

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

Строительный факультет

Кафедра теплотехники и гидравлики

УТВЕРЖДЕН  
на заседании кафедры  
«29» августа 2017 г.,  
протокол № 1  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ В.С. Васильев

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Б1.В.09 Основы обеспечения микроклимата здания»**

Направление подготовки (специальность) 08.03.01 Строительство

Квалификация (степень) выпускника – бакалавр

Профиль (направленность) Теплогазоснабжение и вентиляция  
Прикладной бакалавриат

Методические материалы разработаны на основе рабочей программы дисциплины, предусмотренной образовательной программой высшего образования (ОП ВО) по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» направленность (профиль) «Теплогазоснабжение и вентиляция».

*СОСТАВИТЕЛЬ:*

доцент

\_\_\_\_\_ А.С. Мозгова

ст. преподаватель кафедры  
теплотехники и гидравлики

\_\_\_\_\_ Т.В. Щенникова

*СОГЛАСОВАНО:*

Методическая комиссия строительного факультета «30» августа 2017 г., протокол №1.

Декан факультета

\_\_\_\_\_ А.Н. Плотников

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО

В процессе изучения дисциплины обучающиеся формируют следующие компетенции и демонстрируют соответствующие им результаты обучения:

Компетенция по ФГОС	Ожидаемые результаты обучения
<b>ПК-1-</b> знание нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест	<b>Знать</b> - нормативные документы по проектированию инженерных систем
	<b>Уметь</b> - применять нормативные документы для расчета и проектирования
	<b>Владеть</b> - методикой расчета систем обеспечения микроклимата с использованием нормативных документов
<b>ПК-2-</b> владение методами проведения инженерных изысканий, технологией проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированных проектирования	<b>Знать</b> – методы проведения инженерных изысканий
	<b>Уметь</b> – проводить обследование параметров микроклимата помещений
	<b>Владеть</b> – методами проведения инженерных изысканий, технологией проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированных проектирования
<b>ПК-4-</b> способность участвовать в проектировании и изыскании объектов профессиональной деятельности	<b>Знать</b> - физико-математическое описание процессов формирования микроклимата под воздействием внешней среды, систем охлаждения и вентиляции с учетом функционального назначения здания; методологию нормирования параметров микроклимата; принципы выбора комплекса средств по обеспечению микроклимата в помещениях различного назначения и систему исходных данных для их проектирования
	<b>Уметь</b> - использовать основные понятия, законы и модели тепло-массообменных, гидравлических и аэродинамических процессов применительно к системам обеспечения микроклимата зданий; обоснованно выбирать параметры микроклимата в помещениях и другие исходные данные для проектирования и расчета систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха; сформулировать постановку задачи и составить систему уравнений, описывающих тепловой, влажностный, газовый или аэродинамический режим помещений зданий и элементов систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха; вести расчеты теплового, влажностного, газового и аэродинамического режим помещения.
	<b>Владеть</b> - основными принципами организации микроклимата, современными тенденциями развития средств обеспечения параметров микроклимата, принципами энергосбережения в области техники обеспечения нормируемых параметров микроклимата.

## 2. Методические указания обучающимся по выполнению самостоятельной работы

Самостоятельная работа определяется спецификой дисциплины и методикой ее преподавания, временем, предусмотренным учебным планом, а также ступенью обучения, на которой изучается дисциплина.

Для самостоятельной подготовки можно рекомендовать следующие источники: конспекты лекций и/или практических и лабораторных занятий, учебную литературу соответствующего профиля.

Преподаватель в начале чтения курса информирует обучающихся о формах, видах и содержании самостоятельной работы, разъясняет требования, предъявляемые к результатам самостоятельной работы, а также формы и методы контроля и критерии оценки.

### **Методические рекомендации по подготовке к экзамену**

Экзамен преследует цель оценить работу студента за определенный курс: полученные теоретические знания, их прочность, развитие логического и творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умения анализировать и синтезировать полученные знания и применять на практике решение практических задач.

Экзамен проводится в письменной форме по билетам, утвержденным заведующим кафедрой. Экзаменационный билет включает в себя два вопроса. Формулировка вопросов совпадает с формулировкой перечня вопросов, доведенного до сведения студентов за один месяц до экзаменационной сессии. В процессе подготовки к экзамену организована предэкзаменационная консультация для всех учебных групп. Результат экзамена выражается оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно».

С целью уточнения оценки экзаменатор может задать не более одного-двух дополнительных вопросов, не выходящих за рамки требований рабочей программы. Под дополнительным вопросом подразумевается вопрос, не связанный с тематикой вопросов билета. Дополнительный вопрос, также как и основные вопросы билета, требует развернутого ответа. Кроме того, преподаватель может задать ряд уточняющих и наводящих вопросов, связанных с тематикой основных вопросов билета. Число уточняющих и наводящих вопросов не ограничено.

### **Методические рекомендации по выполнению расчетно-графической работе**

*Цель* расчетно-графической работы – систематизация и закрепление теоретических знаний и развитие практических навыков по решению задач, выработка навыков анализа статистических данных и формулирования выводов по полученным результатам.

*Задачами* расчетно-графической работы являются:

- развитие навыков самостоятельной работы в области решения практических задач;
- подбор и систематизация теоретического материала, являющегося основой для решения практической задачи, развитие навыков самостоятельной работы с учебной, методической и нормативной литературой;
- проведение расчетов по исходным данным и анализ полученных значений;
- формулирование выводов по полученным результатам.

*Структура расчетно-графической работы:*

1. Титульный лист.
2. Оглавление.
3. Задание. На данном этапе надо полностью изложить данное обучающемуся задание.
4. Исходные данные. Студент предоставляет все существующие исходные данные, которые могут понадобиться для проведения расчетов.
5. Разделы, которые будут содержать практические решения и анализ полученных результатов.
6. Выводы.
7. Список использованных источников.
8. Приложение.

