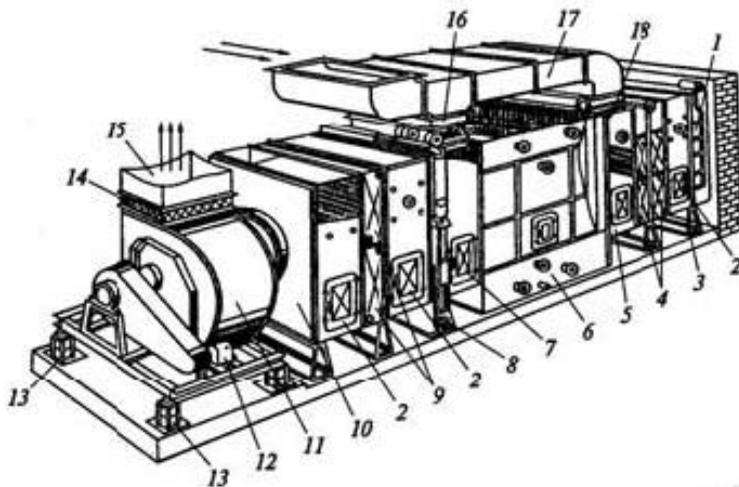


Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

ПОСТРОЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА В ЦЕНТРАЛЬНОМ КОНДИЦИОНЕРЕ НА *I-d*-ДИАГРАММЕ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Методические указания к самостоятельному
изучению дисциплины

Составитель В.С. Рекунов



Томск 2012

Построение процессов обработки воздуха в центральном кондиционере на *I-d*-диаграмме влажного воздуха: методические указания к самостоятельному изучению дисциплины / Сост. В.С. Рекунов. – Томск.: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2012. – 28 с.

Рецензент к.ф.-м.н. Е.М. Хромова
Редактор Е.Ю. Глотова

Методические указания к самостоятельному изучению дисциплины БЗ.В.9 «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» для студентов направления «Строительство» профиля подготовки «Теплогазоснабжение и вентиляция» всех форм обучения.

Могут быть использованы для практических работ и курсового проектирования.

Печатаются по решению методического семинара кафедры отопления и вентиляции, протокол № 7 от 15.03.2012 г.

Утверждены и введены в действие проректором по учебной работе В.В. Дзюбо

с 15.03.2012
до 15.03.2017

Оригинал-макет подготовлен автором.

Подписано в печать 13.06.12.
Формат 60×84. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.
Уч-изд. л. 2. Тираж 90 экз. Заказ №378.

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Общие сведения о воздухе	5
1.1 Основные свойства влажного воздуха.....	5
2. Описание <i>I-d</i>-диаграммы	8
3. Построении процессов обработки воздуха в СКВ на <i>I-d</i>-диаграмме	10
3.1. Процессы нагрева, охлаждения и смешения воздуха.....	10
3.2. Построение процессов обработки воздуха в СКВ при прямоточных схемах.....	12
3.2.1. Прямое изохлорное охлаждение воздуха...	12
3.3. Прямоточная схема СКВ для теплого периода года...	16
3.4. Прямоточная схема СКВ для холодного периода года	17
3.5. Построение процессов обработки воздуха в СКВ с первой рециркуляцией.....	19
3.5.1. Схема СКВ с первой рециркуляцией для теплого периода года.....	19
4. Контроль знаний по дисциплине «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение»	21
5. Контрольные вопросы	26
Список использованной и рекомендуемой литературы	28

ВВЕДЕНИЕ

I-d-диаграмма, другое название – *диаграмма состояний влажного воздуха*, используется при расчете параметров воздухообмена в помещении и позволяет быстро определить все параметры влажного воздуха по двум известным параметрам, избегая многочисленных вычислений. Учитывая, что влажный воздух является основным объектом вентиляционного процесса, в области вентиляции и систем кондиционирования воздуха (СКВ) приходится часто определять те или другие его параметры. Использование диаграммы позволяет избежать вычислений по формулам и наглядно отобразить вентиляционный процесс. Диаграмма была разработана русским ученым, профессором Л.К. Рамзиным в 1918 г. Аналогом *I-d*-диаграммы на западе является диаграмма Молье или психрометрическая диаграмма.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВОЗДУХЕ

1.1. Основные свойства влажного воздуха

Окружающий нас атмосферный воздух является смесью сухого воздуха с водяным паром. Эту смесь называют влажным воздухом.

Влажный воздух оценивают по следующим основным параметрам:

- температуре по сухому термометру t_c , °С;
- температуре по мокрому термометру t_m , °С;
- температуре точки росы t_p , °С;
- влагосодержанию d , г/кг;
- относительной влажности ϕ , %;
- абсолютной влажности e , кг/м³;
- удельной энтальпии I , кДж/кг;
- удельной теплоемкости c , кДж/(кг·К);
- парциальному давлению водяных паров P_n , Па;
- барометрическому давлению P_b , Па и др.

Ниже приведены краткие характеристики параметров влажного воздуха и расчетные уравнения.

Температура воздуха по сухому термометру t_c характеризует степень его нагрева.

Температурой воздуха по мокрому термометру t_m называется температура, до которой нужно охладить воздух, чтобы он стал насыщенным при сохранении начальной энтальпии воздуха.

Температура точки росы воздуха t_p – температура, до которой нужно охладить ненасыщенный воздух, чтобы он стал насыщенным при сохранении постоянного влагосодержания.

Влагосодержание воздуха d – это количество водяного пара в г (или кг), приходящееся на 1 кг сухой части влажного воздуха.

Относительная влажность воздуха ϕ характеризует степень насыщенности воздуха водяными парами. Это отношение

массы водяных паров, содержащихся в воздухе, к максимально возможной их массе в воздухе при тех же условиях, то есть температуре и давлении, и выраженное в процентах. Другая формулировка: относительная влажность воздуха – это отношение парциального давления водяных паров во влажном воздухе данного состояния к парциальному давлению насыщенного водяного пара при той же температуре, давлении и выраженное в процентах. Насыщенное состояние влажного воздуха – состояние, при котором воздух насыщен водяными парами до предела, для него $\phi = 100\%$.

Абсолютная влажность воздуха e — это количество водяных паров в г, содержащихся в 1 м^3 влажного воздуха. Численно абсолютная влажность воздуха равна плотности влажного воздуха.

Удельная энтальпия влажного воздуха – количество теплоты, необходимое для нагревания от 0°C до данной температуры такого количества влажного воздуха, сухая часть которого имеет массу 1 кг. Энтальпия влажного воздуха складывается из энтальпии сухой его части и энтальпии водяных паров.

Удельная теплоемкость влажного воздуха c – теплота, которую надо затратить на один килограмм влажного воздуха, чтобы повысить температуру его на один градус Кельвина.

