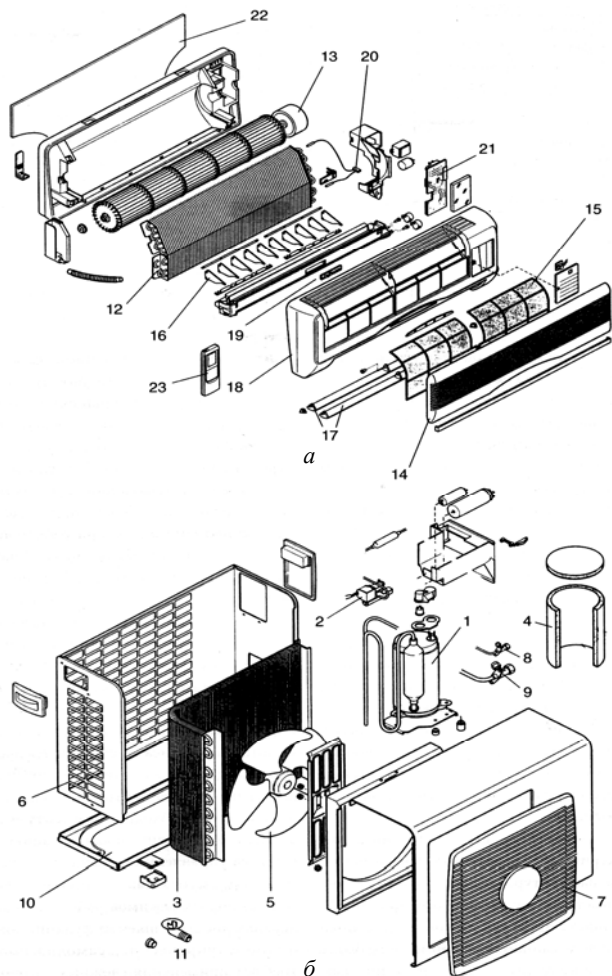
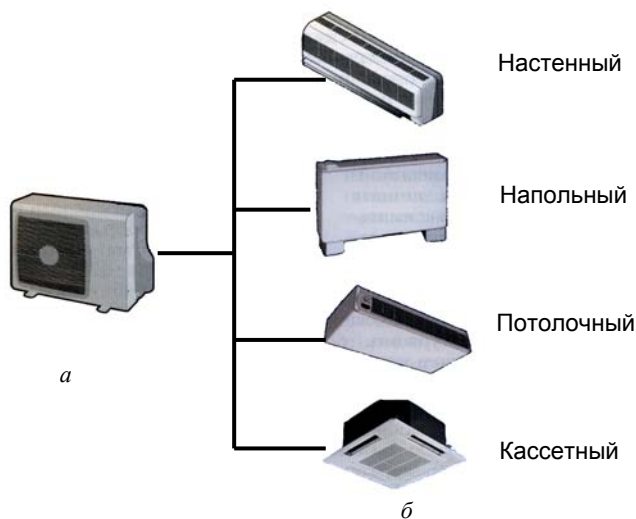


Рис. 1.32. Сплит-система: а – внутренний блок, б – наружный блок; 1 – компрессор; 2 – четырехходовой клапан; 3 – теплообменник-конденсатор; 4 – звукоизоляция; 5 – вентилятор; 6 – кожух; 7 – выходная решетка; 8 – двухходовой клапан; 9 – трехходовой клапан; 10 – поддон; 11 – сливной патрубок; 12 – теплообменник-испаритель; 13 – вентилятор тангенциального типа; 14 – решетка; 15 – входной фильтр; 16 – направляющие жалюзи; 17 – створки; 18 – лицевая панель; 19 – светодиоды; 20 – датчики температуры; 21 – плата управления; 22 – монтажная плата; 23 – пульт дистанционного управления

Конструктивное и дизайнерское использование внутренних блоков весьма разнообразно, что позволяет решать практически любые задачи по кондиционированию воздуха помещений площадью от 15 до 140 м². На рис. 1.33 представлен модельный ряд сплит-систем.



*Рис. 1.33. Модельный ряд сплит-систем:
а – наружный блок; б – внутренние блоки разных моделей*

В автономных кондиционерах шкафного типа иногда предусматривают водяное охлаждение конденсаторов. Они проще по конструкции и дешевле кондиционеров с воздушным охлаждением. Температура наружного воздуха не оказывает влияния на работу кондиционера, поскольку конденсатор находится внутри помещения. Кондиционеры такого типа получили распространение на судах. Для уменьшения шума панели шкафных автономных кондиционеров изолируют внутри шумопоглощающим материалом. На рис. 1.34 приведено устройство автономного кондиционера КТА1-2-04.

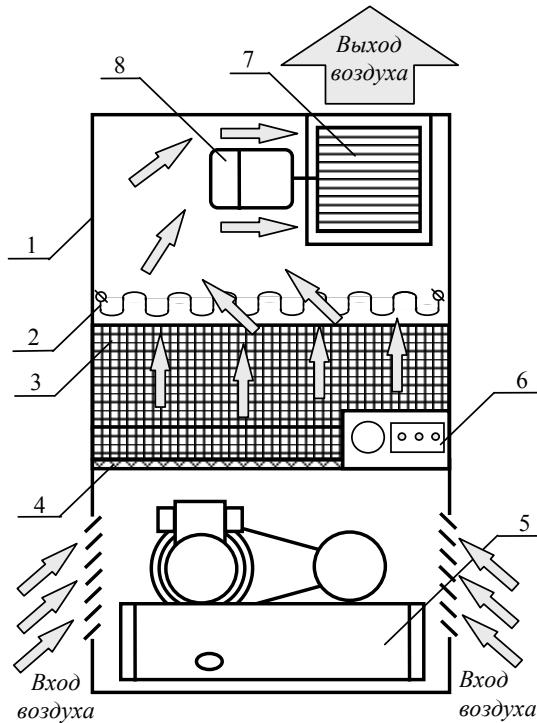


Рис. 1.34. Автономный кондиционер
марки КТА1-2-04:

- 1 – корпус; 2 – воздухонагреватель; 3 – воздухоохладитель;
4 – фильтр воздушный; 5 – холодильная машина; 6 – пульт управления;
7 – вентилятор центробежный; 8 – электродвигатель

Если автономный кондиционер обрабатывает только воздух помещения, то необходима работа общеобменной вентиляции для поддержания газового состава воздуха в помещении. Для обработки кондиционером наружного воздуха необходимо установить воздуховод для забора наружного воздуха.

2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа № 1 *ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА*

Цель работы

Изучить различные способы определения параметров влажного воздуха.

Задача работы

1. Изучить устройство и принцип действия приборов для измерения относительной влажности воздуха.
2. Провести замеры параметров влажного воздуха с помощью различных приборов.
3. Провести сравнение замеренных параметров воздуха с полученными графическим и аналитическим путем.

Инструменты и оборудование

Электрокалорифер, психрометры, гигрометры, барометр.

Порядок проведения работы

1. За 15–20 минут до проведения опыта включить электрокалорифер.
2. Изучить устройство приборов для измерения относительной влажности воздуха.
3. Произвести замеры параметров воздуха на входе и выходе из калорифера не менее трех раз с интервалом 15 минут.
4. Усреднить результаты опыта и полученные величины занести в табл. 2.1.

Обработка результатов измерений

1. На i, d -диаграмму влажного воздуха по известным параметрам t и ϕ нанести точки, характеризующие состояние воздуха перед и за калорифером и графически определить остальные параметры воздуха (p_n , p_n'' , d , i , t_p) (рис. 1.2).

2. Используя результаты измерений, психрометрическую таблицу влажного воздуха (прил. 5) и уравнения связи между термодинамическими параметрами влажного воздуха (см. разд. 1.2), *аналитически* определить p_n , d , i по следующим формулам:

$$p_n = \varphi p_n'' , \quad (2.1)$$

$$d = 0,622 \frac{\varphi p_n''}{p_6 - \varphi p_n''} , \quad (2.2)$$

$$i = t_c + (1,89t_c + 2500)d . \quad (2.3)$$

3. Результаты вычислений занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты обработки опытных данных

№ опыта	Средние за режим значения параметров воздуха	Опытные данные			Искомые параметры						Способ определения
		t_c , °C	φ , %	P_{6a} , Па	p_n , Па	p_n'' , Па	t_p , °C	t_m , °C	d , г/кг	i , кДж/кг	
	На входе в калорифер										Графический
											Аналитический
	На выходе из калорифера										Графический
											Аналитический

4. После заполнения таблицы необходимо проанализировать полученные данные:

- оценить сходимость значений термодинамических параметров, найденных различным способом;

- по изменению температуры, влагосодержания и энтальпии воздуха сделать вывод о характере изменения состояния влажного воздуха в процессе нагрева его в калорифере;

– на основе сопоставления полученных расчетных и графических данных сделать вывод о качестве проделанной работы.

Контрольные вопросы

1. Какие величины относятся к параметрам влажного воздуха?
2. Что такое диаграмма влажного воздуха Л.К. Рамзина?
3. Как изображаются на i,d -диаграмме процессы изменения состояния влажного воздуха?
4. Какие существуют способы измерения относительной влажности воздуха?
5. Как с помощью i,d -диаграммы определить параметры влажного воздуха?

Лабораторная работа № 2
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО ВЕНТИЛЯТОРА

Цель работы

Изучение устройства вентиляторов и снятие характеристик вентилятора и сети воздуховодов.

Задача работы

Экспериментальное определение характеристик центробежного вентилятора: производительности L ($\text{м}^3/\text{ч}$), напора H (Па), потребляемой мощности на валу электродвигателя N (кВт), характеристики сети $H_c = f(L)$, а также параметров рабочей точки.

Описание экспериментальной установки

Установка, изображенная на рис. 2.1, состоит из центробежного вентилятора 1, смонтированного на одном валу с электродвигателем постоянного тока 2. Двигатель постоянного тока дает возможность легко изменять число оборотов вентилятора.

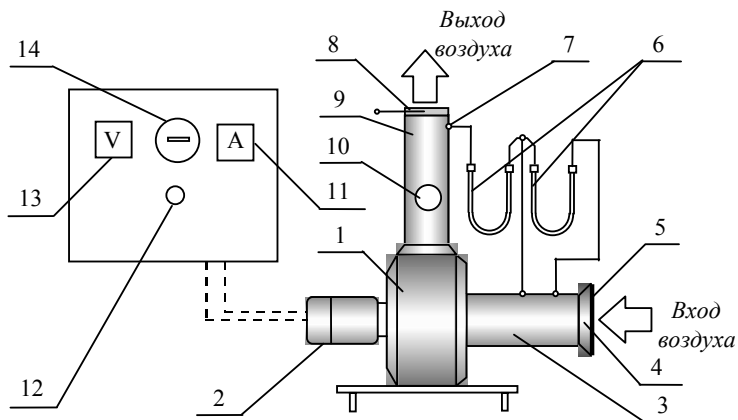


Рис. 2.1. Схема экспериментальной установки: 1 – вентилятор; 2 – электродвигатель; 3 – всасывающая труба; 4 – раструб; 5 – сетка; 6 – дифференциальные манометры; 7 – трубка Пито-Прандтля; 8 – диафрагма; 9 – нагнетательная труба; 10 – анемометр; 11 – амперметр; 12 – ручка тахометра; 13 – вольтметр; 14 – счетчик электроэнергии

К вентилятору присоединены всасывающий воздуховод 3 и нагнетательный воздуховод 9. На входе всасывающего воздуховода имеется плавный конфузор 4, за которым установлена сетка 5 для предохранения от засасывания в воздуховод посторонних предметов. На стороне нагнетания воздуха установлены направляющие для сменных диафрагм 8, позволяющих изменять площадь выходного отверстия и, следовательно, сопротивление нагнетательного воздуховода.