Графическая часть проекта выполняется на одном листе бумаги формата А1. Графическое изображение проекций, обозначения, шрифты должны быть выполнены по

правилам оформления строительных чертежей в соответствии с ГОСТ 21.602-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

*Требования по оформлению работы:*

Набор текста производится в текстовом редакторе Microsoft Word шрифтом TimesNewRoman размером 12 pt через 1,5 интервала или 14 pt через 1 интервал. Рекомендуемое значение поля страницы: левое – 30 мм, правое – 15 мм, верхнее и нижнее 20 мм.

Нумерация страниц расчетно-графической работы должна быть сквозная.

Все иллюстрации, помещаемые в расчетно-графическую работу, должны быть тщательно подобраны, четко выполнены. Рисунки и диаграммы должны иметь прямое отношение к тексту, без лишних изображений и данных, которые не поясняются.

Расчетно-графическая работа включает в себя расчет параметров воздуха в помещении построение процессов его обработки.

1. Определить по  $I-d$  диаграмме влажного воздуха (см. прил. 1) параметры воздуха ( $I$  - энтальпию,  $\varphi$  - относительную влажность,  $p$  - парциальное давление,  $t_m$  - температуру мокрого термометра,  $t_p$  - температуру точки росы), если он имеет температуру по сухому термометру  $t_c = 20^\circ\text{C}$  и влагосодержание  $d = 4$  г/кг.

2. Воздух, имеющий параметры  $\varphi_1 = 40\%$ ,  $t_1 = 22^\circ\text{C}$  и расход  $L = 1000$  кг/ч, нагревается в поверхностном теплообменнике до  $t_2 = 38^\circ\text{C}$ . Определить энтальпию и относительную влажность воздуха после нагрева и расход теплоты. Изобразить процесс на  $I-d$  диаграмме влажного воздуха.

3. 1 кг воздуха А ( $\varphi = 50\%$ ,  $d = 5$  г/кг) смешивается с 4 кг воздуха В ( $I_B = 48$  кДж/кг,  $t_B = 20^\circ\text{C}$ ). Определить параметры смешанного воздуха  $\varphi_{см}$  и  $I_{см}$ . Построить процесс обработки воздуха.

4. Построить процессы обработки воздуха: нагрев, охлаждение, адиабатического и политропического увлажнения. Параметры наружного воздуха в отопительный период  $t_n = -30^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_n = 75\%$ . Параметры наружного воздуха в летний период  $t_n = 25^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_n = 65\%$ . Параметры внутреннего воздуха  $t_B = 20^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_n = 55\%$ .

### Задача №1

Определить по  $I-d$  диаграмме влажного воздуха (см. прил. 1) параметры воздуха ( $I$  - энтальпию,  $\varphi$  - относительную влажность,  $p$  - парциальное давление,  $t_m$  - температуру мокрого термометра,  $t_p$  - температуру точки росы), если он имеет температуру по сухому термометру  $t_c = 20^\circ\text{C}$  и влагосодержание  $d = 4$  г/кг.

### Решение

По заданным температуре  $t_c = 20^\circ\text{C}$  и влагосодержанию  $d = 4$  г/кг находим на  $I-d$  диаграмме (рис. 1) точку А.

Через эту точку проходит линии:

- энтальпии

$$I = 30 \text{ кДж/кг};$$

- относительной влажности

$$\varphi = 27\%.$$

На пересечении линий постоянной энтальпии  $I = 30$  кДж/кг и относительной влажности 100% находим точку 1 и соответственно температуру мокрого термометра  $t_m = 10,5^\circ\text{C}$ .

На пересечении линии постоянного влагосодержания  $d = 4$  г/кг и линии относительной влажности 100% находим точку 2, которая соответствует температуре точки росы  $t_p = 1^\circ\text{C}$ .

На пересечении линии постоянного влагосодержания  $d = 4$  г/кг и линии парциальных давлений пара находим точку 3, а по ней парциальное давление паров влаги  $p = 0,7$  кПа.