Парциальное давление водяных паров $P_{\text{п}}$ – давление, под которым находятся водяные пары в влажном воздухе. Согласно закону Дальтона применительно к влажному воздуху: полное *барометрическое давление* равно сумме парциальных давлений водяного пара и сухого воздуха.

Основные расчетные формулы:

– барометрическое давление

$$P_{\text{б}} = P_{\text{с.в}} + P_{\text{п}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{с.в}}$ – парциальное давление сухого воздуха, кПа; $P_{\text{п}}$ – парциальное давление водяных паров, кПа.

Характеристические уравнения:

а) для сухой части воздуха

$$P_{\text{с.в}} V = G_{\text{с.в}} R_{\text{с.в}} T, \quad (2)$$

где V – объем влажного воздуха, м^3 ; $G_{\text{с.в}}$ – масса сухого воздуха, кг; $R_{\text{с.в}}$ – удельная газовая постоянная для сухого воздуха, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; T – температура влажного воздуха, К;

б) для влажного воздуха

$$P_{\text{п}} V = G_{\text{в.п}} R_{\text{в.п}} T, \quad (3)$$

где $G_{\text{в.п}}$ – масса водяных паров, кг; $R_{\text{с.в}}$ – удельная газовая постоянная для водяного пара, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

– влагосодержание

$$d = \frac{G_{\text{в.п}}}{G_{\text{с.в}}} = 0,623 \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{б}} - P_{\text{п}}} = 0,623 \frac{\phi P_{\text{н}}}{P_{\text{б}} - \phi P_{\text{н}}}, \quad (4)$$

где ϕ – относительная влажность воздуха, %; $P_{\text{н}}$ – парциальное давление насыщенного пара, кПа.

– Абсолютная влажность

$$e = G_{\text{в.п}} / V = P_{\text{п}} / (R_{\text{в.п}} T). \quad (5)$$

– Относительная влажность

$$\phi = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{н}}} 100 \% = \frac{e}{e_{\text{max}}} 100 \% , \quad (6)$$

где e_{max} – максимальная абсолютная влажность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

– Энтальпия

$$I = I_{\text{с.в}} + I_{\text{в.п}} = 1,005t + (2500 + 1,8t)d \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

где $I_{\text{с.в}}$, $I_{\text{в.п}}$ – энтальпии сухого воздуха и водяных паров, $\text{кДж}/\text{кг}$; t – температура воздуха по сухому термометру, $^{\circ}\text{C}$; d – влагосодержание воздуха, $\text{г}/\text{кг}$.

– Плотность

$$\rho_{\text{с.в}} \approx \rho_{\text{в.в}} \approx \frac{353}{T}, \quad (8)$$

где $\rho_{\text{с.в}}$, $\rho_{\text{в.в}}$ – плотность сухого и влажного воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$.

2. ОПИСАНИЕ *I-d*-ДИАГРАММЫ

I-d-диаграмма влажного воздуха графически связывает все параметры, определяющие тепловлажностное состояние воздуха: энтальпию, влагосодержание, температуру, относительную влажность, парциальное давление водяных паров. Диаграмма построена в косоугольной системе координат, что позволяет расширить область ненасыщенного влажного воздуха и делает диаграмму удобной для графических построений. По оси ординат диаграммы отложены значения энтальпии I , кДж/кг сухой части воздуха, по оси абсцисс, направленной под углом 135° к оси I , отложены значения влагосодержания d , г/кг сухой части воздуха. Поле диаграммы разбито линиями постоянных значений энтальпии $I = \text{const}$ и влагосодержания $d = \text{const}$. На него нанесены также линии постоянных значений температуры $t = \text{const}$, которые не параллельны между собой: чем выше температура влажного воздуха, тем больше отклоняются вверх его изотермы. Кроме линий постоянных значений I , d , t , на поле диаграммы нанесены линии постоянных значений относительной влажности воздуха $\varphi = \text{const}$. В нижней части *I-d*-диаграммы расположена кривая, имеющая самостоятельную ось ординат. Она связывает влагосодержание d , г/кг, с упругостью водяного пара $P_{\text{п}}$, кПа. Ось ординат этого графика является шкалой парциального давления водяного пара $P_{\text{п}}$. Все поле диаграммы разделено линией $\varphi = 100\%$ на две части. Выше этой линии расположена область ненасыщенного влажного воздуха. Линия $\varphi = 100\%$ соответствует состоянию воздуха, насыщенного водяными парами. Ниже расположена область пересыщенного состояния воздуха (область тумана). Каждая точка на *I-d*-диаграмме соответствует определенному тепловлажностному состоянию воздуха. Линия на *I-d*-диаграмме соответствует процессу тепловлажностной обработки воздуха. Общий вид *I-d*-диаграммы влажного воздуха представлен на рис. 1.