На измерительном щите и воздуховодах установлены следующие контрольно-измерительные приборы:

- вольтметр 13 и амперметр 11 для определения напряжения и силы тока;
- трубки Пито-Прандтля 7, соединенные с дифференциальными манометрами 6. Разность уровней воды в коленах дифманометра, выраженная в мм, соответствует перепаду давлений в мм вод. ст. (1 мм вод. ст. = 9,81 Па).

Порядок проведения работы

1. Включить вентиляторную установку.
2. Для получения характеристик вентилятора, т. е.

$$H = f(L), \quad N = f(L), \quad \eta = f(L), \quad (2.4)$$

провести серию наблюдений при постоянном числе оборотов, но при разных сопротивлениях воздухопроводов, т. е. при разных диафрагмах 8. Скорость воздуха измеряется чашечным анемометром. Давление H замеряют дифференциальным манометром 6.

3. Для получения характеристики сети $H_c = f(L)$ наблюдение проводят при установке какой-либо одной диафрагмы, т. е. при постоянной геометрической характеристике сети и переменном расходе воздуха. Расход воздуха регулируется изменением числа оборотов электродвигателя.

4. Необходимые для построения характеристик значения H, L, N, H_c определяют во время испытаний путем снятия показаний контрольно-измерительных приборов и последующей соответствующей обработки результатов измерений. Все измерения вносят в табл. 2.2.

Технические характеристики вентиляторов приводятся для стандартных условий чистого воздуха при барометрическом давлении.

Производительность L (м³/ч) определяется объемом газа, подаваемым вентилятором в единицу времени.

Напор H (Па) характеризует развиваемое вентилятором полное давление.

Полезная мощность N_n (кВт), передаваемая газу, определяется как

$$N_n = \frac{LH}{3600 \cdot 1000}. \quad (2.5)$$

Потребная мощность на валу электродвигателя N (кВт) рассчитывается по формуле

$$N = \frac{LH}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta}, \quad (2.6)$$

где η – КПД вентилятора.

Таблица 2.2

Опытные значения величин по испытанию центробежного вентилятора

№ опыта	Число оборотов n	Положение диафрагмы	Показания приборов				Расчетные величины				
			H		ω	I	U	L	N	N_p	η
	об/мин		мм рт. ст.	Па	м/с	А	В	м ³ /ч	кВт	кВт	
Характеристика вентилятора											
Характеристика сети											

При испытании вентиляторов обычно определяют производительность L , напор H и вычисляют КПД вентилятора. Получаемые при постоянном числе оборотов колеса вентилятора зависимости

$$H = f(L), \quad N = f(L), \quad \eta = f(L) \quad (2.7)$$

изображают в виде графиков, которые называются характеристиками вентилятора.

Характеристики вентиляторов, построенные для различных чисел оборотов, используются при исследовании работы вентиляторов и при проектировании систем воздухораспределения в помещениях с различными типами СКВ.

При подборе вентилятора для какой-либо сети воздуховодов необходимо построить характеристику этой сети, т. е. иметь зависимость сети $H_c = f(L)$.

Все результаты измерений необходимо занести в таблицу опытных величин (табл. 2.2). Для дальнейшего использования экспериментальных данных определяют средние значения замеренных величин (они также заносятся в табл. 2.2) и строят

на миллиметровке следующие зависимости: $H = f(L)$,
 $N = f(L)$, $H_c = f(L)$, $\eta = f(L)$.

Это позволит графически определить рабочую точку при совместной работе вентилятора и системы воздухопроводов.

Положение рабочей точки позволяет оценить эффективность использования вентилятора в данных условиях и получить действительные значения расходов воздуха, напора, развиваемого вентилятором, а также его мощности.

Обработка результатов измерений

1. Вычисляется мощность, потребляемая вентилятором:

$$N = 10^{-3} UI, \quad (2.8)$$

где U – напряжение, В;

I – сила тока, А.

2. Вычисляется мощность на валу вентилятора:

$$N_n = N\eta, \quad (2.9)$$

где η – КПД электродвигателя (задается преподавателем).

3. Определяется производительность вентилятора L ($\text{м}^3/\text{ч}$) из уравнения расхода для всасывающего воздуховода:

$$L = 3600\omega F, \quad (2.10)$$

где ω – скорость воздуха во всасывающем трубопроводе, м/с;

F – площадь поперечного сечения всасывающего воздуховода, м^2 .

4. Определяется полезная мощность вентилятора, передаваемая воздуху:

$$N_n = \frac{LH}{60 \cdot 1000}, \quad (2.11)$$

где H – напор, характеризующий развиваемое вентилятором полное давление, Па (замеряется с помощью дифференциального манометра).

5. Определяется КПД вентилятора:

$$\eta = \frac{N_n}{N}. \quad (2.12)$$

6. Расчет значений заносят в табл. 2.2.

7. Используя данные таблицы 2.2, строят графические зависимости:

$$H = f(L), \quad N = f(L), \quad \eta = f(L), \quad H_c = f(L).$$

8. Определяют параметры рабочей точки путем пересечения графических зависимостей $H = f(L)$ и $H_c = f(L)$ (рис. 2.2).

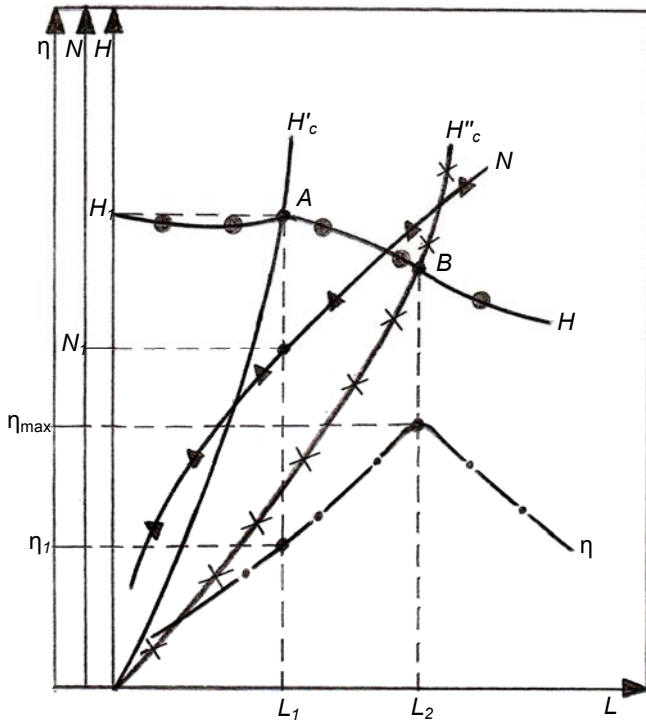


Рис. 2.2. Совместные характеристики вентилятора и сети

Если положение рабочей точки (рис. 2.2) соответствует точке A , то это говорит о том, что вентилятор работает с КПД, которое значительно меньше своего максимального значения η_{\max} , и система воздуховодов имеет большие сопротивления (H'_c). Если положение рабочей точки на рис. 2.2 соответствует

точке B , то такая сеть (H_c^n) позволяет обеспечить более эффективную работу вентилятора.

9. Делают выводы о правильности подбора вентилятора для различных характеристик сети.

Контрольные вопросы

1. Какие параметры характеризуют работу центробежного вентилятора?
2. От чего зависит полное сопротивление воздуховода при движении в нем воздуха?
3. Как определяется производительность вентилятора?
4. Как находят среднюю скорость в воздуховоде?
5. Как определяется полезная мощность, необходимая для создания напора?
6. Что такое КПД вентилятора?

Лабораторная работа № 3
ИЗУЧЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ
АВТОНОМНОГО КОНДИЦИОНЕРА

Цель работы

Ознакомление с устройством автономных агрегатированных кондиционеров.

Задача работы

1. Изучить устройство автономного кондиционера БК-1500, определить его производительность по воздуху и холодопроизводительность.
2. Изучить устройство автономного кондиционера КТА1-2-04.

Описание экспериментальной установки

На рис. 1.29 (см. разд. 1.7) приведено устройство кондиционера БК-1500. Внутренняя перегородка 7 делит кондиционер на два отсека. В наружном отсеке размещается герметич-

ный компрессор 12, воздушный конденсатор 13, рабочее колесо осевого вентилятора 1. Во внутреннем отсеке размещается испаритель 5, рабочее колесо центробежного вентилятора 4, панель управления 8. Все конструктивные элементы кондиционера заключены в общем кожухе 14.

Кондиционер устанавливают в оконном проеме таким образом, что наружный отсек сообщается с атмосферным (наружным) воздухом, а внутренний отсек – с обслуживаемым помещением. Наружный воздух обдувает конденсатор 13, а воздух помещения охлаждается в испарителе-воздухоохладителе 5.

Необходимой принадлежностью данной лабораторной установки является психрометр.

На рис. 1.33 (см. разд. 1.7) приведено устройство автономного кондиционера КТА1-2-04. Он состоит из корпуса 1, в нижней части которого установлена холодильная машина 5. В средней части кондиционера размещены: фильтр воздушный 4, воздухоохладитель 3, воздухонагреватель 2, пульт управления 6. В верхней части кондиционера установлен центробежный вентилятор 7.

Порядок проведения лабораторной работы

1. Изучить правила техники безопасности.
2. С кондиционера БК-1500 снимают лицевую панель и верхнюю крышку корпуса.
3. Изучают устройство кондиционера и составляют его принципиальную схему.
4. По окончании изучения лицевую панель и верхнюю крышку кожуха монтируют на место.
5. Включается кондиционер и электрокалорифер, установленный за кондиционером.
6. Через 10 минут после включения измеряется температура воздуха по сухому и мокрому термометру на входе и выходе кондиционера.
7. Определяют с помощью анемометра скорость движения воздуха, выходящего из кондиционера. Результаты замеров заносят в табл. 2.3.

Результаты измерения опытных величин

№ п/п	Температура воздуха на входе в кондиционер		Температура воздуха на выходе из кондиционера		Скорость воздуха ω , м/с	Продолжительность опыта τ , с	Количество сконденсировавшейся влаги W , кг/кг
	t_{c_1} , °C	t_{c_2} , °C	t_{c_3} , °C	t_{c_4} , °C			

8. Определяют с помощью сборника массу выпавшего конденсата. Фиксируют продолжительность опыта.

9. С кондиционера КТА1-2-04 снимают лицевые панели и изучают его устройство.

10. Составляют схемы водяных и фреоновых трубопроводов кондиционера КТА1-2-04.

11. По окончании изучения кондиционера КТА1-2-04 панели монтируют на место.

12. Выписывают паспортные данные кондиционера.

Обработка результатов измерений

1. Составить принципиальную схему кондиционера БК-1500.

2. Определить производительность кондиционера по воздуху, кг/с:

$$G = \omega_{cp} ab \rho_v, \quad (2.13)$$

где ω_{cp} – скорость движения воздуха, выходящего из конденсатора, м/с;

a, b – размеры выходного патрубка кондиционера, м;

ρ_v – плотность воздуха, кг/м³.

3. По i, d -диаграмме определить энтальпию и влагосодержание воздуха до и после кондиционера и построить процесс обработки воздуха.