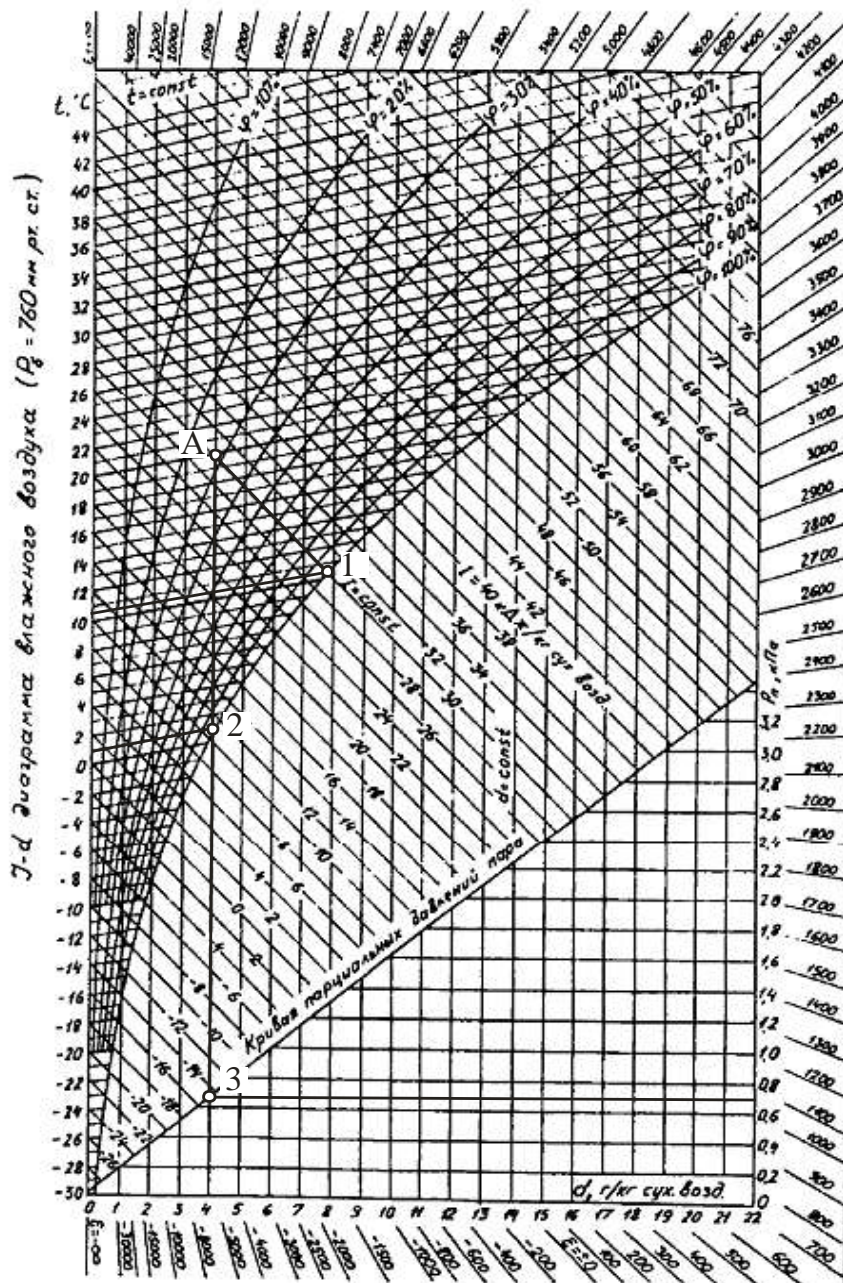


Рис. 1.  $I$ - $d$  диаграмма влажного воздуха к задаче 1

### Задача №2

Воздух, имеющий параметры  $\phi_1 = 40\%$ ,  $t_1 = 22^\circ\text{C}$  и расход  $L = 1000$  кг/ч, нагревается в поверхностном теплообменнике до  $t_2 = 38^\circ\text{C}$ . Определить энтальпию и относительную влажность воздуха после нагрева и расход теплоты. Изобразить процесс на  $I$ - $d$  диаграмме влажного воздуха.

### Решение

По  $\phi_1 = 40\%$  и  $t_1 = 22^\circ\text{C}$  находим на  $I$ - $d$  диаграмме (рис. 2) точку А, соответствующую начальному состоянию воздуха.

По диаграмме находим начальную энтальпию воздуха

$$I_1 = 39$$

кДж/кг.

Процесс нагрева воздуха в поверхностном теплообменнике протекает при постоянном влагосодержании ( $d = \text{const}$ ). На пересечении линии  $d = \text{const}$  с изотермой  $t_2 = 38^\circ\text{C}$  находим точку В (линия АВ), соответствующую состоянию нагретому воздуху.

По диаграмме для точки В находим:

- конечную энтальпию воздуха

$$I_2 = 53 \text{ кДж/кг};$$

- относительную влажность

$$\phi_2 = 16\%.$$



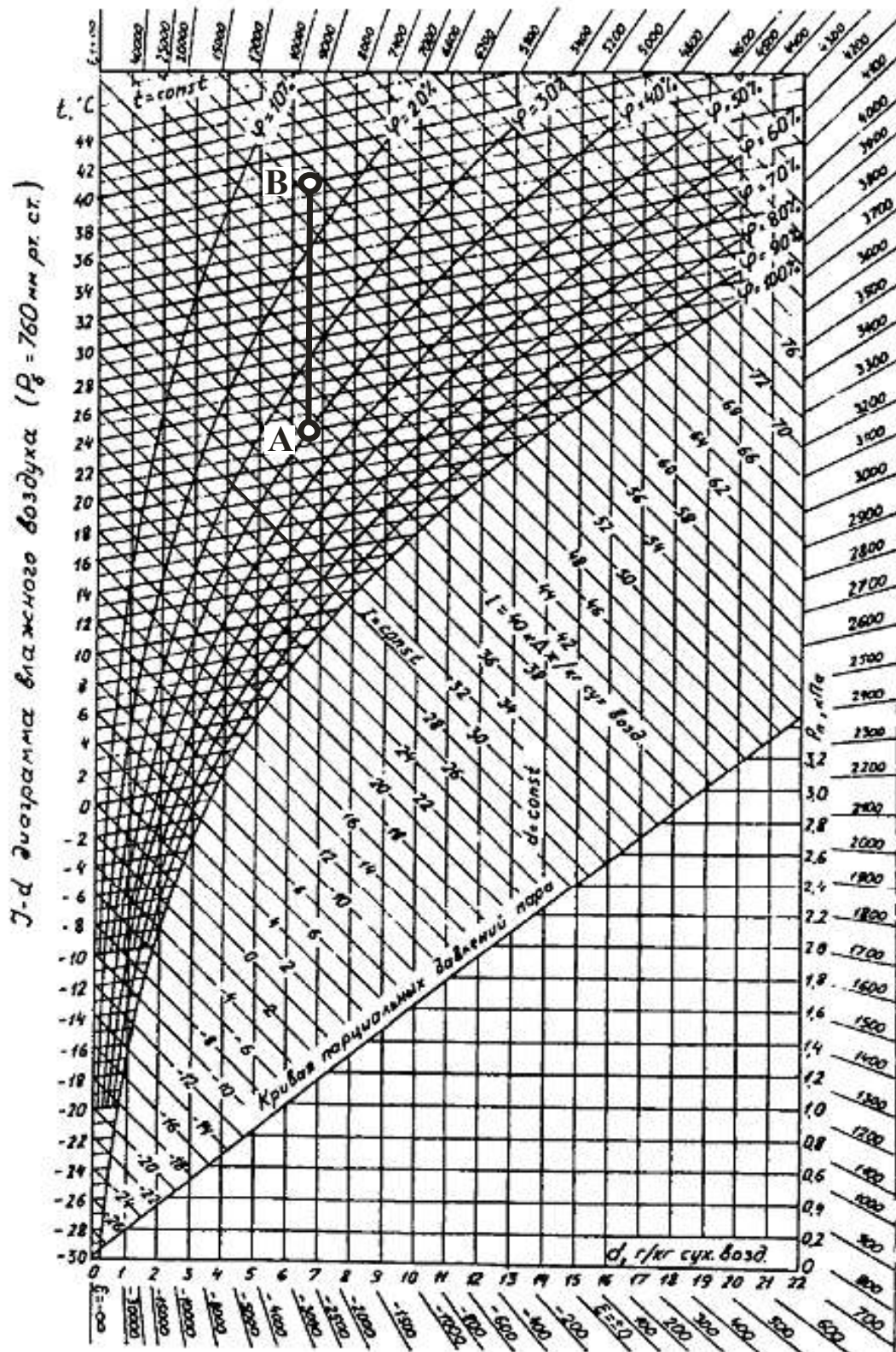


Рис. 2.  $I-d$  диаграмма влажного воздуха к задаче 2

Расход теплоты на нагрев воздуха составляет

$$Q = L(I_2 - I_1) = \frac{1000}{3600} (53 - 39) = 3,89 \text{ кВт.}$$

Задача №3



1 кг воздуха А ( $\varphi = 50\%$ ,  $d = 5$  г/кг) смешивается с 4 кг воздуха В ( $I_B = 48$  кДж/кг,  $t_B = 20^\circ\text{C}$ ).

( $I_B =$

Определить параметры смешанного воздуха  $\varphi_{\text{см}}$  и  $I_{\text{см}}$ .

### Решение

По  $\varphi_A = 50\%$  и  $d_A = 5$  г/кг находим на  $I$ - $d$  диаграмме (рис. 3) точку, характеризующую состояние воздуха А.

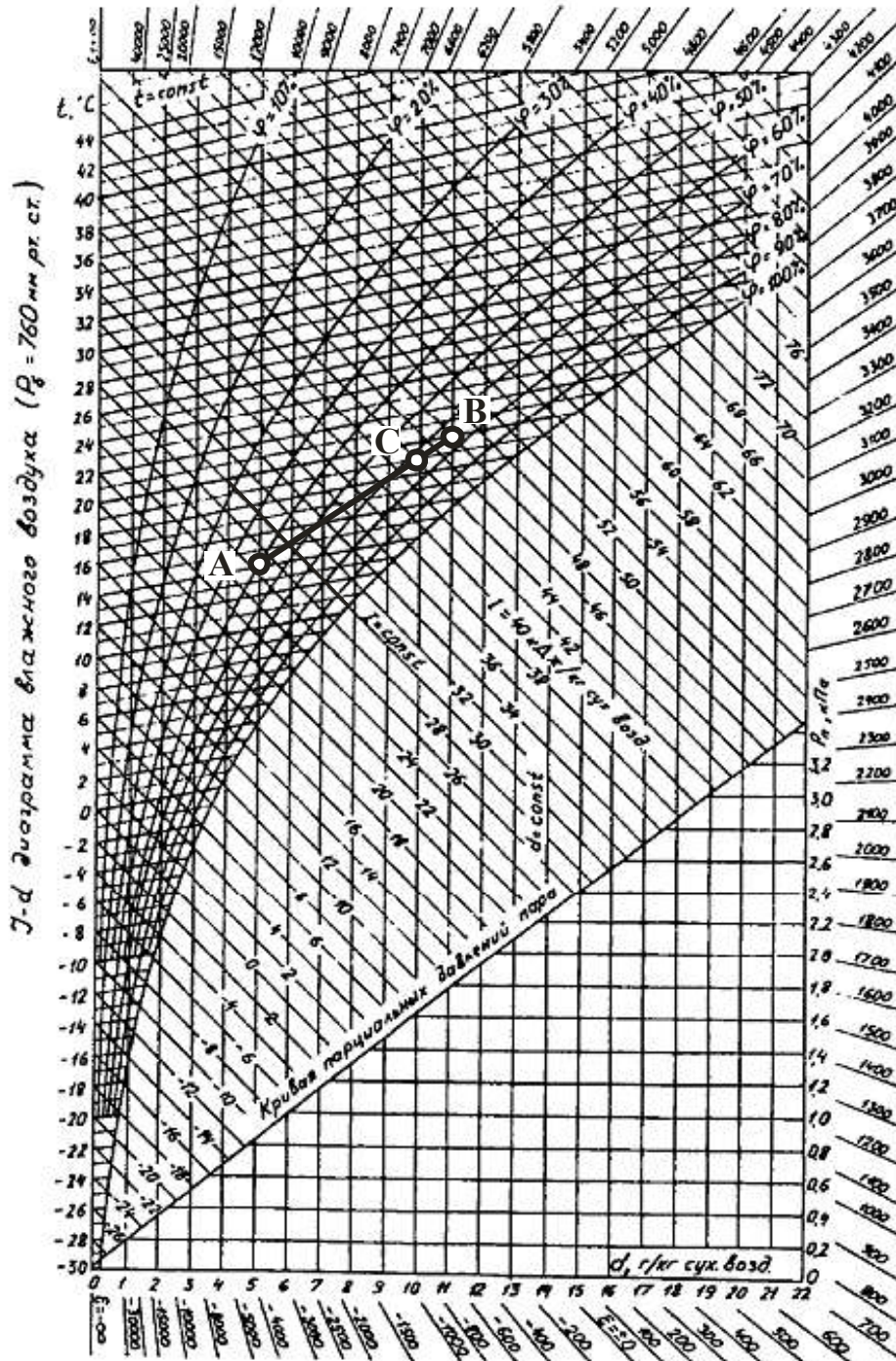


Рис. 3.  $I$ - $d$  диаграмма влажного воздуха к задаче 3

По диаграмме находим начальную энтальпию этого воздуха

$$I_A \approx 27 \text{ кДж/кг.}$$

По  $I_B = 48$  кДж/кг и  $t_B = 20^\circ\text{C}$  находим на  $I$ - $d$  диаграмме точку, характеризующую состояние воздуха В.



Прямая линия АВ соответствует линии смешения двух потоков воздуха, а значит точка С, характеризующая смесь лежит на этой линии. Для нахождения положения точки С найдем энтальпию смеси.