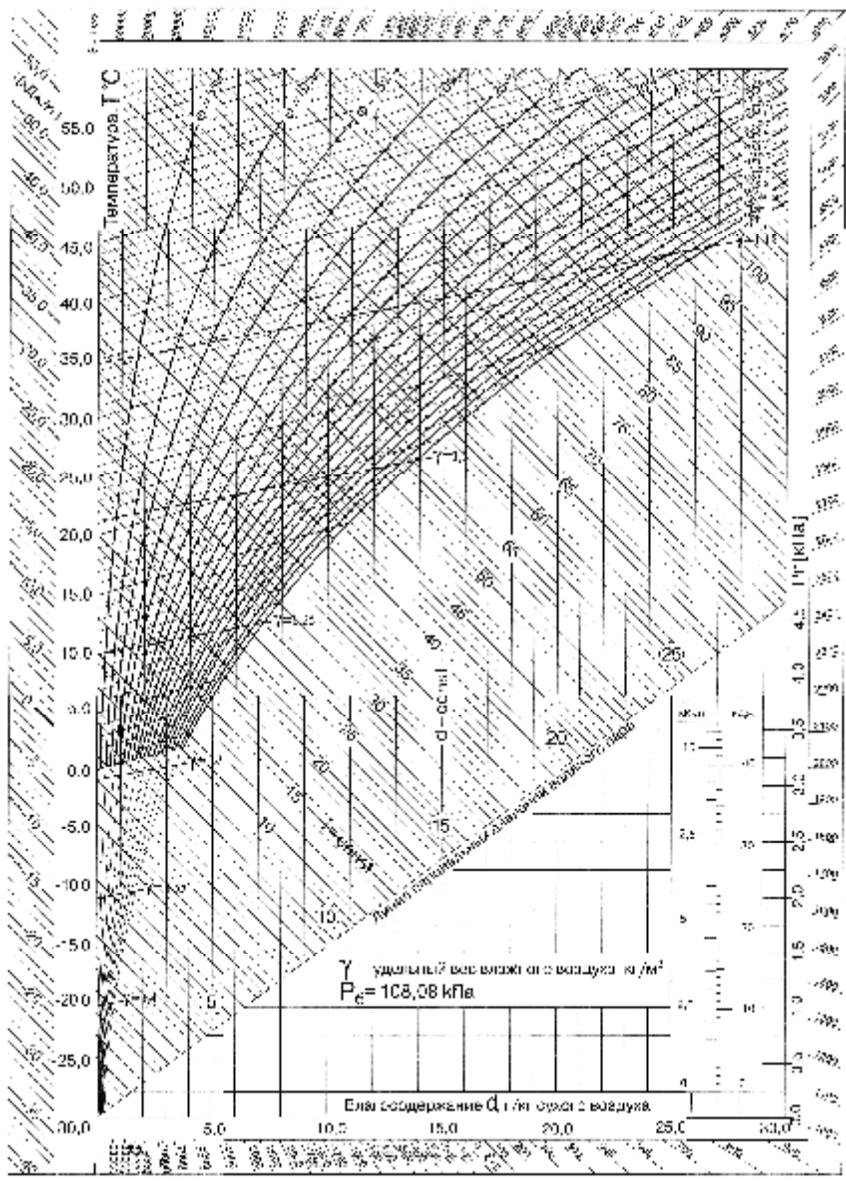


Рис. 1. I-d-диаграмма влажного воздуха

3. ПОСТРОЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА В СКВ НА I - d -ДИАГРАММЕ

3.1. Процессы нагрева, охлаждения и смешения воздуха

На I - d -диаграмме влажного воздуха процессы нагрева и охлаждения воздуха изображаются лучами по линии d -const (рис. 2).

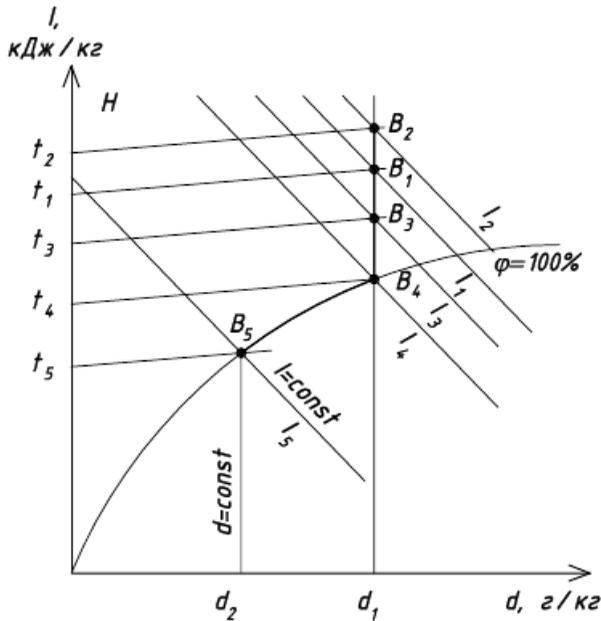


Рис. 2. Процессы сухого нагрева и охлаждения воздуха на I - d -диаграмме: $B_1 B_2$ – сухой нагрев; $B_1 B_3$ – сухое охлаждение; $B_1 B_4 B_5$ – охлаждение с осушением воздуха

Процессы сухого нагрева и сухого охлаждения воздуха на практике осуществляют, применяя теплообменники (воздухо-нагреватели, калориферы, воздухоохладители).

Если влажный воздух в теплообменнике охлаждается ниже точки росы, то процесс охлаждения сопровождается выпадени-

ем конденсата из воздуха на поверхности теплообменника, и охлаждение воздуха сопровождается его осушкой.

Расход теплоты в теплообменнике Q , Вт, затраченной на нагрев воздуха массой G , кг/ч, имеющего параметры I_{B1} , t_1 , до состояния I_{B2} , t_2 (рис. 2), определяется по уравнению

$$Q = G(I_{B2} - I_{B1}) \text{ или } Q = G \cdot c(t_2 - t_1). \quad (9)$$

Расход холода на охлаждение воздуха от состояния B_1 до состояния B_3 определяется из выражения

$$Q = G(I_{B1} - I_{B3}) \text{ или } Q = G \cdot c(t_1 - t_3). \quad (10)$$

Количество конденсата W_k , кг/кг, образующегося при осушке воздуха от состояния B_1 до состояния B_5 , определим как

$$W_k = G(d_1 - d_5)10^{-3}. \quad (11)$$

Процессы смешения влажного воздуха изображаются на I - d -диаграмме прямой линией, соединяющей исходные состояния смешиваемого воздуха (рис. 3).

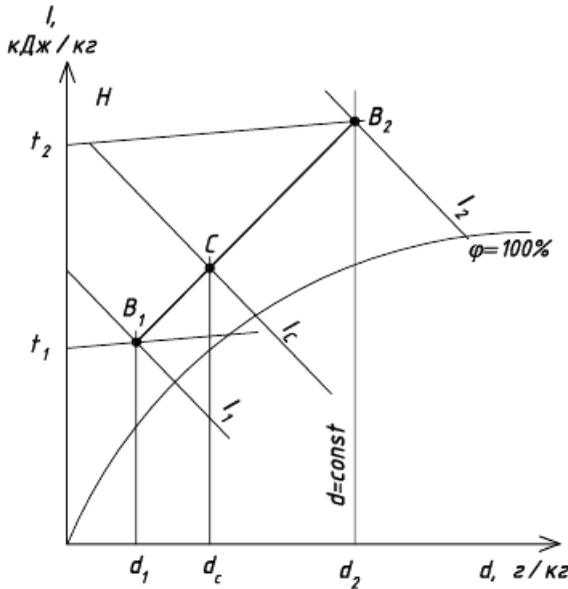


Рис. 3. Процесс смешения воздуха на I - d -диаграмме

Точку C на прямой B_1-B_2 определим по вычисленному значению энтальпии смеси I_c или влагосодержания смеси d_c . Для этого запишем уравнения теплового баланса (а) или уравнение материального баланса по водяным парам (б):

$$\text{а) } G_1 I_{B_1} + G_2 I_{B_2} = (G_1 + G_2) I_c, \quad (12)$$

$$\text{б) } G_1 d_{B_1} + G_2 d_{B_2} = (G_1 + G_2) d_c, \quad (13)$$

где G_1, G_2 – масса воздуха, кг.

Точка C будет находиться на пересечения линии B_1-B_2 и линии $I_c = \text{const}$ или $d_c = \text{const}$.

3.2. Построение процессов обработки воздуха в СКВ при прямоточных схемах

3.2.1. Прямое изоэнтальпийное охлаждение воздуха

Прямое изоэнтальпийное охлаждение воздуха применяют в СКВ в теплый период для районов с сухим и жарким климатом.