4. Вычислить холодопроизводительность кондиционера, Вт:

$$Q = G(i_1 - i_2), \quad (2.14)$$

где i_1, i_2 – энтальпии воздуха до и после кондиционера, кДж/кг.

5. Определить осушающую способность кондиционера:

$$W = G(d_1 - d_2)10^{-3}, \quad (2.15)$$

где d_1, d_2 – влагосодержание воздуха до и после кондиционера, г/кг.

6. Определить осушающую способность кондиционера по массе выпавшего конденсата:

$$W' = \frac{G_k}{\tau}. \quad (2.16)$$

7. Сравнить значения W и W' и определить расхождение (в %).

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое автономный кондиционер?
2. В чем состоят преимущества и недостатки автономных кондиционеров?
3. Как осуществляется подача свежего воздуха в автономных кондиционерах?
4. Как осуществляется пуск и остановка кондиционера?
5. Как изменяется температура воздуха на выходе из кондиционера?
6. Как регулируется относительная влажность воздуха в автономных кондиционерах?
7. Как обеспечивается снижение шума в автономных кондиционерах?

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ОСУШИТЕЛЯ

Цель работы

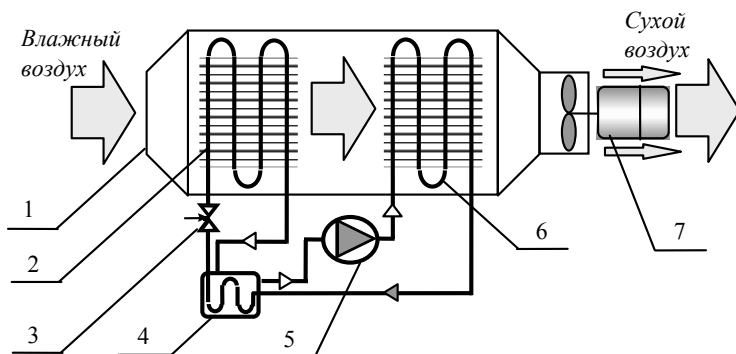
Ознакомление с процессами осушения воздуха в механическом осушителе.

Задача работы

Изучить устройство и принцип работы механического осушителя. Определить его осушающую способность.

Описание экспериментальной установки

Схема механического осушителя представлена на рис. 2.3. Установка состоит из холодильной машины, включающей в себя компрессор 5, испаритель 2, конденсатор 6, терморегулирующий вентиль 3, теплообменник 4, осевой вентилятор 7. Конденсатор 6 и испаритель 2 заключены в один кожух 1, образующий камеру осушения воздуха. Это обеспечивает прохождение воздуха, подвергающегося обработке, сначала через испаритель, где понижается его температура и влагосодержание, а затем через конденсатор. Воздух, проходя через конденсатор, воспринимает тепло при неизменном влагосодержании. При этом относительная влажность воздуха падает. Таким образом, на выходе из установки получается сухой подогретый воздух.



*Рис. 2.3. Принципиальная схема механического осушителя:
1 – кожух; 2 – испаритель; 3 – терморегулирующий вентиль;
4 – теплообменник; 5 – компрессор; 6 – конденсатор;
7 – вентилятор осевой*

Процесс осушения осуществляется следующим образом: при прохождении влажного воздуха через ребристый испаритель происходит его охлаждение с одновременным снижением

влажносодержания (осушения) воздуха. Если температура поверхности испарителя ниже точки росы, то в поддон выпадет влага.

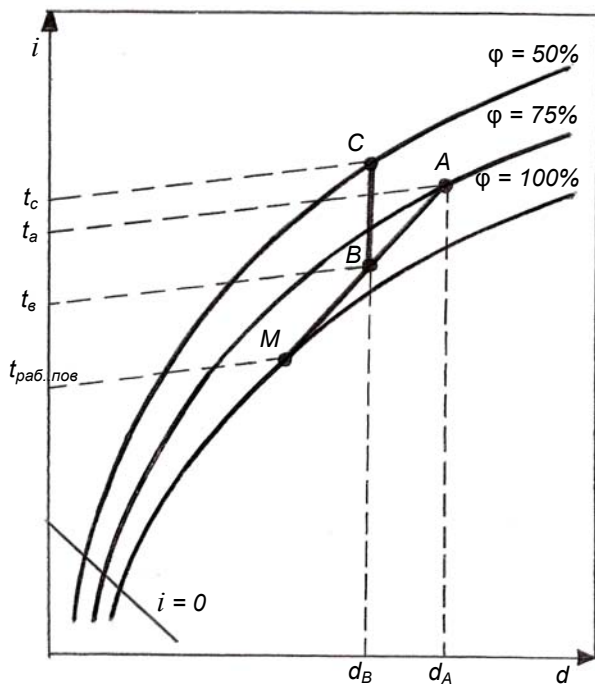


Рис. 2.4. Процессы осушения воздуха в i, d -диаграмме

Изменение параметров воздуха при прохождении его через механический осушитель можно представить в i, d -диаграмме (рис. 2.4), где:

- точка A соответствует параметрам воздуха на входе в механический осушитель;
- точка B соответствует параметрам воздуха на выходе из испарителя;
- точка C отвечает параметрам воздуха на выходе из механического осушителя;
- точка M отвечает состоянию воздуха у рабочей поверхности воздухоохладителя;
- AB процесс осушения и охлаждения воздуха при про-

хождении его через испаритель механического осушителя;

– *BC* – процесс нагрева воздуха при прохождении его через конденсатор механического осушителя.

Экспериментальная установка снабжена психрометром для измерения параметров воздуха по ходу его движения через механический осушитель, а также анемометром для измерения скорости воздуха на входе и выходе из механического осушителя.

Порядок проведения работы

1. Изучить устройство механического осушителя.
2. Перед проведением работы необходимо убедиться в герметичности системы.
3. За 15–20 мин до проведения измерений включить установку.
4. Замерить скорость воздуха на входе в испаритель и температуру по «сухому» и «мокрому» термометру по ходу движения воздуха в механическом осушителе.
5. Определить температуру в камере по «сухому» и «мокрому» термометру.
6. Зафиксировать время проведения опыта.
7. По завершении опыта взвесить влагу, сконденсировавшуюся в поддоне в процессе опыта.
8. Результаты замеров занести в табл. 2.4.
9. Замеры в опыте произвести 3–4 раза.

Таблица 2.4

Результаты измерения опытных величин

№ опыта	Температура на входе в испаритель		Температура в камере		Температура на выходе из конденсатора		Скорость воздуха ω , м/с	Время τ , с	Количество сконденсированной влаги W , кг/кг
	t_c , °C	t_m , °C	t_c , °C	t_m , °C	t_c , °C	t_m , °C			

Обработка опытных данных

1. Усреднить результаты опыта.
2. На i, d -диаграмме построить процессы происходящие в механическом осушителе, и определить параметры точек *A, B, C, И*.

3. Вычислить расход воздуха (кг/с):

$$G = \omega F \rho, \quad (2.17)$$

где ω – скорость воздуха на входе в испаритель, м/с;

F – площадь поперечного сечения воздуховода на входе в испаритель, м². Определяется путем замера сторон прямоугольного поперечного сечения воздуховода перед испарителем с последующим вычислением F ;

ρ – плотность воздуха, кг/м³.

4. Определить количество влаги, выпавшее в процессе осушения:

$$W = G(d_A - d_B)\tau \cdot 10^{-3}, \quad (2.18)$$

где d_A, d_B – влагосодержание воздуха на входе и на выходе в механический осушитель, г/кг;

τ – продолжительность процесса осушения, с.

5. Полученный результат сравнить с количеством влаги, которое сконденсировалось в поддон в течение времени проведения опыта.

6. Сравнить значения W и W^1 и определить расхождение.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается принцип работы механического осушителя?
2. Какие процессы происходят в механическом осушителе?
3. Какие вы знаете способы осушения воздуха?
4. Как оценить эффективность работы механического осушителя?
5. Каковы преимущества и недостатки существующих способов осушения воздуха?

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ АДИАБАТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА ВОДОЙ В КАМЕРЕ ОРОШЕНИЯ

Цель работы

Изучение физических принципов обработки воздуха в контактном аппарате (оросительной камере), а также процесса

адиабатического охлаждения и увлажнения воздуха в установленном режиме его работы.

Задача работы

Исследовать процесс адиабатического охлаждения и увлажнения воздуха в камере орошения.

Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд представляет собой модель горизонтальной двухрядной форсуночной камеры орошения, которая позволяет осуществить политропические и адиабатные процессы обработки воздуха водой.

Схема экспериментального стенда представлена на рис. 2.5.

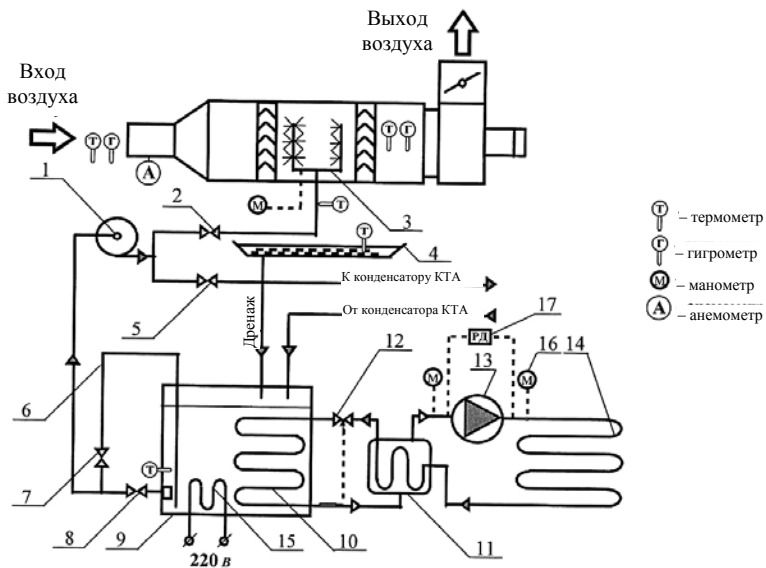


Рис. 2.5. Схема разводки водяных и фреоновых трубопроводов:
 1 – насос центробежный; 2, 5 – вентиль запорно-регулирующий;
 3 – стояк форсуночный; 4 – поддон; 6 – линия дренажная водяная;
 7, 8 – вентиль запорный; 9 – бак водяной; 10 – испаритель;
 11 – теплообменник; 12 – вентиль терморегулирующий; 13 – компрессор;
 14 – конденсатор; 15 – электроводонагреватель;
 16 – манометр фреоновый; 17 – реле давления

Стенд состоит из горизонтальной двухрядной камеры орошения. Верхняя часть камеры покрыта стеклом, что позволяет осуществлять визуальные наблюдения за процессами, происходящими в ней.

На стойках 6 (рис. 2.7) смонтированы тангенциальные широкофакельные форсунки, устройство которых представлено на рис. 2.6.