Запишем уравнение теплового баланса смешения с учетом заданных количеств воздуха

$$1 \cdot I_A + 4 \cdot I_B = (1 + 4)I_{см}.$$

Решая уравнение, получим:

$$I_{см} = \frac{1 \cdot I_A + 4 \cdot I_B}{1 + 4} = \frac{1 \cdot 27 + 4 \cdot 48}{1 + 4} \cong 44 \text{ кДж/кг.}$$

На пересечении линии смешения АВ и линии постоянной энтальпии смеси  $I_{см} = 44$  кДж/кг находим точку С, характеризующую состояние смеси.

По диаграмме находим относительную влажность смеси

$$\varphi_{см} \cong 72\%.$$

### **Методические рекомендации по подготовке к лабораторным занятиям**

Ведущей целью лабораторных работ является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей). Содержанием лабораторных работ могут быть экспериментальная проверка формул, методик расчета, установление и подтверждение закономерностей, ознакомление с методиками проведения экспериментов, установление свойств веществ, их качественных и количественных характеристик, наблюдение развития явлений, процессов и др. В ходе выполнения заданий у студентов формируются практические умения и навыки обращения с различными приборами, установками, лабораторным оборудованием, аппаратурой, которые могут составлять часть профессиональной практической подготовки, а также исследовательские умения (наблюдать, сравнивать, анализировать, устанавливать зависимости, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследование, оформлять результаты).

Лабораторные работы могут носить репродуктивный, частично - поисковый и поисковый характер.

Работы, носящие репродуктивный характер, отличаются тем, что при их проведении студенты пользуются подробными инструкциями, в которых указаны: цель работы, пояснения (теория, основные характеристики), оборудование, аппаратура, материалы и их характеристики, порядок выполнения работы, таблицы, выводы (без формулировки), контрольные вопросы, учебная и специальная литература.

Работы, носящие частично - поисковый характер, отличаются тем, что при их проведении студенты не пользуются подробными инструкциями, им не дан порядок выполнения необходимых действий, и требуют от студентов самостоятельного подбора оборудования, выбора способов выполнения работы в инструктивной и справочной литературы и др.

Работы, носящие поисковый характер, характеризуются тем, что студенты должны решить новую для них проблему, опираясь на имеющиеся у них теоретические знания.

Формы организации студентов на лабораторных работах: фронтальная, групповая и индивидуальная.

При фронтальной форме организации занятий все студенты выполняют одновременно одну и ту же работу.

При групповой форме организации занятий одна и та же работа выполняется бригадами по 2 - 5 человек.

При индивидуальной форме организации занятий каждый студент выполняет индивидуальное задание.

Оформление письменного отчета по выполненной работе в соответствии с требованиями. Письменный отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать следующие сведения:

- название работы и сведения об авторе отчета (курс, имя, фамилия);
- цель работы и формулировка используемого метода анализа;
- описание выполнения лабораторных исследований или расчетов;
- список используемой литературы.

Оценки за выполнение лабораторных работ учитывается как показатель текущей успеваемости обучающегося.  
различной формы.

Лабораторная работа 1. Измерение параметров состояния влажного воздуха.

С помощью различных приборов (термометров, микроанометров, анемометров, психрометров) определяют параметры воздуха.

Целью настоящей работы является изучение свойств влажного воздуха и определение влажности воздуха, а также определение температуры «точки росы».

Для подготовки к работе необходимо изучить соответствующие разделы следующих литературных источников:

1. Тихомиров К.В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция, 1974. §19.
2. Гусев В.Н. Теплоснабжение и вентиляция, 1975, §30.

Теоретические основы.

Температура и связанная с ней влажность воздуха помещений, а также температура внутренней поверхности наружных ограждений имеет большое санитарно-гигиеническое значение.

Для обеспечения нормальной терморегуляции человек должен отдавать тепло в окружающую среду. Тепло, отдаваемое телом человека, передается в окружающую среду: теплопроводностью, конвекцией, мочеиспусканием и через испарение влаги с поверхности тела. Любой из способов связан с температурой и влажностью окружающего воздуха. А температура на внутренних поверхностях ограждений должна обеспечивать невыпадение конденсата (росы) на поверхностях. Таким образом, для удовлетворения санитарно-гигиенических требований необходимо обеспечить температурный и влажностный режим бытовых и общественных помещений согласно нормативных требований при проектировании систем отопления, вентиляции и установок кондиционирования воздуха.

Рассмотрим свойства воздуха.

Окружающий нас атмосферный воздух является смесью газов. Он практически всегда бывает влажным. Водяные пары могут находиться в воздухе как в перегретом, так и в насыщенном состоянии. Сухая часть воздуха обычно содержит 78% азота (по объему), около 21% кислорода и небольшое количество других газов. Содержание водяных паров в атмосферном воздухе определяется в основном его температурой. В большинстве случаев водяной пар в воздухе находится в перегретом состоянии, и такая пароводяная смесь может быть отнесена к идеальным газам подчиняющихся закону Дальтона: давление влажного воздуха (барометрическое давление для нашего случая) равно сумме парциальных давлений сухого воздуха и пара.

$$P_{\text{в}} = P_{\text{с.в}} + P_{\text{п}}$$

Если температура влажного воздуха  $t$  больше температуры насыщенного воздуха  $t_{\text{с}}$ , соответствующей парциальному давлению пара, то пар в таком воздухе не насыщает пространство и является перегретым, такая смесь сухого воздуха с перегретым паром называется насыщенным воздухом. Если понижать температуру насыщенного воздуха, то может наступить такой момент, когда температура пара  $t_{\text{п}}$ , равная температуре влажного воздуха  $t$  окажется равной также и температуре насыщения  $t_{\text{п}} = t = t_{\text{с}}$ , а  $P_{\text{п}} = P_{\text{с}}$ . В этом случае пар во влажном воздухе оказывается сухим насыщенным. При дальнейшем

охлаждении влажного воздуха пар начинает конденсироваться, т.е. будет наблюдаться образование тумана (выпадения росы).

Температура, равная температуре насыщения при парциальном давлении пара во влажном воздухе, называется температурой точки росы.