Для изоэнтальпийного охлаждения воздух направляют в камеру орошения ОКФ, работающую на рециркуляционной воде. Получение необходимых параметров воздуха (t, φ) обеспечивает применение регулируемого процесса в ОКФ или схемы с байпасированием воздуха. При регулируемом процессе заданная влажность воздуха на выходе из камеры орошения достигается изменением количества воды, подаваемой в дождевое пространство, и применением форсунок, обеспечивающих необходимое распыление воды в широком диапазоне изменения давления перед ними. В схемах с байпасированием в оросительное пространство подается часть общего расхода наружного воздуха, в то время как другая его часть проходит по обводному (байпасному) каналу без обработки, после чего происходит их смешивание. Схемы обработки воздуха на $I-d$ -диаграмме показаны на рис. 4–5.

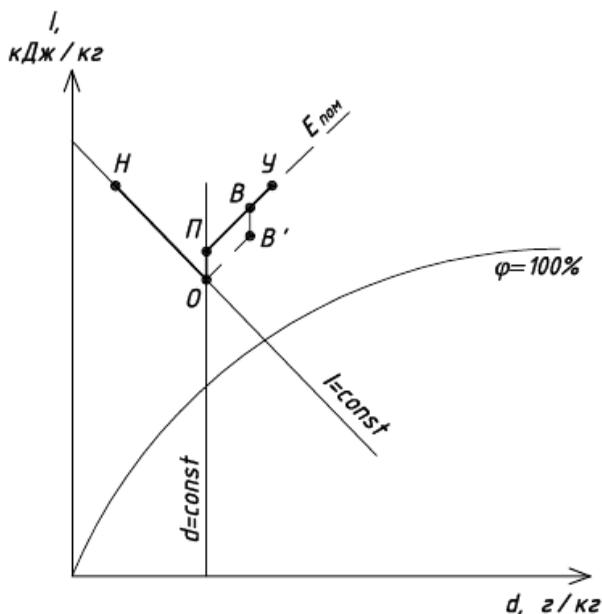


Рис. 4. Схемы прямого изохлального охлаждения воздуха с применением регулируемого процесса

При регулируемом процессе предлагается следующий порядок графического построения на $I-d$ -диаграмме (рис. 4):

а) нахождение точек H и B , характеризующих состояние наружного и внутреннего воздуха;

б) определение положения т. O (то есть состояния воздуха на выходе из оросительной камеры). Для этого проводят вспомогательное построение. От т. B вниз по линии $d_{B-\text{const}}$ откладывают отрезок BB' , соответствующий $(1 \div 1,5)^\circ\text{C}$. Через т. B' проводят прямую, параллельную лучу процесса в помещении (в соответствии с величиной углового коэффициента $\epsilon_{\text{пом}}$) до пересечения с линией $I_{B-\text{const}}$ в точке O .

в) определение положения т. Π (то есть состояния приточного воздуха). Через т. O по линии $d_o = \text{const}$ вверх откладывают отрезок, равный $(1 \div 1,5)^\circ\text{C}$ (такой же, как и отрезок BB'), получая при этом т. Π .

г) определение положения т. У (то есть состояния воздуха, уходящего из помещения). Она находится на пересечении линии $\epsilon_{\text{пом}}$ с изотермой t_y .

Физический смысл процессов обработки воздуха:

ПВУ – процесс изменения состояния воздуха в помещении;

НО – процесс изоэнтальпийного охлаждения (увлажнения) воздуха в ОКФ;

ОП – процесс нагрева воздуха в вентиляторе.

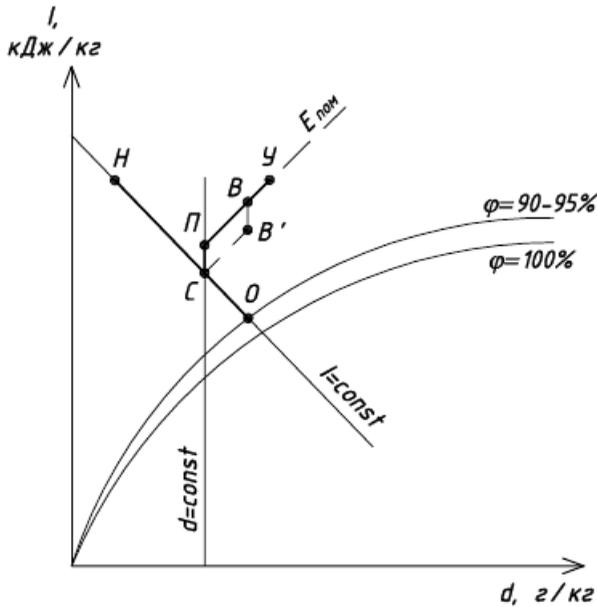


Рис. 5. Схемы прямого изоэнтальпийного охлаждения воздуха с применением байпасирования воздуха

При байпасировании части наружного воздуха порядок построения процесса на $I-d$ -диаграмме следующий (рис. 5):

а) нахождение точек Н и В;

б) определение положения т. О. Она находится на пересечении изоэнтальпы I_H с линией $\phi = 90\%$ (характеризует состояние воздуха на выходе из ОКФ);

в) определение положения т. С (то есть состояния воздуха после смешения наружного (байпасированного) воздуха с воздухом из оросительной камеры. Для этого от т. В вниз по линии $d_B = \text{const}$ откладывают отрезок BB' , соответствующий $1 \div 1,5$ °С. Через т. В' проводят прямую, параллельную лучу процесса в помещении (в соответствии с $\epsilon_{\text{пом}}$), до пересечения с лишней $I = \text{const}$ в т. С;

г) определение т. П (то есть состояния приточного воздуха). Через т. С по линии $d_c = \text{const}$ вверх откладывают отрезок $1 \div 1,5$ °С, получая при этом т. П;

д) определение положения т. У (то есть состояния воздуха, удаляемого из помещения). Она находится на пересечении линии $\epsilon_{\text{пом}}$ с изотермой t_y .

Физический смысл процессов обработки воздуха:

НО – процесс смешения наружного воздуха с воздухом из оросительной камеры;

СП – процесс нагрева воздуха в вентиляторе;

ПВУ – процесс изменения параметров воздуха в помещении.

Расход приточного воздуха, $G_{\text{пр}}$, кг/ч, определяют по уравнению

$$G_{\text{пр}} = \frac{3,6 \sum Q_{\text{п}}}{I_y - I_{\text{п}}}, \quad (14)$$

где $\sum Q_{\text{п}}$ – суммарные полные тепlopоступления в помещения, Вт; I_y , $I_{\text{п}}$ – энтальпии удаляемого и приточного воздуха, кДж/кг.

Расход воздуха, проходящего через байпас $G_{\text{б}}$, кг/ч, определяют по уравнению

$$G_{\text{б}} = G_{\text{пр}} (d_o - d_c) / (d_o - d_{\text{н}}), \quad (15)$$

где d_o , d_c , $d_{\text{н}}$ – влагосодержания точек О, С, Н, г/кг.