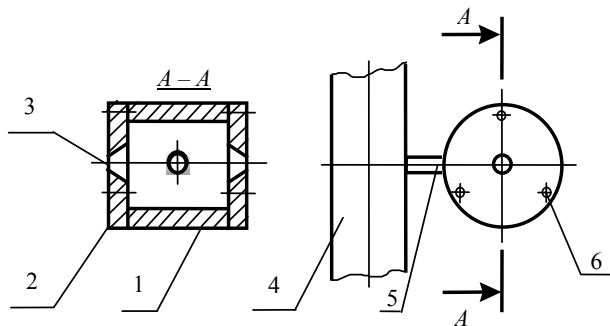


Рис. 2.6. Форсунка тангенциальная широкофакельная односторонняя:
1 – корпус; 2 – крышка торцевая; 3 – отверстие тангенциальное;
4 – стойка форсуночный; 5 – трубка соединительная; 6 – болт стяжной

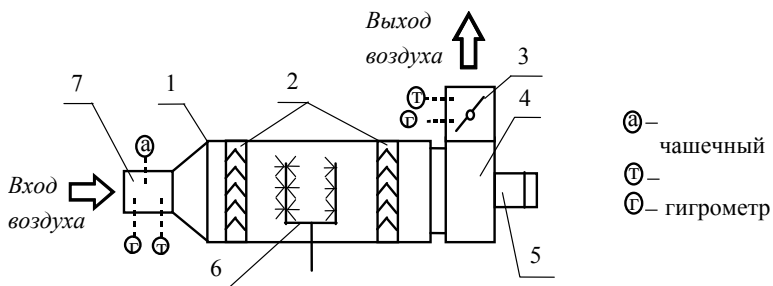


Рис. 2.7. Камера орошения:
1 – корпус; 2 – каплеуловитель; 3 – заслонка воздушная;
4 – вентилятор; 5 – электродвигатель; 6 – стойка форсуночный;
7 – всасывающий воздуховод

Диаметр выходного отверстия форсунок составляет 1 мм. Количество форсунок в ряду – 6 штук.

Первый ряд форсунок распыляет воду по ходу движения воздуха и против него, второй ряд – против движения воздуха. Подача воды к форсункам осуществляется с помощью центробежного насоса 1 (рис. 2.5). Для сбора воды предусмотрен поддон 4, сообщающийся с емкостью, выполненной в виде бака для воды 9. Для заправки и опорожнения водяного бака предусмотрена дренажная линия 6. Для изменения температуры воды, подаваемой к форсункам, в водяном баке установлен водонагреватель 15, представляющий собой электрический спиралевидный нагревательный элемент мощностью 3,1 кВт, способный нагревать воду до заданных параметров. Охлаждение воды обеспечивает холодильная машина, состоящая из компрессора 13, испарителя 10, воздушного конденсатора 14, регенеративного теплообменника 11 и терморегулирующего вентиля 12. Кроме этого холодильная машина оснащена контрольно-измерительными приборами, манометрами 16 и приборами защиты 17 (реле низкого и высокого давлений).

Вынужденное движение воздуха через камеру орошения обеспечивается центробежным вентилятором 4 (рис. 2.7). Для изменения расхода воздуха через оросительную камеру предусмотрена воздушная заслонка 3, позволяющая менять сечение нагнетательного воздуховода в пределах от 0 до 100%. Для предотвращения уноса воды, разбрызгиваемой в камере орошения, предусмотрены каплеуловители 2, состоящие из ряда Г-образных пластин, скрепленных между собой и обеспечивающих частичное выравнивание воздушного потока.

Стенд оснащен контрольно-измерительными приборами, обеспечивающими проведение необходимых замеров. На рис. 2.8 представлена схема расположения медь-константановых термопар, предназначенных для измерения следующих параметров сред:

– термопара № 1, 3 – температура воздуха по «сухому» термометру t_c на входе и выходе камеры соответственно, °С;

- термопара № 2, 4 – температура воздуха по «мокрому» термометру t_m на входе и выходе камеры соответственно, °С;
- термопара № 5 – температура воды t_w , поступающей в камеру орошения, °С;
- термопара № 6 – температура воды t_w , выходящей из камеры, °С;
- термопара № 0 – температура воды t_w , находящейся в водяном баке, °С.

Термопары работают в комплекте с УКТ-38.

Для удобства обслуживания лабораторного стенда предусмотрена панель управления. На ней располагаются выключатели насоса и водонагревателя, сигнальные лампы и многозонный измеритель-регулятор температур УКТ-38.

Скорость воздуха, проходящего через оросительную камеру, определяют с помощью чашечного анемометра, расположенного во всасывающем воздуховоде 7 (рис. 2.7), пользуясь прил. 7. Массовый расход воды определяют весовым методом путем заполнения емкости (ведро, банка) за определенный отрезок времени.

Работа камеры орошения в режиме адиабатического охлаждения и увлажнения воздуха. В этом режиме холодильная установка не работает. Водяной бак 9 (рис. 2.5) заполнен водой частично (30–40 л). Из бака вода по всасывающему трубопроводу, минуя приемную сетку и всасывающий запорный вентиль 8, через нагнетательный трубопровод и запорно-регулирующий вентиль 2 подается центробежным насосом 1 к форсункам, при этом запорные вентили 5 (линии обратного водоснабжения автономного кондиционера КТА1-2-04) и 7 (линии опорожнения бака) перекрыты. После контакта с воздухом вода стекает в поддон 4. Для изменения количества распыляемой форсунками воды (изменения коэффициента орошения) в адиабатическом режиме служит запорно-регулирующий вентиль 2 (запорный вентиль 8 при этом полностью открыт).

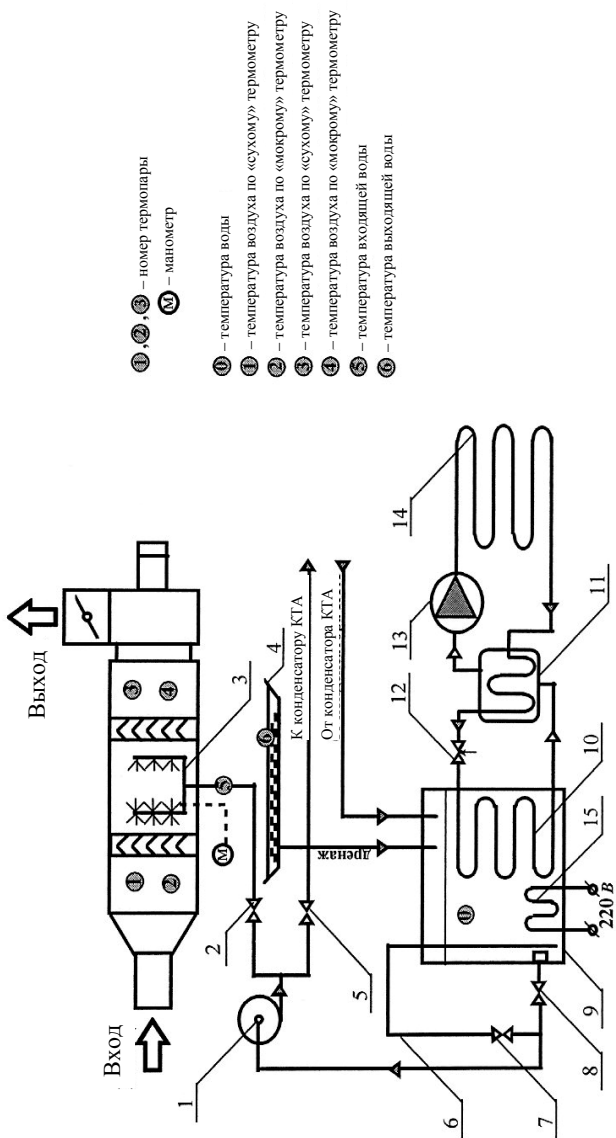


Рис. 2.8. Расположение термомпар:

1 – насос центробежный; 2, 5 – вентиль запорно-регулирующий; 3 – стояк форсунный; 4 – поддон;
 6 – линия дренажная водяная; 7, 8 – вентиль запорный; 9 – бак водяной; 10 – испаритель; 11 – теплообменник;
 12 – вентиль терморегулирующий; 13 – компрессор; 14 – конденсатор; 15 – электроводонагреватель

Таким образом, в результате длительного контакта воды, циркулирующей по замкнутому контуру, с воздухом постоянных начальных параметров вода приобретает температуру, близкую к температуре «мокрого» термометра обрабатываемого воздуха. Отсюда можно сделать вывод, что процесс обработки воздуха в таком режиме работы оросительной камеры идет по линии $i = \text{const}$.

Порядок проведения лабораторной работы

Подготовка стенда к испытанию в режиме адиабатного увлажнения воздуха происходит в следующем порядке:

1. Подать питание на лабораторный стенд.
2. Залить бак обратного водоснабжения 9 (рис. 2.5) водой на 1/4 объема (30–40 литров);
3. Полностью открыть запорно-регулирующий вентиль 2 и запорный вентиль 8 (убедиться в том, что запорные вентили 5 и 7 полностью закрыты);
4. Подать питание на электронасос 1.
5. Подать питание на центробежный вентилятор.
6. Дать установке время войти в стационарный режим (15–20 минут);
7. Включить УКТ-38.
8. Снять показания контрольно-измерительных приборов (рис. 2.8), значения занести в табл. 2.5.

Перед непосредственным выполнением лабораторной работы преподаватель проводит расстановку курсантов по местам замеров параметров и назначает старшего.

По команде старшего одновременно производятся измерения параметров воздуха (температуры воздуха по «сухому» и «мокрому» термометрам, скорость воздуха, температуры воды на входе и выходе из камеры, давление воды).

При смене режимов работы оросительной камеры (изменение расходов сред) особое внимание следует обращать на то, чтобы замеры производились в установившемся режиме. В силу того что адиабатический процесс обладает значительной инерционностью, нежелательным является изменение начальных параметров воздуха.

Таблица 2.5

Результаты измерения опытных величин

№ п/п	Число делений анемометра в секунду	w , м/с	L_B , м ³ /с	G_{B_2} , кг/с	G_{W_2} , кг/с	p_{W_2} , Па	Параметры воздуха					
							на входе в камеру			на выходе из камеры		
Время		$t_c^{в.н}$, °С	$t_M^{в.н}$, °С	$\Phi_{в.н}$, %	$t_c^{в.к}$, °С	$t_M^{в.к}$, °С	$\Phi_{в.к}$, %	$t_{ин}$, °С	$t_{вк}$, °С			
1												
2												
1												
2												

В ходе выполнения лабораторной работы первоначально устанавливают максимально возможный расход воздуха через орошаемую камеру заслонкой 3 (рис. 2.7) и максимально возможный расход воды запорно-регулирующим вентилем 2 (рис. 2.5).

Для получения иного режима последовательно изменяют расход воды и воздуха, влияя, таким образом, на коэффициент орошения.

Такие измерения производятся последовательно с интервалом в 5 минут. По значениям измеряемых величин судят о стационарности режима обработки воздуха.

Для дальнейшей обработки определяют средние значения замеренных величин, которые заносят в табл. 2.6.

Результаты обработки опытных данных

Средние за режим значения параметров воздуха	Опытные данные		Искомые параметры						Способ определения
	t_c , °С	ϕ , %	$p_{п}''$, Па	$p_{п}$, Па	t_{p2} , °С	t_{m2} , °С	$d_{п}$, г/кг	i , кДж/кг	
На входе в камеру									Графически
									Аналитически
На выходе из камеры									Графически
									Аналитически

При исследовании процессов обработки воздуха в камере орошения определяют следующие величины:

- 1) объемный расход воды, проходящей через аппарат;
- 2) температуру воздуха $t_{в.к}$, поступающего в аппарат, и выходящего из него, по «сухому» и «мокрому» термометру, °С;
- 3) скорость воздуха с помощью анемометра;
- 4) температуру воды $t_{вн}$, поступающей в аппарат, и температуру воды $t_{вк}$, выходящей из него, °С;
- 5) давление воды p_w перед форсунками, Па.