Основными характеристиками влажного воздуха являются следующие:

1. Относительная влажность воздуха  $\phi$ , которая определяет степень насыщения воздуха водяным паром:

$$\phi = \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{с}}} = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{с}}} \quad (2)$$

$\rho_{\text{п}}, \rho_{\text{с}}$  - плотность пара соответственно ненасыщенного и насыщенного воздуха при одной и той же температуре.

$P_{\text{п}}, P_{\text{с}}$  - парциальные давления пара в ненасыщенном и насыщенном воздухе при одной и той же температуре.

Для насыщенного воздуха  $\phi = 1$  и 100%, а для ненасыщенного влажного воздуха  $\phi < 1$ .

Относительную влажность определяют с помощью прибора, называемого психрометром. Психрометр состоит из двух термометров, один из которых обернут батистовой тканью для постоянного смачивания резервуара термометра водой. С поверхности резервуара термометра постоянно происходит испарение влаги. Интенсивность испарения зависит от влажности и температуры окружающего воздуха: чем меньше насыщен влагой воздух, тем интенсивнее испарение «мокрого» термометра и ниже его показания, так как на испарение расходуется тепло. По показаниям сухого и «мокрого» термометров с помощью  $I-d$ - диаграммы можно определить относительную влажность воздуха.

2. Абсолютная влажность  $D$ , которая определяет массу водяного пара содержащегося в 1 м<sup>3</sup> влажного воздуха. Однако, чаще используют для характеристики воздуха понятие влагосодержания.

3. Влагосодержание воздуха  $d$  – есть отношение массы водяного пара (в граммах) к единице массы сухого воздуха

$$d = \frac{G_{\text{п}}}{G_{\text{с.в}}} \cdot 1000 \frac{\text{г}}{\text{кг с.в.}} \quad (3)$$

Выразив массы пара и сухого воздуха через их молекулярные массы, парциальные давления и относительную влажность получим:

$$d = \frac{\mu_{\text{п}} P_{\text{п}}}{\mu_{\text{с.в}} P_{\text{с.в}}} \cdot 1000 = \frac{18,016 P_{\text{п}}}{28,95 P_{\text{с.в}}} \cdot 1000 = 622 \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{с}} - P_{\text{п}}} \quad (4)$$

$$\text{или } d = 622 \frac{\phi \cdot P_{\text{с}}}{P_{\text{с}} - \phi \cdot P_{\text{с}}} \quad (5)$$

4. Теплосодержание влажного воздуха (энтальпия)  $I$  – есть количество тепла, содержащееся во влажном воздухе отнесенное к единице массы сухого воздуха. Энтальпия влажного воздуха равна сумме энтальпий сухого воздуха и водяного пара, Дж/кг.с.в.

$$I = I_{\text{с.в.}} + I_{\text{п}} \\ I = 1,0005t + (2500 + 1,8t) \frac{d}{1000} \quad (6)$$

На основе уравнений 4,5 и 6 проф. Л.К.Рамзиным в 1918 году была составлена  $I-d$ - диаграмма, широко используемая для расчетов связанных с изменением состояния влажного воздуха. Диаграмма имеется в указанных ранее литературных источниках, а также имеется на лабораторном стенде. Фрагменты диаграммы приведены на рисунках ниже.

Она построена (для лучшего использования площади диаграммы) в косоугольной

системе координат.

По оси ординат отложены значения энтальпии  $I$ , по оси абсцисс, направленной под углом  $135^\circ$  к оси  $I$ , отложены значения влагосодержания  $d$  (рис.1). Для удобства значения влагосодержаний спроектировано на горизонтальную ось.

Поле диаграммы разбито линиями постоянных энтальпий  $I=const$  и влагосодержаний  $d=const$ . На него также нанесены линии постоянных значений температуры  $t=const$  и значений относительной влажности  $\varphi=const$ . В нижней части диаграммы расположена линия имеющая самостоятельную ось ординат. Она связывает в соответствии с выражением (4) влагосодержание  $d$ , с парциальным давлением пара. Ось ординат этого графика является шкала парциального давления водяного пара  $P_{\text{п}}$ .

Поле  $I$ - $d$ -диаграммы разделено линией  $\varphi = 100\%$  на две части. Выше этой линии расположена область ненасыщенного воздуха. Линия  $\varphi = 100\%$  соответствует состоянию воздуха, насыщенного водяными парами. Ниже этой линии – область перенасыщенного воздуха (область тумана).

Каждая точка в поле диаграммы соответствует определенному тепловлажностному состоянию воздуха. Положение точки определенному тепловлажностному состоянию воздуха. Положение точки определены по  $I$ - $d$ -диаграмме, как производные. Кроме того, можно определить температуру «точки росы»  $t_p$  и температура мокрого термометра  $t_m$ .

Температурой точки росы называется наинизшая температура до которой можно охладить воздух при сохранении его влагосодержания постоянным. Для получения этой температуры нужно на  $I$ - $d$ -диаграмме (рис.2) от точки (А) соответствующей данному состоянию воздуха (например  $t$  и  $\varphi$ ) опуститься по линии  $d=const$  до пересечения с линией  $\varphi=100\%$  (точка В)

Проходящая через точку пересечения (В) линия  $t=const$  будет соответствовать значению  $t_p$ .

Температура мокрого термометра равна температуре насыщенного водными парами воздуха при данной энтальпии. На  $I$ - $d$ -диаграмме температура  $t_m$  соответствует линия  $t=const$  проходящая через точку пересечения линии  $I=const$  заданного состояния (А) с линией  $\varphi=100\%$ . Точка (С) будет соответствовать значению -  $t_m$ .

Задание:

1. Определить температуру поверхности ограждающих конструкций помещения с помощью пирометра ELITECH П550.
2. С помощью психрометра определить температуры.
3. Сделать замеры ограждающих конструкций.
4. Определить радиационную температуру с помощью пирометра ELITECH П550.
5. Определить температуру помещения.
6. Сравнить температуры поверхности ограждающих конструкций с нормативными в зависимости от назначения помещения.
7. Сравнить фактические перепады температуры с нормативными.
8. Сделать вывод.