Количество воды, испарившейся в камере орошения при увлажнении воздуха:

$$W_{\text{исп}} = G_{\text{пр}} (d_o - d_{\text{н}}) 10^{-3}. \quad (16)$$

3.3. Прямоточная схема СКВ для теплого периода года

Схема СКВ при прямоточном способе обработки воздуха для теплого периода приведена на рис. 6:

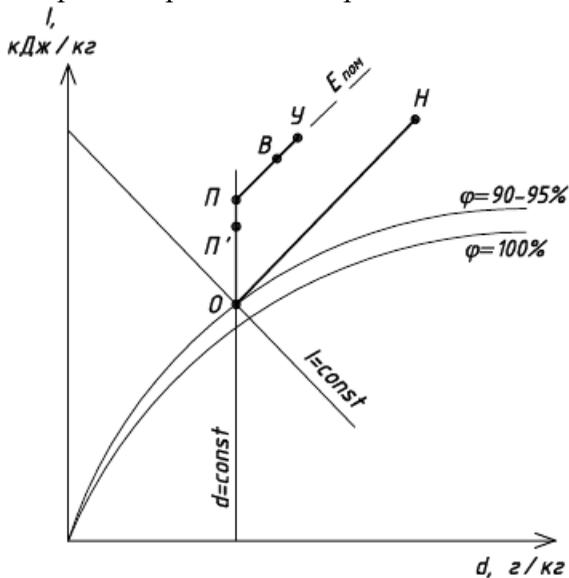


Рис. 6. Прямоточная схема СКВ для теплого периода года

Предлагается следующий порядок построения процесса на $I-d$ -диаграмме влажного воздуха:

а) нахождение на $I-d$ -диаграмме положения точек Н и В, характеризующих состояние наружного и внутреннего воздуха;

б) проведение через т. В луча процесса с учетом величины углового коэффициента $\epsilon_{\text{пом}}$;

в) определение положения других точек:

– т. П (то есть состояния приточного воздуха), которая лежит на пересечении изотермы $t_{\text{п}}$ с лучом процесса;

– т. П' (то есть состояния приточного воздуха на выходе из второго воздухонагревателя), для чего от т. П вертикаль-

но вниз откладывают отрезок в $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (отрезок ПП' характеризует нагрев приточного воздуха в воздуховодах и вентиляторе);

– т. О (то есть состояние воздуха на выходе из оросительной камеры), для чего от т. П вниз по линии $d\text{-const}$ проводят линию до пересечения с $\phi = 90\%$ (отрезок ОП' характеризует нагрев воздуха во втором воздухонагревателе);

– т. У (то есть состояния воздуха, уходящего из помещения), лежащей на пересечении изотермы t_y с лучом процесса (отрезок ПВУ характеризует ассимиляцию теплоты и влаги воздухом в помещении); если $t_y = t_B$, то т. У соответствует положению т. В и при построении ее не указывают на $I\text{-}d$ -диаграмме.

Все базовые точки найдены. Их соединяют прямыми линиями (см. рис. 6).

Физический смысл найденных отрезков следующий:

НО – процесс осушки и охлаждения воздуха в ОКФ;

ОП' – нагрев воздуха во втором воздухонагревателе;

ПП' – нагрев воздуха в воздуховодах и вентиляторе;

ПВУ – процесс ассимиляции тепла и влаги в помещении.

Расход теплоты во втором воздухонагревателе $Q_{ВН2}$, Вт, определяют по уравнению

$$Q_{ВН2} = G_{пр}(I_{п'} - I_o). \quad (17)$$

Расход холода $Q_{хол}$, Вт, в ОКФ определяют по формуле

$$Q_{хол} = G_{пр}(I_n - I_o).$$

Количество сконденсированных паров воды из воздуха W_k , кг/ч, в ОКФ равно

$$W_k = G_{пр}(d_n - d_o)10^{-3}. \quad (18)$$

3.4. Прямоточная схема СКВ для холодного периода года

Схема СКВ при прямоточном способе обработки воздуха для холодного периода приведена на рис. 7:

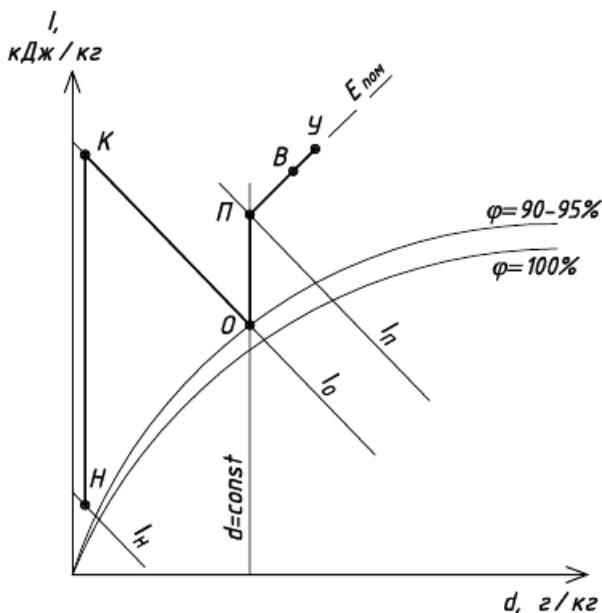


Рис. 7. Прямоточная схема СКВ для холодного периода года

Предлагается следующий порядок построения на $I-d$ -диаграмме влажного воздуха [1, 3]:

а) нахождение на $I-d$ -диаграмме положения базовых точек В и Н, характеризующих состояние наружного и внутреннего воздуха;

б) проведение через т. В луча процесса с учетом величины углового коэффициента $\varepsilon^x_{\text{пом}}$;

в) определение положения точек П, У, О, К:

г) т. У, расположенной на пересечении изотермы t_y ;

д) т. П, расположенной на пересечении изоэнтальпы $I_{\text{п}}$ с лучом процесса. Численное значение удельной энтальпии $I_{\text{п}}$ приточного воздуха для холодного периода года вычисляют предварительно из уравнения

$$I_{\text{п}} = I_y - \frac{\Sigma Q_x}{0,278 \cdot G}, \quad (19)$$

где ΣQ_x – суммарные полные теплоизбытки в помещении в холодный период года, Вт.

е) т. О (то есть состояния воздуха на выходе из оросительной камеры), расположенной на пересечении линии $d_{\text{п}}$ с линией $\varphi = 90 \%$;

ж) т. К (то есть состояния воздуха на выходе из воздухонагревателя первой ступени), расположенной на пересечении линии $d_{\text{н}}$ с изоэнтальпой I_o .

Соединяем базовые точки прямыми линиями и получаем ломаную линию НКОПВУ. Физический смысл отрезков следующий:

НК – нагрев воздуха в воздухонагревателе первой ступени;

КО – адиабатическое (изоэнтальпийное) охлаждение воздуха;

ОП – нагрев воздуха в воздухонагревателе второй ступени;

ПВУ – процесс ассимиляции тепла и влаги в помещении.