Обработка результатов измерений

1. Определить объемный расход воздуха L_v (в м³/с):

$$L_v = w_v F_k, \quad (2.19)$$

где w_v – линейная скорость воздуха на измеряемом участке, м/с (в прил. 7 приводится график зависимости числа делений анемометра в секунду n от скорости направленного воздушного потока w , м/с);

F – площадь для прохода воздуха измерительного участка лабораторного стенда, на котором установлен чашечный анемометр, м² ($F_k = 0,0196$ м²).

2. Определить массовый расход воздуха G_B (в кг/с):

$$G_B = L_B \rho_B, \quad (2.20)$$

где ρ_B – плотность воздуха, кг/м³.

3. Определить массовую скорость $w_B \rho_B$ прохода воздуха через оросительную камеру (в кг/(м² · с)), пользуясь формулой

$$(w_B \rho_B) = G_B / F. \quad (2.21)$$

Массовый расход воздуха относится к поперечному сечению оросительной камеры ($F = 0,116$ м²).

4. Определить расход воды G_w (в кг/с) через оросительную камеру:

$$G_w = \frac{V \rho}{\tau}, \quad (2.22)$$

где V – объем воды в емкости, м³;

ρ – плотность воды, кг/м³;

τ – время заполнения емкости, с.

5. Определить удельный расход воды через форсунку по формуле

$$g_\phi = G_B / n, \quad (2.23)$$

где n – число форсунок.

6. Определить эффективность изоэнтальпийного процесса, которая зависит от скорости обрабатываемого воздуха, плотности воздуха, коэффициента орошения, количества форсунок в камере орошения, диаметра выходного отверстия форсунки, направления потока обрабатываемого воздуха и оценивается коэффициентом эффективности E_a :

$$E_a = \frac{t_{B.H} - t_{B.K}}{t_{B.H} - t_{B.M}}, \quad (2.24)$$

где $t_{B.H}$, $t_{B.K}$ – соответственно температуры воздуха по «сухому» термометру начального и конечного состояний, °С;

$t_{B.M}$ – температура воздуха по «мокрому» термометру, °С.

В лабораторной работе для установившегося адиабатического режима работы оросительной камеры определяются

значения фактического коэффициента эффективности процесса E_a^Φ , а также значения массовой скорости прохода воздуха $w_B p_B$ (в $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) и коэффициента орошения μ ($\text{кг}/\text{кг}$).

Значение фактического коэффициента эффективности процесса E_a^Φ сравнивают со значением E_a^3 , полученным по эмпирической зависимости

$$E_a^3 = 0,423(w_B p_B)^{0,427} \mu^{0,68}, \quad (2.25)$$

$$E_a = \frac{E_a^\Phi - E_a^3}{E_a^\Phi} 100\%. \quad (2.26)$$

7. Определить значение коэффициента орошения μ ($\text{кг}/\text{кг}$) по эмпирической формуле

$$\mu = 2,89yx(w_B p_B)^{-0,565} \left(\lg \frac{1}{1 - E_a} \right)^{1,13}, \quad (2.27)$$

где x, y – поправочные коэффициенты (для нашего случая $x = 0,28, y = 0,61$).

E_a – коэффициент эффективности камеры орошения, определяемый по формуле (2.24).

8. По полученным для отдельных режимов значениям коэффициента орошения μ и фактического коэффициента эффективности строят зависимость $E_a^\Phi = f(\mu)$ и определяют количество испарившейся в воздух влаги g_w (в $\text{кг}/\text{с}$):

$$g_w = G_w(d_k - d_n), \quad (2.28)$$

где d_n, d_k – влагосодержание воздуха соответственно в начале и конце процесса его обработки, $\text{г}/\text{кг}$.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое адиабатический процесс обработки воздуха водой?
2. Что такое коэффициент эффективности камеры орошения?
3. От чего зависит коэффициент эффективности камеры орошения?
4. Как рассчитывают тепло- и влагообмен между воздухом и водой?
5. Как изображается в i, d -диаграмме адиабатический процесс?
6. Как определяют расход воды и воздуха?
7. Как определяют давление воды перед форсунками?

Лабораторная работа № 6
ИЗУЧЕНИЕ ПОЛИТРОПИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА ВОДОЙ В КАМЕРЕ ОРОШЕНИЯ

Цель работы

Изучение физических принципов обработки воздуха в контактном аппарате (оросительной камере), а также политропических процессов обработки воздуха водой в установившемся режиме его работы.

Задача работы

Исследовать следующие политропические процессы обработки воздуха водой (рис. 1.18):

- 1) охлаждением и осушением (процесс $A-1$);
- 2) сухим охлаждением (процесс $A-2$);
- 3) охлаждением и увлажнением при $t_p < t_w < t_m$ (процесс $A-3$);
- 4) охлаждением и увлажнением при $t_m < t_w < t_b$ (процесс $A-5$);
- 5) увлажнением без изменения температуры (процесс $A-6$);
- 6) нагреванием и увлажнением (процесс $A-7$).

Исследуемый политропический процесс задается преподавателем.

Важно, чтобы любой процесс носил стационарный характер. Стационарным будет считаться тот процесс, при котором параметры сред остаются неизменными в течение 10–15 минут.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка описана в *лабораторной работе № 5*.

В политропических режимах работы камеры орошения включается холодильная установка или электроводонагреватель в зависимости от вида политропического процесса обработки воздуха (заданные значения температур воды должны лежать в диапазоне от +5 до +30°C).

Водяной бак 9 (рис. 2.8, *лабораторная работа № 5*) заполнен водой полностью (8–10 ведер). Из бака вода по всасывающему трубопроводу, минуя приемную сетку и всасывающий запорный вентиль 8, через нагнетательный трубопровод

и запорно-регулирующий вентиль 2 подается центробежным насосом 1 к форсункам, при этом запорные вентили 5 (линии обратного водоснабжения автономного кондиционера КТА1-2-04) и 7 (линии опорожнения бака) перекрыты. После контакта с воздухом вода стекает в поддон 4. Для изменения количества распыляемой форсунками воды (изменения коэффициента орошения) в политропическом режиме служит запорно-регулирующий вентиль 2 (запорный вентиль 8 при этом полностью открыт).

Таким образом, подавая в камеру орошения воду с определенной температурой, можно осуществлять все известные политропические процессы обработки воздуха водой.

Порядок подготовки лабораторной установки стенда к работе

Порядок подготовки стенда к работе при изучении политропических процессов обработки воздуха, связанных с охлаждением воды, следующий:

1. Подать питание на лабораторный стенд.
2. Залить бак обратного водоснабжения 9 водой (рис. 2.8) на 3/4 объема (80–10 л).
3. Подать питание на холодильную машину и пустить ее в работу.
4. Дать установке время войти в стационарный режим:
 - в режиме охлаждения и увлажнения воздуха – охладить воду до температуры ниже температуры воздуха по «мокрому» термометру в помещении, но выше температуры точки росы (на рис. 1.18 процесс А–3);
 - в режиме охлаждения воздуха без конденсации влаги (сухое охлаждение) – охладить воду до температуры воздуха в помещении, соответствующей точке росы;
 - в режиме охлаждения и осушения воздуха – охладить воду до температуры ниже температуры воздуха в помещении, соответствующей точке росы.
5. Полностью открыть запорно-регулирующий вентиль 2 и запорный вентиль 8 (убедиться в том, что запорные вентили 5 и 7 полностью закрыты).

6. Подать питание на электронасос *I* (на панели управления выключатель насоса в положении «ВКЛ»).
7. Подать питание на центробежный вентилятор.
8. Включить прибор УКТ-38, расположенный на панели управления.
9. Снять показания контрольно-измерительных приборов, значения занести в табл. 2.7 данной лабораторной работы.

Пуск холодильной машины

Перед пуском путем внешнего осмотра установите исправность машины, отсутствие подтеков масла, натяжение натяжного ремня, надежность заземления.

Нагнетательный и всасывающий двухходовые вентили установить в рабочее положение (вращать шпиндель против часовой стрелки до упора, затем на пол-оборота – по часовой).

Включить машину и постепенно открывать жидкостный вентиль. Необходимо следить за показаниями всасывающего и нагнетательного манометров, не допускать возможной работы компрессора влажным ходом.

Во избежание подсоса воздуха системой следует не допускать понижения давления на стороне всасывания ниже атмосферного.

В случае аварийного режима работы машины (повышение давления нагнетания, понижение давления всасывания) приборы защиты – реле давления всасывания (РДВ) и нагнетания (РДН) – отключают машину при давлении конденсации выше $12 \cdot 10^5$ Па и при давлении всасывания ниже атмосферного.

Следует учесть, что первые циклы работы машины не соответствуют установившемуся режиму.

Остановка холодильной машины

После проведения лабораторной работы необходимо выключить холодильную машину. Для этого закройте торцевым ключом жидкостный вентиль на линейном ресивере – машина несколько минут будет работать, а затем выключится. В случае отказа РДВ следует выключить машину при достижении стороной всасывания давления, соответствующего атмосферному давлению. Не следует оставлять систему под вакуумом

во избежание попадания в нее воздуха. После этого закройте торцевым ключом всасывающий вентиль и обесточьте установку. Закройте нагнетательный вентиль.

Порядок подготовки стенда к работе при изучении политропических процессов обработки воздуха, связанных с подогревом воды

Подготовка стенда к испытанию в режиме политропического увлажнения воздуха происходит в следующем порядке:

1. Подать питание на лабораторный стенд.
2. Залить бак оборотного водоснабжения 9 водой (рис. 2.8) на 3/4 объема (80–10 л).
3. Включить электроводонагреватель 15 (переключатель водонагревателя установить в положение «ВКЛ» на панели управления).
4. Дать установке время войти в стационарный режим:
 - в режиме охлаждения и увлажнения воздуха – нагреть воду до температуры выше температуры воздуха по «мокрому» термометру в помещении, но ниже температуры воздуха в помещении по «сухому» термометру;
 - в режиме увлажнения воздуха (изотермический процесс А–6) – нагреть воду до температуры воздуха в помещении по «сухому» термометру;
 - в режиме нагрева и увлажнения воздуха (процесс А–7) – нагреть воду до температуры выше температуры воздуха в помещении по «сухому» термометру.
5. Полностью открыть запорно-регулирующий вентиль 2 и запорный вентиль 8 (убедиться в том, что запорные вентили 5 и 7 полностью закрыты).
6. Подать питание на электронасос 1 (на панели управления установить выключатель насоса в положение «ВКЛ»).
7. Подать питание на центробежный вентилятор.
8. Включить УКТ-38, расположенный на панели управления.
9. Снять показания контрольно-измерительных приборов, значения занести в табл. 2.7.

Порядок проведения лабораторной работы

Перед непосредственным выполнением лабораторной работы преподаватель производит расстановку курсантов по местам замеров параметров и назначает старшего.

По команде старшего одновременно производятся измерения параметров воздуха и воды и их расходы. Результаты замеров по каждому режиму сводятся в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Результаты измерения опытных величин

№ п/п	Число делений анемометра в секунду	w , м/с	L_B , м ³ /с	G_B , кг/с	G_W , кг/с	p_w , Па						
	Время	Параметры воздуха					Параметры воды					
		на входе в камеру			на выходе из камеры		на входе в камеру	на выходе из камеры				
		$t_c^{в.н}$, °С	$t_m^{в.н}$, °С	$\Phi_{в.н}$, %	$t_c^{в.к}$, °С	$t_m^{в.к}$, °С	$\Phi_{в.к}$, %	t_{wh} , °С	t_{wk} , °С			
1												
2												
3												
1	Вид исследуемого политропического процесса											
2	Вид исследуемого политропического процесса											
3	Вид исследуемого политропического процесса											

При смене режимов работы оросительной камеры особое внимание следует обращать на то, чтобы замеры производи-

лись в установившемся режиме. Смена режимов осуществляется за счет изменения параметров и расходов сред. Политропические процессы характеризуются относительно малой инерционностью, поэтому за время лабораторной работы можно исследовать несколько стационарных режимов работы оросительной камеры.