## i-d диаграмма влажного воздуха

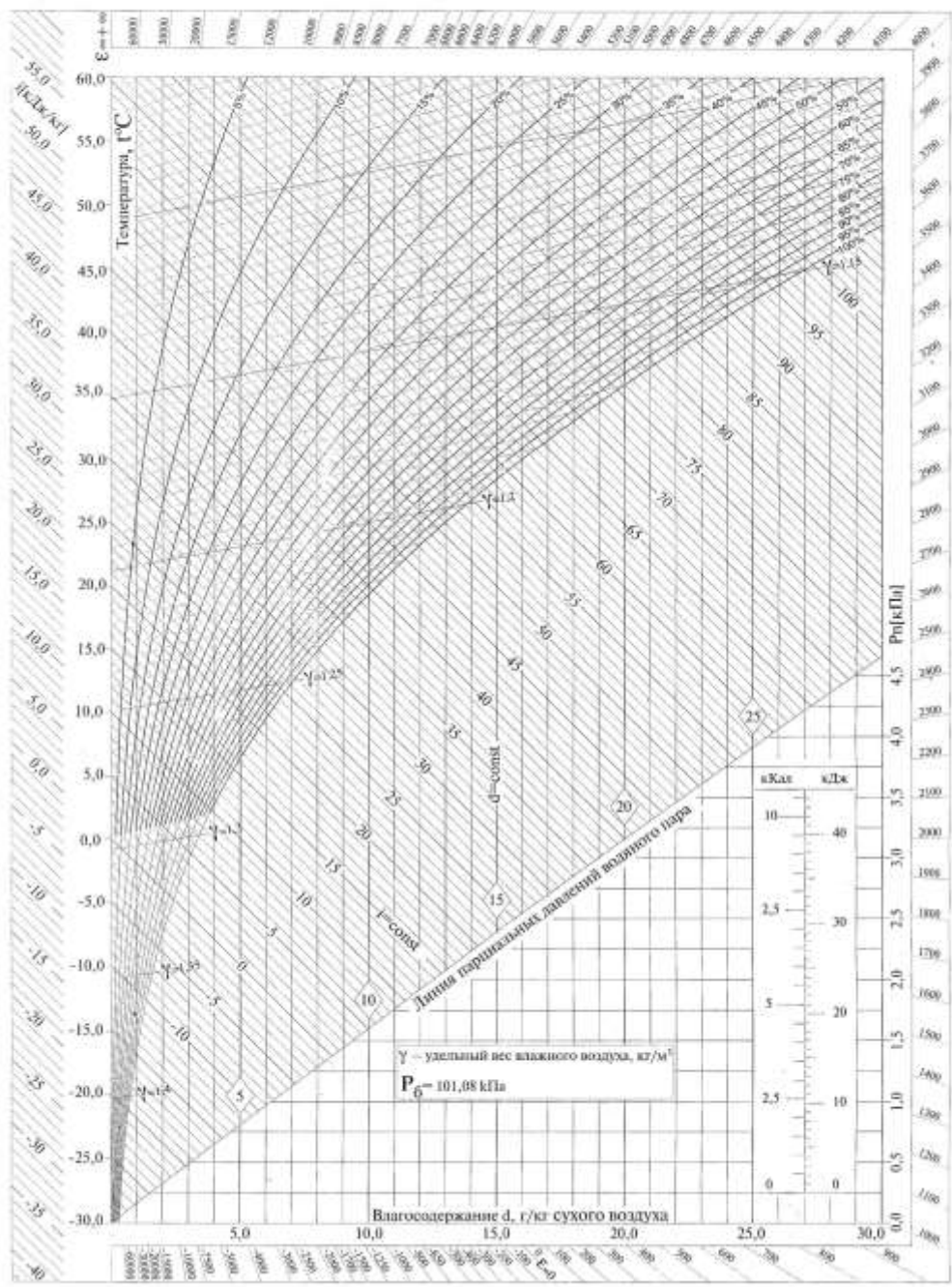


Рис 1.  $I$ - $d$ -диаграмма влажного воздуха

## Лабораторная работа №2

## Определение теплотехнических характеристик строительных материалов.

Цель работы: Определить распределение влаги и наличия зоны конденсации в толще ограждения при различных вариантах расположения слоя тепловой изоляции, выбрать оптимальный вариант.

## Теоретические основы.

Влага, содержащаяся в воздухе, может конденсироваться на поверхности и внутри наружной стены. Поверхностная конденсация происходит в случае соприкосновения теплого воздуха помещения с холодной поверхностью стены, при условии  $t_{\text{в}} < t_{\text{р}}$  (температура внутренней поверхности стены меньше температуры «точки росы»).

**В зимнее же время водяной пар внутреннего воздуха, диффундируя через наружные ограждения, может встретить слои ограждения, температуру которых будет ниже «точки росы». Возникает конденсация влаги уже в толще ограждения.**

**Избежать конденсации в толще удаётся далеко не всегда. Часто приходится ориентироваться на естественную просушку ограждения в теплое время года. Просушка наиболее эффективна в ограждениях нижних этажей, в которых даже при безветрии поступает большое количество свежего (сухого) воздуха, а также в ограждениях, непосредственно обдуваемых ветром или облучаемых солнцем. Для неблагоприятных случаев целесообразно проветривание помещений и специальная вентиляция.**

Конденсация влаги в толще ограждения происходит, если фактическая упругость водяных паров воздуха  $e$ , мм. вод. ст. достигает величины максимальной упругости водяных паров  $E$ , мм. вод. ст.

Для выявления наличия или отсутствия конденсации в толще стены необходимо выполнить следующее:

1. Построить график распределения температур в стене  $t=f(x)$
2. Построить линию распределения в стене максимальной упругости водяных паров  $E=\varphi(x)$
3. Построить линию распределения реальной упругости водяных паров  $e=\psi(x)$
4. Сравнить графики  $e=\psi(x)$  и  $E=\varphi(x)$  и выяснить наличие зоны конденсации (область между точками пересечения графиков).