Расход теплоты в первом воздухонагревателе $Q_{\text{ВН1}}$, Вт, определяют по уравнению

$$Q_{\text{ВН1}} = G_{\text{пр}}(I_{\text{к}} - I_{\text{н}}). \quad (20)$$

Расход теплоты во втором воздухонагревателе определяют по формуле

$$Q_{\text{ВН2}} = G_{\text{пр}}(I_{\text{п}} - I_{\text{о}}). \quad (21)$$

Количество испарившейся воды $W_{\text{исп}}$, кг/ч, при адиабатическом увлажнении воздуха в ОКФ

$$W_{\text{исп}} = G_{\text{пр}}(d_{\text{о}} - d_{\text{к}})10^{-3}. \quad (22)$$

3.5. Построение процессов обработки воздуха в СКВ с первой рециркуляцией

3.5.1. Схема СКВ с первой рециркуляцией для теплого периода года

Схема СКВ с первой рециркуляцией при обработке воздуха для теплого периода приведена на рис. 8:

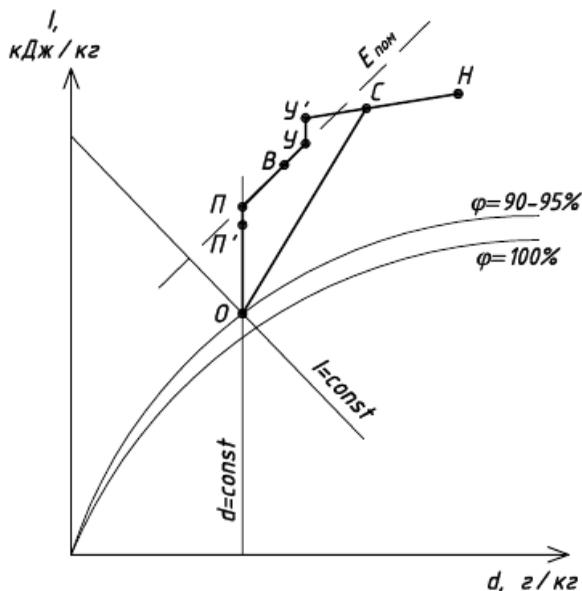


Рис. 8. Схема СКВ с первой рециркуляцией для теплого периода года

Предлагается следующий порядок построения на $I-d$ -диаграмме влажного воздуха [1,3]:

а) определение положения т. Н, В, П, П', О, У;

б) определение положения т. У' (то есть состояния рециркуляционного воздуха перед его смешиванием с наружным воздухом), для чего от т. У по линии $d=const$ откладывают вверх отрезок, равный $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (отрезок УУ' характеризует нагрев уходящего воздуха в вентиляторе);

в) т. С (то есть состояние воздуха после смещения рециркуляционного воздуха с наружным воздухом). Точки У' и Н соединяют прямой.

Отрезок У'Н характеризует процесс смешивания рециркуляционного и наружного воздуха. Точка С находится на прямой У'Н (на пересечении с I_c).

Удельную энтальпию I_c , кДж/кг, точки С вычисляют по уравнению (12) или (13), выражают энтальпию или влагосодержание смеси.

Расход воздуха, поступающего на первую рециркуляцию, определяется из выражения

$$L_{1p} = L_{\text{норм}} \cdot n, \quad (23)$$

где $L_{\text{норм}}$ – нормативный расход воздуха на человека, м³/ч; n – количество людей в помещении.

Точки С и О соединяют прямой. Получившийся отрезок СО характеризует политропический процесс тепловлажностной обработки воздуха в оросительной камере. На этом построение процесса СКВ заканчивают.

Расход холода $Q_{\text{хол}}$, Вт, в ОКФ определяют по формуле

$$Q_{\text{хол}} = G_{\text{пр}} (I_1 - I_2),$$

где I_1, I_2 – энтальпии влажного воздуха на входе и выходе из форсуночной камеры орошения, кДж/кг.

Количество сконденсированных паров воды из воздуха, W_k , кг/ч, вычисляют по уравнению

$$W_k = G_{\text{пр}} (d_1 - d_2) 10^{-3},$$

где d_1, d_2 – влагосодержания влажного воздуха на входе и выходе из форсуночной камеры орошения, кг/кг.

4. КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение»

Самостоятельная подготовка студентов при изучении дисциплины «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» в 9-м семестре осуществляется проведением контрольных работ, состоящих из:

- построения процесса обработки воздуха в центральном кондиционере на $I-d$ -диаграмме;
- решении задачи и ответа на вопрос, выбранных по номеру зачетной книжки или журнала старосты группы.

Готовая к сдаче работа оформляется на листах формата А4, процессы обработки воздуха строятся на на *I-d*-диаграмме влажного воздуха. Задания к контрольным работам приведены в таблице. Заключительным этапом при изучении дисциплины в 9-м семестре является выполнение курсового проекта на тему «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение».

Вариант	Задание к контрольной работе
1	Определить количество испарившейся воды в оросительной камере при изохлорном охлаждении воздуха в теплый период при регулируемом процессе. <i>Исходные данные:</i> полные тепловыделения в помещении равны $Q_{\text{п}} = 60000$ Вт; влаговыделения $W = 30$ кг/ч; параметры наружного воздуха: $t_{\text{н}} = 25$ °С, $I_{\text{н}} = 44$ кДж/кг; параметры внутреннего воздуха: $t_{\text{в}} = 24$ °С, $\phi_{\text{в}} = 60$ %; температура удаляемого воздуха $t_{\text{у}} = 26$ °С
2	Определить количество испарившейся воды в оросительной камере при изохлорном охлаждении воздуха в теплый период при байпасировании части наружного воздуха. <i>Исходные данные:</i> $W = 20$ кг/ч; $Q_{\text{п}} = 40000$ Вт; $t_{\text{н}} = 30$ °С; $I_{\text{н}} = 44$ кДж/кг; $t_{\text{в}} = 26$ °С; $\phi_{\text{в}} = 50$ %; $t_{\text{у}} = 28$ °С
3	Воздух имеет параметры $t_{\text{с}} = 20$ °С, $t_{\text{м}} = 10,5$ °С. Как перевести этот воздух в состояние с параметрами $t_{\text{с}} = 2$ °С, $\phi = 90$ %? Ответ сопроводите построением на <i>I-d</i> -диаграмме влажного воздуха
4	Построить процесс обработки воздуха на <i>I-d</i> -диаграмме влажного воздуха для приточной системы кондиционирования воздуха в теплый период года. Определить расход теплоты и холода для обработки воздуха. <i>Исходные данные:</i> $Q_{\text{п}} = 74800$ Вт; $W = 17,5$ кг/ч; $t_{\text{н}} = 29,1$; °С, $I_{\text{н}} = 63$ кДж/кг; $t_{\text{в}} = 26$ °С; $\phi_{\text{в}} = 50$ %; приточный воздух подается непосредственно в рабочую зону
5	Определить расход теплоты и воды для тепловлажностной обработки воздуха в холодный период в СКВ, работающей по приточной схеме. <i>Исходные данные:</i> $Q_{\text{п}} = 200000$ кДж/ч; $W = 10$ кг/ч; $t_{\text{н}} = -15$ °С; $I_{\text{н}} = -14$ кДж/кг; $t_{\text{в}} = 20$ °С; $\phi_{\text{в}} = 50$ %; $t_{\text{у}} = 22$ °С; расход приточного воздуха $G = 30000$ кг/ч
6	2 кг воздуха ($\phi = 50\%$, $t = 20$ °С) смешивается с 8 кг воздуха ($t = 0$ °С, $d = 1$ г/кг). Определить параметры смешанного воздуха ($t_{\text{см}}$, $\phi_{\text{см}}$, $I_{\text{см}}$, $d_{\text{см}}$, $P_{\text{см}}$)