В ходе выполнения лабораторной работы первоначально устанавливают максимально возможный расход воздуха через камеру орошения заслонкой 3 (рис. 2.7) и максимально возможный расход воды запорно-регулирующим вентилем 2 (рис. 2.5).

Измерение значений параметров производится соответствующими приборами, установленными на стенде.

Все результаты измерений сводятся в таблицу результатов измерений опытных величин (табл. 2.7). Для дальнейшей обработки определяют средние значения замеренных величин (они заносятся в табл. 2.8 данной лабораторной работы).

Таблица 2.8

Результаты обработки опытных данных

Средние за режим значения параметров воздуха	Опытные данные		Искомые параметры						Способ определения
	t_c , °C	Φ , %	p_n'' , Па	p_n , Па	t_p , °C	t_m , °C	$d_n = d$, г/кг	i , кДж/кг	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вид исследуемого политропического процесса									
На входе в камеру									Графически
									Аналитически
На выходе из камеры									Графически
									Аналитически
Вид исследуемого политропического процесса									
На входе в камеру									Графически
									Аналитически

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
На выходе из камеры									Графически
									Аналитически
Вид исследуемого политропического процесса									
На входе в камеру									Графически
									Аналитически
На выходе из камеры									Графически
									Аналитически

При исследовании процессов обработки воздуха в камере орошения определяют следующие величины:

- 1) объемный расход воды, проходящей через аппарат;
- 2) температуру воздуха $t_{в.н.}$, поступающего в аппарат, и температуру воздуха $t_{в.к.}$, выходящего из него, по «сухому» и «мокрому» термометру, °С;
- 3) скорость воздуха с помощью анемометра;
- 4) температуру воды $t_{в.н.}$, поступающей в аппарат, и температуру воды $t_{в.к.}$, выходящей из него, °С;
- 5) давление воды p_w перед форсунками, Па.

Обработка результатов измерений

1. Определяют объемный расход воздуха L_v (в м³/с):

$$L_v = w_v F, \quad (2.29)$$

где w_v – скорость воздуха на измеряемом участке, м/с;

F – площадь для прохода воздуха измерительного участка лабораторного стенда, на котором установлен чашечный анемометр, м² ($F = 0,0196$ м²).

2. Определяют массовый расход воздуха G_v (в кг/с):

$$G_v = L_v \rho_v, \quad (2.30)$$

где ρ_v – плотность воздуха, кг/м³.

3. Определяют массовую скорость $w_{в.р.в}$ прохода воздуха через оросительную камеру (в $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) по формуле

$$(w_{в.р.в}) = G_{в} / F_{к} . \quad (2.31)$$

Массовый расход воздуха относится к поперечному сечению камеры орошения ($F_{к} = 0,116 \text{ м}^2$).

4. Определяют расход воды G_w (в $\text{кг}/\text{с}$) через оросительную камеру:

$$G_w = \frac{V\rho_{в}}{\tau} , \quad (2.32)$$

где V – объем воды в емкости, м^3 ;

ρ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$;

τ – время заполнения емкости, с.

5. Определяют удельный расход воды через форсунку по следующей формуле:

$$g_{ф} = G_{в} / n , \quad (2.33)$$

где n – число форсунок.

6. Определяют коэффициент эффективности камеры орошения E по формуле (2.24).

Эффективность политропических процессов зависит от скорости обрабатываемого воздуха, плотности воздуха, коэффициента орошения, количества форсунок в камере орошения, диаметра выходного отверстия форсунки, направления потока обрабатываемого воздуха и оценивается коэффициентами эффективности E_a , определяемыми по формулам 2.34, 2.35:

$$E_a = 1 - \frac{t_{м.к} - t_{в.к}}{t_{м.н} - t_{в.н}} , \quad (2.34)$$

$$E_a = 1 - \frac{t_{в.к} - t_{м.к}}{t_{в.н} - t_{м.н}} , \quad (2.35)$$

где $t_{в.н}$, $t_{в.к}$ – соответственно температуры воды, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{м.н}$, $t_{м.к}$ – температура воздуха по «сухому» термометру соответственно начального и конечного состояний, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{м.н}$, $t_{м.к}$ – температура воздуха по «мокрому» термометру соответственно начального и конечного состояний, °С.

В расчетах процессов, протекающих с изменением энтальпии воздуха, дополнительно используют уравнение теплового баланса между воздухом и водой

$$G_B (i_{в.н} - i_{в.к}) = 4,187 G_w (t_{w.к} - t_{w.н}) \quad (2.36)$$

или

$$\Delta i_B = 4,187 \mu \Delta t_w, \quad (2.37)$$

где $\mu = G_w / G_B$ – коэффициент орошения, кг/кг.

7. Значение коэффициента орошения μ (в кг/кг) находим по эмпирической формуле

$$\mu = 2,89 y x (w_B p_B)^{-0,565} \left(\lg \frac{1}{1-E} \right)^{1,13}, \quad (2.38)$$

где x – поправочный коэффициент:

$x = 1$ – для процесса $A-1$ (рис. 1.18);

$x = 0,35$ – для процесса $A-2$, $A-3$ (рис. 1.18);

$x = 0,95$ – для процесса $A-5$, $A-6$, $A-7$ (рис. 1.18);

$y = 0,61$ – коэффициент, зависящий от диаметра выходного отверстия форсунки.

8. Определяют количество тепла (в Вт), отданного воздухом в процессе охлаждения, по формуле

$$Q_B = G_B (i_B - i_{в.к}), \quad (2.39)$$

где i_B , $i_{в.к}$ – энтальпия воздуха в начале и конце процесса обработки его водой, кДж/кг.

9. Определяют количество тепла, подведенного к воде в процессе ее нагревания электроводонагревателем, Вт:

$$Q_w = c_w G_w (t_{w.к} - t_{w.н}), \quad (2.40)$$

где c_w – теплоемкость воды, кДж/(кг °С);

$t_{w.к}$, $t_{w.н}$ – температура воды на выходе и на входе в камеру орошения, °С.

После заполненной табл. 2.7 анализируют полученные результаты, а именно:

- оценивают сходимость значений термодинамических параметров, найденных различным образом;
- по изменению температуры, влагосодержания, энтальпии и температуры мокрого термометра воздуха делают вывод о характере изменения состояния влажного воздуха в процессах обработки его в контактном аппарате;
- строят процессы обработки воздуха на i, d -диаграмме;
- по изменению параметров обрабатываемого воздуха и воды делают вывод о направленности процесса в соответствующую точку на диаграмме, условно характеризующую состояние проходящей через аппарат воды;
- делают вывод о качестве проведенной работы на основе использования уравнений теплового баланса, определяя для этого количество теплоты, отданной воздухом в процессе охлаждения Q_v и подведенной к воде в процессе ее нагревания Q_w (п. 5);
- оценивают выполнение равенства

$$Q_v = Q_w; \quad (2.41)$$

- определяют количество испарившейся в воздух влаги g_w , кг/с:

$$g_w = G_b (d_k - d_n), \quad (2.42)$$

где d_n , d_k – соответственно влагосодержание воздуха в начале и конце процесса его обработки, г/кг;

- определяют относительное количество испарившейся влаги Δw (в %) от общего количества, прошедшего через аппарат:

$$\Delta w = \frac{g_w}{G_w} 100\%. \quad (2.43)$$

Вопросы для самоконтроля

1. Каково устройство камеры орошения?
2. Как осуществляются пуск и остановка холодильной машины?
3. Что такое коэффициент орошения?
4. Что такое коэффициент эффективности камеры орошения?
5. Как обеспечить процессы охлаждения воздуха на экспериментальном стенде?
6. Как обеспечить процессы нагревания воздуха на экспериментальном стенде?

Лабораторная работа № 7
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА
ПУТЕМ АДСОРБЦИИ

Цель работы

Ознакомиться с процессами осушения воздуха при использовании адсорбентов.

Задача работы

Построить процессы осушения воздуха адсорбентом. Определить тепловлажностное отношение процесса осушения. Построить график зависимости $d = f(\tau)$. Определить количество влаги, отведенной от воздуха в процессе осушения.

Описание экспериментальной установки

Схема лабораторной установки представлена на рис. 2.9.

Лабораторный стенд состоит из камеры осушения 1, в которую помещаются кассеты с адсорбентом 2 для осушения воздуха. Движение воздуха через камеру осушения обеспечивается с помощью центробежного вентилятора 7, смонтированного на одном валу с электродвигателем 4, нагнетательного 9 и всасывающего 4 воздуховодов.

В камере осушения установлены «мокрый» 14 и «сухой» 15 термометры для измерения температур. На измерительном щите установлены вольтметр 8 и амперметр 11 для определения напряжения и силы тока. Предусматривается возможность установления нескольких кассет с адсорбентом в камере осушения.

Для регенерации адсорбента в камере осушения установлен электрокалорифер 17. Во время регенерации клапаны 3 должны быть закрыты.

В табл. 2.9 приведены физические характеристики сорбентов.

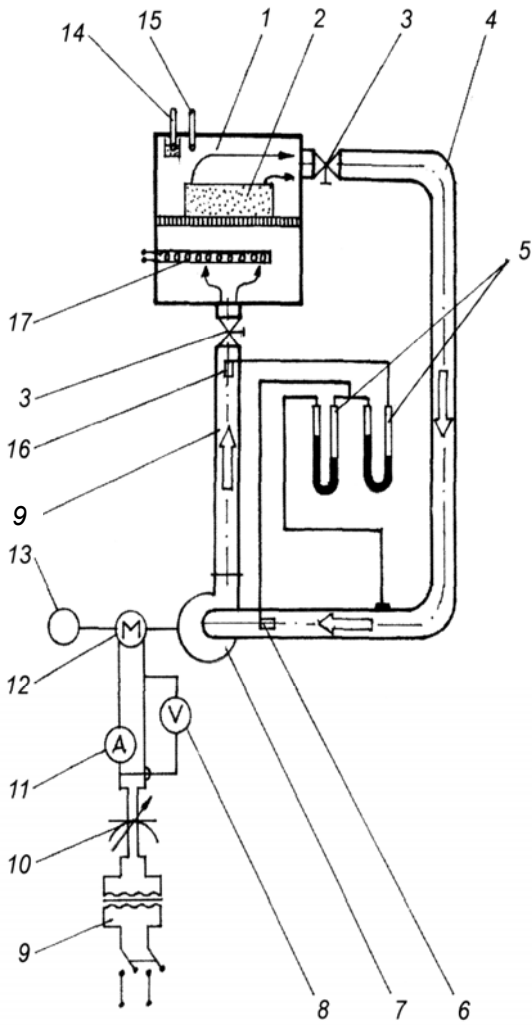


Рис. 2.9. Схема лабораторной установки:

- 1 – камера осушения; 2 – кассета с силикагелем; 3 – клапаны воздушные;
- 4 – воздуховод всасывающий; 5 – манометр дифференциальный;
- 6, 16 – трубка Пито-Прандтля; 7 – вентилятор; 8 – вольтметр;
- 9 – воздуховод нагнетательный; 10 – выпрямитель; 11 – амперметр;
- 12 – электродвигатель; 13 – тахометр; 14 – термометр «мокрый»;
- 15 – термометр сухой»; 17 – электрокалорифер

Физические характеристики сорбентов

Характеристика	Силикагель	Аллюмогель
Объем капилляров, % от объема самого вещества	40–50	30
Объемная масса, кг/м ³	600–700	830
Пористость, % объема	70	57
Поверхность капилляров, м ² на 1 кг вещества	$4 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^5$
Поглотительная способность, % к сухой массе сорбента	25–50	18–24
Рекомендуемая (предельная, наибольшая) температура осушаемого воздуха, °С	35	25
Температура регенерации, °С	140–150	200–300
Длительность регенерации, ч	4–6	5–8

Порядок проведения работы

1. Изучить устройство лабораторного стенда.
2. Измерить начальные значения температур воздуха по «сухому» и «мокрому» термометру.
3. Взвесить и установить заданную кассету с силикагелем в камеру осушения (предварительно определяется толщина адсорбирующего слоя).
4. Включить вентиляторную установку на период, необходимый для достижения установившихся значений параметров воздуха.
5. При помощи чашечного анемометра определить скорость воздуха.
6. Через каждые 10 мин в течение 1 ч 20 мин снимать показания по «сухому» и «мокрому» термометрам.
7. Результаты замеров занести в табл. 2.10.
8. Отключить вентиляторную установку.
9. Вынуть кассету с силикагелем из камеры осушения и взвесить.
10. Подготовить стенд к следующему опыту при другой толщине адсорбирующего слоя и выполнить пункты 2–9.