Продолжение таблицы

7	Определить расход холода для СКВ, работающей с одной рециркуляцией. Расход наружного воздуха принять равным 37000 кг/ч. <i>Исходные данные:</i> $Q_n = 53900$ Вт; $W = 11,5$ кг/ч; $I_n = 52$ кДж/кг, $t_n = 25,7$ °С; $t_b = 23$ °С; $\phi_b = 53$ %; $t_y = 25$ °С; приточный воздух подается непосредственно в рабочую зону
8	Наружный воздух в количестве 100 000 кг/ч с параметрами $t_{c1} = -10$ °С; $\phi = 60$ % нагревается до $t = 15$ °С в поверхностном воздухонагревателе. Определить относительную влажность нагретого воздуха и расход тепла
9	Воздух на входе в ОКФЗ имеет $t = 25$ °С, $\phi = 60$ %; на выходе из ОКФЗ температура воздуха равна 10 °С. Определить расход холода и количество испарившейся воды, если количество воздуха равно 43 000 кг/ч
10	Воздух на входе в ОКФЗ имеет $t = 45$ °С, $\phi = 60$ %; на выходе из ОКФЗ температура воздуха равна 5 °С. Определить расход холода и количество испарившейся воды, если количество воздуха равно 97 000 кг/ч. Ответ изобразить на $I-d$ -диаграмме влажного воздуха
12	Определите параметры воздуха на выходе из оросительной камеры, если она работает в режиме политропного охлаждения, а параметры воздуха на входе: $t_p = 20$ °С, $t_c = 30$ °С. Энтальпия воздуха на выходе из камеры орошения $I = 35$ кДж/кг
13	Воздух на входе в ОКФЗ имеет $t = 25$ °С, $\phi = 70$ %; на выходе из ОКФЗ температура воздуха равна 15 °С. Определить расход холода, если количество воздуха равно 30 000 кг/ч. Ответ изобразить на $I-d$ -диаграмме влажного воздуха
14	Воздух на входе в ОКФЗ имеет $t = 30$ °С, $\phi = 40$ %; на выходе из ОКФЗ температура воздуха равна 10 °С. Определить расход охлаждающей воды и количество испарившейся влаги, если количество воздуха равно 15 000 кг/ч. Ответ изобразить на $I-d$ -диаграмме влажного воздуха
15	Определить расход теплоты и холода для прямоточной СКВ. Расход наружного воздуха принять равным 37000 м ³ /ч. <i>Исходные данные:</i> $Q_n = 60000$ Вт; $W = 16$ кг/ч; $I_n = -20$ кДж/кг, $t_n = -20$ °С; $t_n = 15$ °С, $d_n = 4$ г/кг; приточный воздух подается непосредственно в рабочую зону
16	Определить расход холода и количество выделившейся влаги при охлаждении воздуха в поверхностном теплообменнике, если начальные параметры воздуха $t_n = 27$ °С, $I_n = 55$ кДж/кг. Конечные параметры $t_k = 5$ °С

Продолжение таблицы

17	Определить расход холода и количество выделившейся влаги из воздуха при двухступенчатом охлаждении в поверхностном воздухоохладителе и камере орошения. <i>Исходные данные:</i> Расход наружного воздуха принять равным 37000 м ³ /ч. Температура воздуха на выходе из камеры орошения $t_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_n = 35 \text{ }^\circ\text{C}$, $d_n = 3 \text{ г/кг}$
18	Определить расход теплоты во втором подогревателе и количество испарившейся воды в камере орошения. <i>Исходные данные:</i> Расход наружного воздуха принять равным 29000 кг/ч. На выходе из ОКФЗ температура воздуха равна 10 °С. Конечная температура нагрева воздуха в первом подогревателе $t_k = 27 \text{ }^\circ\text{C}$, температура приточного воздуха $t_n = 17 \text{ }^\circ\text{C}$
19	Определить общий расход холода при охлаждении воздуха в поверхностном теплообменнике, если начальные параметры воздуха $t_n = 27 \text{ }^\circ\text{C}$, $I_n = 55 \text{ кДж/кг}$. Конечные параметры $t_k = 5 \text{ }^\circ\text{C}$
20	Определить расход холода при охлаждении воздуха в поверхностном теплообменнике при «сухом» охлаждении, если начальные параметры воздуха $t_n = 27 \text{ }^\circ\text{C}$, $I_n = 55 \text{ кДж/кг}$. Конечные параметры $t_k = 5 \text{ }^\circ\text{C}$
21	Определить расход теплоты в первом подогревателе и количество испарившейся воды в камере орошения. <i>Исходные данные:</i> Расход наружного воздуха принять равным 28000 м ³ /ч. Температура наружного воздуха $t_n = -25 \text{ }^\circ\text{C}$, $I_n = -25 \text{ кДж/кг}$. Конечная температура нагрева воздуха в первом подогревателе $t_k = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
22	Определить расход холода и количество выделившейся влаги при охлаждении воздуха в поверхностном теплообменнике при охлаждении с выделением конденсата, если начальные параметры воздуха $t_n = 27 \text{ }^\circ\text{C}$, $I_n = 55 \text{ кДж/кг}$. Конечные параметры $t_k = 5 \text{ }^\circ\text{C}$
23	Определить общий расход холода и количество выделившейся влаги при охлаждении воздуха в поверхностном теплообменнике, если начальные параметры воздуха $t_n = 27 \text{ }^\circ\text{C}$, $I_n = 55 \text{ кДж/кг}$. Конечные параметры $t_k = 5 \text{ }^\circ\text{C}$
24	Воздух с параметрами $t_{c1} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$, $I_1 = 25 \text{ кДж/кг}$ смешивается с воздухом, имеющим параметры $t_{c2} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\phi_2 = 90 \text{ } \%$. Определить параметры смеси, если воздуха в точке 2 в два раза больше, чем в точке 1
25	Какими способами можно охладить и осушить 10000 кг/ч приточного воздуха при $t_n = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ и $\phi = 50 \text{ } \%$, $P_6 = 760 \text{ мм рт. ст.}$ до температуры $t_k = 10 \text{ }^\circ\text{C}$? Одинакова ли будет относительная влажность в конечном состоянии при том или ином способе обработки воздуха?