Таблица 2.10

Результаты измерений и обработки опытных величин

№ опы та	τ , с	$t_{\text{сух1}}$, °C	$t_{\text{м1}}$, °C	φ_1 , %	i_1 , кДж/ кг	d_1 , г/кг	i_2 , кДж/ кг	d_2 , г/кг	ε , кДж/ кг	φ_2 , %	W , кг/с	Δd , г/кг	Δi , кДж/ кг
При толщине $\delta_{\text{адс}} = \delta_1$													
1													
2													
3													
При толщине $\delta_{\text{адс}} = \delta_2$													
1													
2													
3													

Обработка опытных данных.

1. По измеренным значениям $t_{\text{сух}}$ и $t_{\text{м}}$ на входе и выходе из камеры осушения определяется относительная влажность воздуха на входе и выходе из камеры орошения – φ_1 , φ_2 .

2. По таблице сухого насыщенного воздуха по $t_{\text{сух}}$ находят парциальное давление насыщенного пара $p_{\text{н}}$.

3. Вычисляется влагосодержание d_1 , d_2 (в г/кг):

$$d_1 = 0,622 \frac{\varphi_1 p_{\text{н}}}{p_{\text{б}} - \varphi_1 p_{\text{н}}}, \quad d_2 = 0,622 \frac{\varphi_2 p_{\text{н}}}{p_{\text{б}} - \varphi_2 p_{\text{н}}}, \quad (2.44)$$

где $p_{\text{н}}$ – давление насыщенного воздуха, Па;

$p_{\text{б}}$ – барометрическое давление, Па;

φ_1 , φ_2 – относительная влажность воздуха.

4. Строятся на i, d -диаграмме процессы осушения воздуха адсорбентом при разной толщине адсорбирующего слоя.

5. Определяют энтальпии и влагосодержание до и после осушения воздуха.

6. Рассчитывают удельную осушающую способность Δd (в г/кг) адсорбента.

7. Определяют тепловлажностные коэффициенты ε_1 , ε_2 и сравнивают их значения:

$$\varepsilon_1 = \Delta i_1 / \Delta d_1, \varepsilon_2 = \Delta i_2 / \Delta d_2. \quad (2.45)$$

8. Вычисляется расход воздуха G (в кг/с):

$$G = wF\rho, \quad (2.46)$$

где w – скорость воздуха, м/с;

F – площадь поперечного сечения воздуховода на входе в камеру осушения, м²;

ρ – плотность воздуха, кг/м³.

9. Вычисляется количество влаги W , удаленной из воздуха в процессе осушения (в кг/с):

$$W = G(d_1 - d_2)\tau, \quad (2.47)$$

где d_1 – влагосодержание воздуха в начале процесса осушения, кг/кг;

d_2 – влагосодержание воздуха в конце процесса осушения, г/кг;

τ – продолжительность процесса осушения, с.

10. Полученные результаты занести в табл. 2.9.

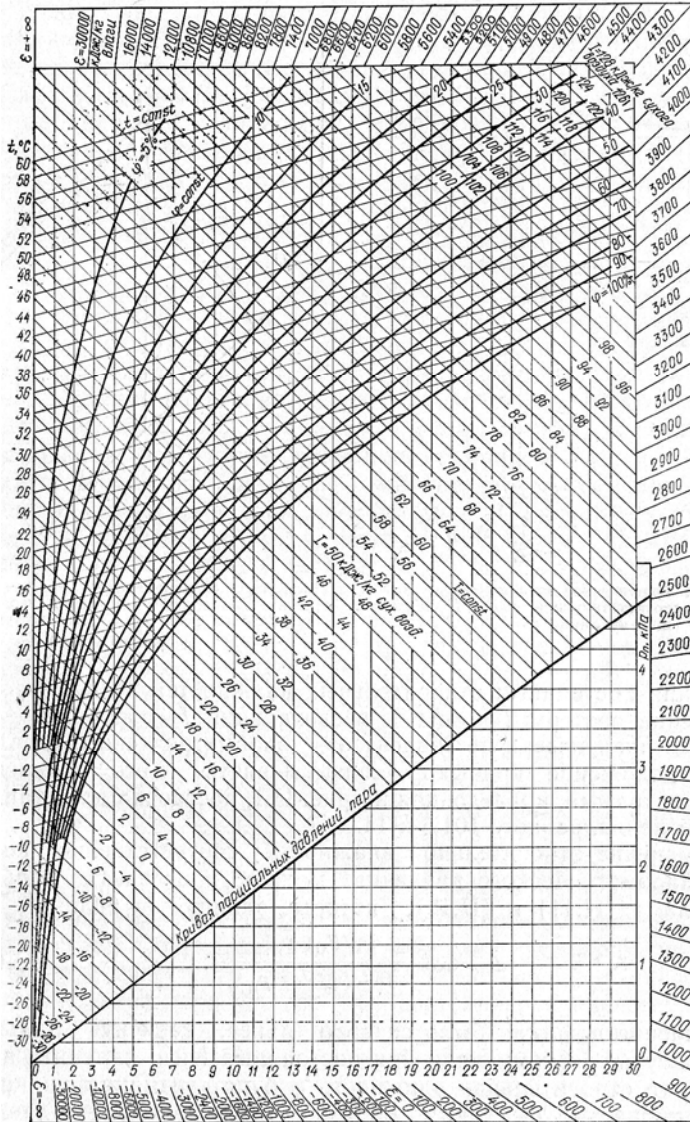
Контрольные вопросы

1. Какие вы знаете способы осушения?
2. Какие вещества называются адсорбентами?
3. Какие адсорбенты используются для осушения воздуха?
4. Как осуществляется регенерация адсорбентов ?
5. В чем заключается физическая сущность процессов осушения адсорбентами?
6. Как зависит осушающая способность силикагеля от температуры воздуха?
7. Как влияет толщина слоя адсорбента на процесс осушения воздуха?

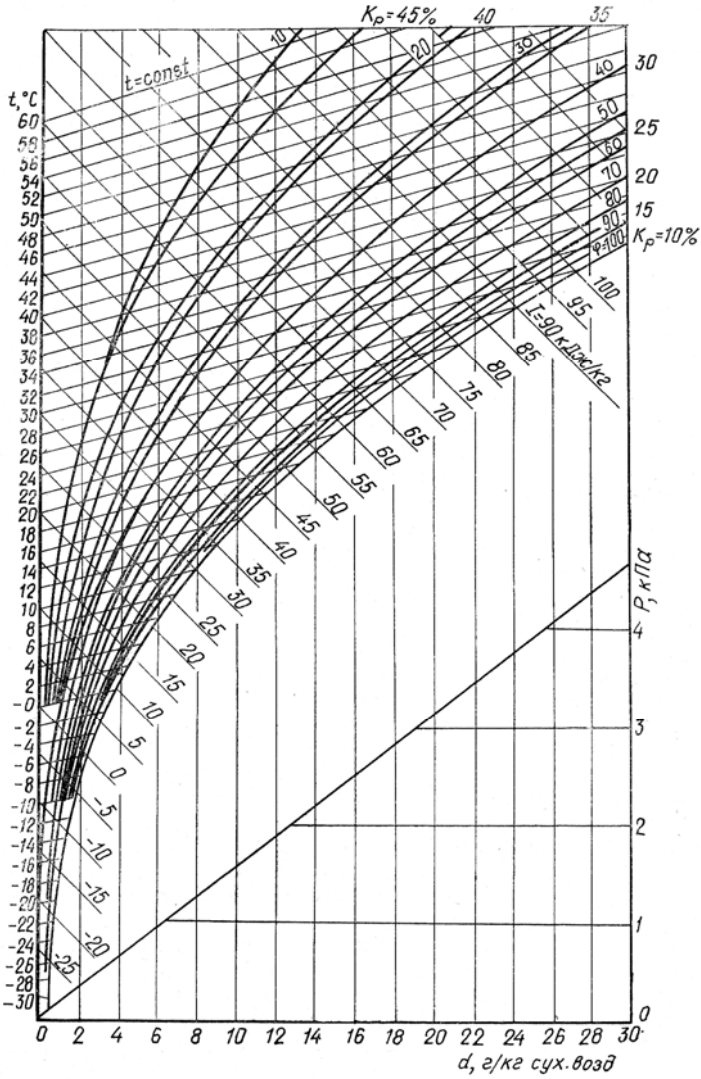
ЛИТЕРАТУРА

1. *Захаров Ю.В.* Судовые установки кондиционирования воздуха и холодильные машины. – Л.: Судостроение, 1979. – 585 с.
2. *Бражников А.М., Малова Н.Д.* Расчеты систем кондиционирования воздуха на предприятиях мясной и молочной промышленности. – М.: Агропромиздат, 1985. – 230 с.
3. *Зеликовский И.Г., Каплан Л.Г.* Малые холодильные машины и установки: Справочник. – М.: Агропромиздат, 1989. – 672 с.
4. *Меклер В.Я., Овчиников П.А., Агафонов Е.П.* Вентиляция и кондиционирование воздуха на машиностроительных заводах: Справочник. – М.: Машиностроение, 1980. – 336 с.
5. *Михайлов П.М., Левит Б.И.* Приборы для измерения температуры. – М.: Пищ. пром-сть, 1979. – 120 с.
6. *Пеклов А.А., Степанова Т.А.* Кондиционирование воздуха. – Киев: Выща шк., 1978. – 328 с.
7. *Пекер Я.Д., Меклер Е.Я.* Справочник по оборудованию для кондиционирования воздуха. – Киев: Будивельник, 1977. – 23 с.
8. *Богословский В.И., Кокорин О.Я., Петров Л.В.* Кондиционирование воздуха и холодоснабжение. – М.: Стройиздат, 1985. – 366 с.

i,d-диаграмма влажного воздуха



i, d-диаграмма равновесного состояния водяного пара над поверхностью раствора хлористого лития



Свойства влажного воздуха

$t, ^\circ\text{C}$	$p'', \text{Па}$	$d'', \text{г/кг}$	$c_{г}, \text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}$	$i_{г}, \text{кДж/кг}$	$i''_{п}, \text{кДж/кг}$	$\rho, \text{кг/м}^3$
0	610,8	3,823	1,006	0	9,561	1,276
1	656,6	4,111	1,006	1,01	10,289	1,272
2	705,4	4,419	1,006	2,01	11,068	1,267
3	757,5	4,748	1,006	3,02	11,901	1,262
4	812,9	5,098	1,006	4,02	12,788	1,258
5	871,8	5,470	1,006	5,03	13,732	1,253
6	934,6	5,868	1,006	6,04	14,742	1,249
7	1001,2	6,290	1,006	7,04	15,814	1,244
8	1072,1	6,741	1,006	8,05	16,960	1,240
9	1147,3	7,219	1,006	9,05	18,176	1,236
10	1227,1	7,727	1,006	10,06	19,470	1,231
11	1311,8	8,268	1,006	11,07	20,848	1,227
12	1401,5	8,841	1,006	12,07	22,310	1,223
13	1496,7	9,451	1,006	13,08	23,867	1,218
14	1597,4	10,097	1,006	14,08	25,517	1,214
15	1704,1	10,783	1,006	15,09	27,271	1,210
16	1817,0	11,511	1,006	16,10	29,133	1,206
17	1936,4	12,282	1,006	17,10	31,108	1,201
18	2062,6	13,100	1,006	18,11	33,204	1,197
19	2196,0	13,966	1,006	19,11	35,425	1,193
20	2336,8	14,883	1,006	20,12	37,779	1,189
21	2485,5	15,854	1,006	21,13	40,277	1,185
22	2642,4	16,882	1,0061	22,13	42,916	1,181
23	2807,9	17,970	1,0061	23,14	45,716	1,177
24	2982,4	19,121	1,0061	24,14	48,680	1,173
25	3166,3	20,338	1,0061	25,15	51,816	1,169
26	3360,0	21,626	1,0061	26,16	55,138	1,165
27	3563,9	22,987	1,0061	27,16	58,651	1,161
28	3778,5	24,425	1,0061	28,17	62,366	1,158
29	4004,3	25,946	1,0062	29,18	66,298	1,154
30	4241,7	27,552	1,0062	30,19	70,453	1,150

Теплофизические свойства воды на линии насыщения

$t, ^\circ\text{C}$	$p \cdot 10^{-5},$ Па	$\rho, \text{кг/м}^3$	$i_r,$ кДж/кг	$c_r,$ кДж/(кг · К)	$\lambda,$ Вт/(м · К)	$\nu \cdot 10^8,$ м ² /с	$\mu \cdot 10^6,$ Па · с
0	1,013	999,9	0	4,212	0,560	13,2	1788
20	1,013	999,7	42,04	4,191	0,580	13,8	1306
30	1,013	999,2	83,91	4,183	0,507	14,3	1004
40	1,013	995,7	125,7	4,174	0,612	14,7	801,5
50	1,013	992,2	167,5	4,174	0,627	15,1	653,3
60	1,013	998,1	209,3	4,174	0,640	15,5	549,4
70	1,013	983,1	251,1	4,179	0,650	15,8	469,9
80	1,013	977,8	293,0	4,187	0,662	16,1	406,1
90	1,013	971,8	335,0	4,195	0,669	16,3	355,1
100	1,013	965,3	337,0	4,208	0,676	16,5	314,9

Психрометрическая таблица для определения относительной влажности воздуха

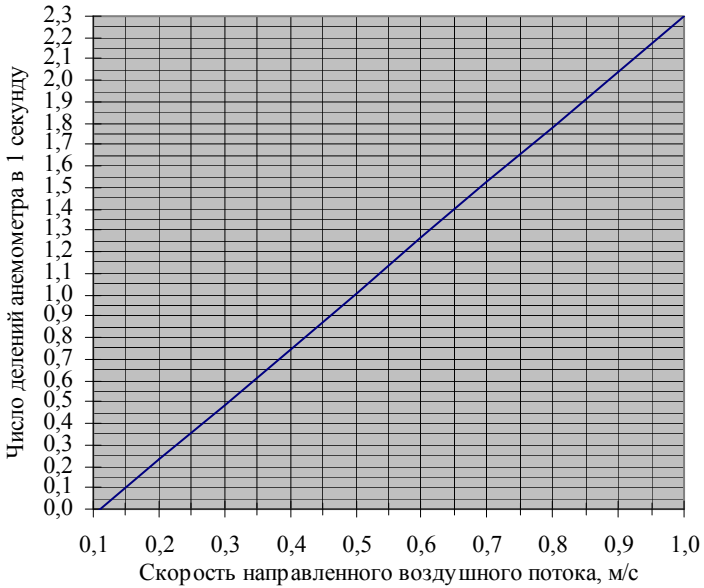
Температура по «сухому» термометру, °С	Разность показаний термометров, °С															
	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5						
	Относительная влажность, %															
5	91	83	75	66	58	50	42	34	26	19						
6	92	84	76	67	60	52	45	37	30	22	15					
7	92	84	77	69	62	54	48	40	33	26	19					
8	92	85	78	70	63	56	49	42	36	29	22	16				
9	93	86	79	71	65	58	51	45	38	32	25	19				
10	93	86	79	73	66	60	53	47	41	34	28	22	16			
11	93	87	80	74	67	61	55	49	43	37	31	26	20			
12	93	87	81	75	69	63	57	51	45	40	34	28	23	18		
13	94	88	82	76	70	64	58	53	47	42	36	31	26	20		
14	94	88	82	76	71	65	60	54	49	44	39	33	28	23	18	
15	94	88	83	77	72	66	61	56	51	46	41	36	31	26	21	18
16	94	89	83	78	73	68	63	57	52	48	43	38	33	29	24	20
17	95	89	84	79	74	69	64	59	54	49	45	40	35	31	27	22
18		90	84	79	74	70	65	60	55	51	47	42	37	33	29	24
19		90	85	80	75	70	66	61	57	52	48	44	39	35	31	27
20		90	85	81	76	71	67	63	58	54	50	45	41	37	33	29
21		90	85	81	77	72	68	64	59	55	51	47	43	39	35	31
22		91	85	82	77	73	69	64	61	56	52	48	44	41	37	33
23		91	86	82	78	74	70	65	62	58	54	50	46	42	39	35
24		91	87	83	78	74	70	66	62	59	55	51	48	44	40	37
25		91	87	83	79	75	71	67	63	60	56	52	49	45	42	38

**Давление насыщенного водяного пара
при температурах от -20 до 100°C**

$t, ^{\circ}\text{C}$	$p_{\text{н}}, \text{Па}$	$t, ^{\circ}\text{C}$	$p_{\text{н}}, \text{Па}$	$t, ^{\circ}\text{C}$	$p_{\text{н}}, \text{Па}$	$t, ^{\circ}\text{C}$	$p_{\text{н}}, \text{Па}$	$t, ^{\circ}\text{C}$	$p_{\text{н}}, \text{Па}$
-20	102,9	5	871,8	29	4004,3	53	14 289	77	41 869
-19	113,3	6	934,4	30	4241,6	54	14 996	78	43 629
-18	124,6	7	1001,0	31	4492,2	55	15 729	79	45 455
-17	136,9	8	1079,0	32	4753,5	56	16 502	80	47 334
-16	150,3	9	1147,7	33	5029,4	57	17 302	81	49 281
-15	165,0	10	1227,7	34	5318,6	58	18 142	82	51 307
-14	180,9	11	1311,6	35	5622,6	59	19 008	83	53 399
-13	198,0	12	1402,3	36	5939,8	60	19 915	84	55 559
-12	216,8	13	1496,9	37	6274,4	61	20 848	85	57 798
-11	237,3	14	1598,2	38	6578,3	62	21 834	86	60 104
-50	259,4	15	1704,9	39	6990,2	63	22 847	87	62 477
-9	283,3	16	1816,9	40	7374,1	64	23 900	88	64 930
-8	309,4	17	1936,8	41	7776,7	65	24 993	89	67 463
-7	337,5	18	2063,5	42	8197,7	65	26 140	90	70 089
-6	368,0	19	2196,8	43	8637,8	67	27 326	91	72 795
-5	400,9	20	2338,0	44	9099,0	68	28552	92	75 581
-4	436,7	21	2486,0	45	9581,6	69	29 819	93	78 432
-3	475,3	22	2643,3	46	10 084,0	70	31 152	94	81 432
-2	517,0	23	2808,6	47	10 610,7	71	32 511	95	84 499
-1	561,9	24	2983,2	48	11 158,5	72	33 933	96	87 658
0	610,4	25	3167,2	49	11 733,0	73	35 417	97	90 923
1	657,1	26	3360,5	50	12 331,0	74	36 950	98	94 283
2	705,1	27	3564,4	51	12 956,0	75	38 537	99	97 735
3	758,5	28	3779,0	52	13 609,0	76	40 175	100	101 308

**Зависимость числа делений шкалы анемометра
от скорости воздуха**

График зависимости числа делений шкалы анемометра
в 1 секунду от скорости направленного воздушного
потока, изменяемой в пределах 0,3–1,0 м/с



ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Теоретическая часть	3
1.1. Санитарно-гигиенические основы кондиционирования воздуха	3
1.2. Параметры атмосферного воздуха	6
1.3. Процессы обработки воздуха	16
1.4. Тепло- и влагообмен между воздухом и водой	32
1.5. Схема центральной системы кондиционирования воздуха	37
1.6. Устройства для обработки и распределения воздуха	43
1.7. Автономные кондиционеры	52
2. Лабораторный практикум	60
Лабораторная работа № 1 Изучение свойств влажного воздуха	60
Лабораторная работа № 2 Экспериментальное определение характеристик центробежного вентилятора	62
Лабораторная работа № 3 Изучение и испытание автономного кондиционера	68
Лабораторная работа № 4 Исследование работы механического осушителя	71
Лабораторная работа № 5 Изучение адиабатического процесса обработки воздуха водой в камере орошения	75
Лабораторная работа № 6 Изучение политропических процессов обработки воздуха водой в камере орошения	86
Лабораторная работа № 7 Изучение процессов осушения воздуха путем адсорбции	96
Литература	101

Приложения	102
1. <i>i,d</i> -диаграмма влажного воздуха	102
2. <i>i,d</i> -диаграмма равновесного состояния водяного пара над поверхностью раствора хлористого лития	103
3. Свойства влажного воздуха	104
4. Теплофизические свойства воды на линии насыщения	105
5. Психрометрическая таблица для определения относительной влажности воздуха	106
6. Давление насыщенного водяного пара при температурах от -20 до 100°C	107
7. Зависимость числа делений шкалы анемометра от скорости воздуха	108

Учебно-методическое пособие (практикум)

Балыкова Лидия Ивановна

ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

Редактор Г.Ф. Майорова
Технический редактор Е.Е. Бабух
Набор текста Л.И. Балыкова
Верстка, оригинал-макет Е.Е. Бабух

Подписано в печать 16.01.2008 г.
Формат 61*86/16. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman
Авт. л. 5,26. Уч.-изд. л. 5,43. Усл. печ. л. 7,03
Тираж 70 экз. Заказ № 7

Издательство
Камчатского государственного технического университета

Отпечатано полиграфическим участком издательства КамчатГТУ
683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35