Окончание таблицы

26	<p>Определить расход приточного воздуха в теплый период года для зала заседаний на 800 мест (50×24×6м), если наружный воздух имеет температуру $t_n = 30$ °С, энтальпию $I_n = 32,5$ кДж/кг. Теплопоступления от солнечной радиации принять равными 2 кВт. Рассмотреть целесообразность применения схемы с байпасированием воздуха</p>
27	<p>Провести расчет ОКФЗ для режима адиабатического увлажнения воздуха и подогревателя первой ступени, если количество обрабатываемого воздуха равно 42000 кг/ч, параметры воздуха на входе в форсуночную камеру соответствуют $t_k = 20$ °С, $I_k = 24$ кДж /кг, на входе в подогреватель $t_n = -30$ °С</p>
28	<p>Известно, что в СКВ с одной рециркуляцией в холодный период применяют два варианта нагрева воздуха на первой ступени воздухонагревателей: 1-й вариант – предварительно нагревается наружный воздух в воздухонагревателе и затем смешивается с частью удаляемого воздуха, 2-й вариант – смешение наружного и рециркуляционного воздуха осуществляют до воздухонагревателя 1-й ступени с последующим нагревом всей смеси. Докажите, что расход теплоты в обоих вариантах одинаковый</p>
29	<p>Наружный воздух в количестве 10000 кг/ч при $t_n = -15$ °С и $I_n = -12,6$ кДж/кг и $P_6 = 760$ мм рт. ст. нагревается в калориферной установке до $t_n = 20$ °С и увлажняется паром низкого давления. Какое количество пара, кг/ч, необходимо подавать в воздух, чтобы его относительная влажность была $\phi = 50$ %?</p>
30	<p>Определить максимальный расход воды в ОКФЗ центрального кондиционера, если его производительность равна 110000 кг/ч воздуха. Параметры наружного воздуха в теплый период $t_n = 24$ °С, $I_n = 52$ кДж/кг. Влагосодержание воздуха на выходе из ОКФЗ равно 8 г/кг. Температура воздуха в холодный период на входе в ОКФЗ равна 18 °С, на выходе равна 6 °С. Схема СКВ – прямоточная</p>
31	<p>Рассчитать поверхностный воздухоохладитель для теплого периода года, который работает в режиме охлаждения и осушения воздуха. Параметры наружного воздуха в теплый период $t_n = 24$ °С, $I_n = 52$ кДж/кг. Влагосодержание воздуха на выходе из ОКФЗ равно 8 г/кг. Схема СКВ – прямоточная</p>
32	<p>Наружный воздух в количестве 70000 кг/ч при $t_n = -17$ °С и $I_n = -12,6$ кДж/кг и $P_6 = 760$ мм рт. ст. нагревается в калориферной установке до $t_n = 25$ °С и увлажняется паром низкого давления. Какое количество пара, кг/ч, необходимо подавать в воздух, чтобы его относительная влажность была $\phi = 55$ %?</p>

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чему может быть равна начальная температура воды на входе в оросительную камеру?
2. Возможна ли осушка воздуха без изменения его температуры?
3. Где обычно устанавливают кондиционеры-доводчики? Их назначение.
4. Что характеризует температура точки росы? Как она определяется?
5. Чему обычно равна предельная скорость воздуха в оросительной камере?
6. Какую размерность имеет коэффициент луча процесса?
7. Как осуществить нагрев воздуха без изменения его влагосодержания?
8. Что характеризует влагосодержание влажного воздуха?
9. Что называют байпасом?
10. Как определить параметры смешенного воздуха в схеме СКВ для холодного (теплого) периода года с первой рециркуляцией?
11. Что называют при кондиционировании воздуха рабочей разностью температур?
12. Что характеризует относительная влажность воздуха?
13. При каком режиме работы оросительной камеры температура воздуха по мокрому термометру одинакова?
14. При каких условиях возможно осушение воздуха водой?
15. Что понимают под холодопроизводительностью холодильной машины?
16. Назначение сепаратора в камере орошения.
17. Для какой цели устанавливают ребра в поверхностных воздухонагревателях?
18. Для каких целей при кондиционировании воздуха может применяться силикогель?
19. Как осуществить изотермический процесс увлажнения воздуха?
20. Что характеризует температура мокрого термометра?

21. Для какого периода года характерен адиабатный режим работы оросительной камеры?
22. Зависит ли расход тепла в ВП1 в схеме с первой рециркуляцией от того, где происходит смешение наружного и рециркуляционного воздуха?
23. Возможна ли осушка и одновременный нагрев воздуха?
24. Каким достоинством обладает двухступенчатое испарительное охлаждение воздуха?
25. Какое принципиальное отличие системы кондиционирования воздуха от системы вентиляции?
26. Чему равна температура воды на входе в ОКФ при адиабатном увлажнении воздуха?
27. Для каких помещений применяют прецизионные кондиционеры?
28. Используются ли в центральных СКВ поверхностные воздухоохладители?
29. Для каких целей в СКВ может применяться CaCl_2 ?
30. В каких теплоутилизаторах поверхность теплообменника попеременно контактирует с охлаждаемой и нагреваемой средой?
31. Для каких целей в СКВ может применяться градирня?
32. Что означает термин «фанкойл»?
33. Что такое чиллер?
34. Что означает термин «косвенное» охлаждение воздуха?
35. Что означает термин «рядность» теплообменника?
36. Для чего применяется рециркуляция воздуха в СКВ?
37. Чем опасно соприкосновение фреонов с открытым огнем?
38. Для чего определяют энтальпийный показатель при расчете форсуночной камеры?
39. Назовите недостатки кондиционера типа сплит-система.
40. Что характеризует коэффициент орошения?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Аверкин, А.Г. Примеры задач по курсу «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение»: учебное пособие для вузов / А.Г. Аверкин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Пенза: Изд-во АСВ, 2003. – 152 с.
2. Сибикин, Ю.Д. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: учеб. пособие для сред. проф. образования / Ю.Д. Сибикин. – М.: Академия, 2008. – 304 с.

Дополнительная литература

3. Справочник проектировщика. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2 / под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – М., 1992. – 416 с.
4. Богословский, В.Н. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение / В.Н. Богословский, О.Я. Кокорин, Л.В. Петров. – М.: Стройиздат, 1985. – 367 с.
5. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: жилые здания со встроенно-пристроенными помещениями общественного назначения и стоянками автомобилей. Коттеджи: справочное пособие. – М.: Пантори, 2003. – 308 с.