**Для построения температурного графика  $t=f(x)$  необходимо определить температуры внутренней поверхности, в заданных сечениях слоёв, на границе слоёв и температуру наружной поверхности. Для определения температур в указанных точках необходимо знать расчётные соотношения, характеризующие теплообмен через стену.**

**Процесс теплообмена между внутренним и наружным воздухом через разделительную стенку называется теплопередачей.**

**Количество теплоты, теряемое через стенку, определяется с помощью уравнения теплопередачи:**

$$Q = kF(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{\sum_{i=1}^n \delta_i / \lambda + 1/\alpha_{\text{в}} + 1/\alpha_{\text{н}}} F \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup> °С);  $\alpha_{\text{в}}$ ,  $\alpha_{\text{н}}$  – коэффициент теплоотдачи соответственно внутренней и наружной поверхностей ограждения, Вт/(м<sup>2</sup> °С);  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала ограждения, Вт/м<sup>2</sup>град;  $t_{\text{в}}$ ,  $t_{\text{н}}$  – температура соответственно внутри и снаружи помещения, °С;  $F$  – поверхность ограждения, м<sup>2</sup>.

Процесс теплопередачи складывается на трёх процессах:

- 1) теплоотдачи от внутреннего воздуха и внутренней поверхности стены, при этом количество теплоты отдаваемое воздухом поверхности соответствует закону Ньютона-Рихмана:

$$Q = \alpha_{\text{в}}(t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}) \cdot F = \frac{t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}}{R_{\text{в}}} F, \quad (2)$$

где  $\tau_{\text{в}}$  – температура на внутренней поверхности стены, °С;  $R_{\text{в}}=1/\alpha_{\text{в}}$ , – сопротивление теплоотдаче с внутренней поверхности стены, м<sup>2</sup> °С/Вт.

- 2) теплопроводности стены, причем согласно закону Фурье стена проводит следующее количество теплоты:

$$Q = \frac{\tau_{\text{вн}} - \tau_{\text{нп}}}{\delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \dots + \delta_n/\lambda_n} F = \frac{\tau_{\text{вн}} - \tau_{\text{нп}}}{R_{\text{ст}}} F, \quad (3)$$

где  $\tau_{\text{нп}}$  – температура на наружной поверхности стены, °С;

$R_{\text{ст}} = \sum_{i=1}^n \delta_i / \lambda_i$  – сопротивление теплопроводности стены из  $n$  слоёв,  $(\text{м}^2 \text{°C}) / \text{Вт}$ .

3) теплоотдачи от наружной поверхности стены к воздуху

$$Q = \alpha_{\text{н}} \cdot (\tau_{\text{нп}} - t_{\text{н}}) \cdot F \quad (4)$$

При установившемся (стационарном) теплообмене тепловой поток остается неизменным. Одно и тоже количество теплоты отдаётся от воздуха к поверхности и передаётся через стенку.

$$(t_{\text{в}} - \delta_{\text{вп}}) = k(t_{\text{г}} - t_{\text{н}}) \quad (5)$$

Из уравнения 5 определяется температура на внутренней поверхности стены

$$\tau_{\text{вп}} = t_{\text{в}} - \frac{k(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\alpha_{\text{в}}} \quad (6)$$

Аналогично находится температура наружной поверхности

$$\tau_{\text{нп}} = t_{\text{н}} - \frac{k(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\alpha_{\text{н}}} \quad (7)$$

Сравнивая тепловой поток, воспринимаемой поверхностью и проводимый через первый слой, найдем температуру на границе 2-ух слоёв:

$$t_{\text{сл}} = \tau_{\text{вп}} - \frac{\alpha_{\text{в}}}{\lambda_1} (t_{\text{в}} - \tau_{\text{вп}}) \delta_1 \quad (8)$$

Приравнивая тепловой поток, через первый слой стены и часть этого слоя с толщиной  $x_1$ ,. Определяется температура в точке первого слоя:

$$t_{x_1} = \tau_{\text{вп}} - \frac{\tau_{\text{вп}} - t_{\text{сл}}}{\delta_1} x_1 \quad (9)$$

Температуру в сечении  $x_2$  второго слоя можно определить по следующему уравнению:

$$t_{x_2} = \tau_{\text{сл}} - \frac{t_{\text{сл}} - \tau_{\text{нп}}}{\delta_2} x_2 \quad (10)$$

Распределение водяных паров в толще стены.

**а) максимальная упругость водяных паров- существует однозначная зависимость максимального содержания водяного пара в воздухе от температуры**

$$\text{Если } t > 0, \text{ то } E(t) = e^{\frac{1513,89 + 23,59t}{236 + t}}$$

$$\text{Если } t < 0, \text{ то } E(t) = e^{\frac{1752 + 29,027t}{273 + t}}$$

(11)

$$R_{\text{пв}} = 0,0267, (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{рт.ст.}) / \text{г} ; R_{\text{пн}} = 0,0052, (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{рт.ст.}) / \text{г}$$

Следовательно, зная распределения температуре стене, можно определить максимальную упругость водяного пара в любом сечении.

**б) фактическая упругость водяных паров - действительное распределение упругости водяного пара зависит от влажности внутреннего и наружного воздуха и величины сопротивления паропроницанию внутренней и наружной воздуха и внутренних слоёв стены.**

**Значение действительной упругости водяного пара, которое было бы при отсутствии конденсации влаги в толще стены**

$$e_x = e_{\text{в}} - (R_{\text{вп}} + \sum_{\delta}^{x=1} R_n) \frac{e_{\text{в}} - e_{\text{н}}}{R_{\text{вп}}} \quad (12)$$

где  $e_{\text{в}} = \phi E_{\text{в}}$ -упругость водяного пара с внутренней стороны стены, мм рт. ст.;  $e_{\text{н}} = \phi E_{\text{н}}$ -упругость водяного пара с наружной стороны стены, мм рт. ст.;  $R_{\text{вп}}$  - сопротивление паропроницанию внутренней поверхности стены,  $(\text{м}^2 \text{ ч мм рт.ст.}) / \text{г}$ ,  $R_{\text{вп}} = 0,2, (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{рт.ст.}) / \text{г}$ ;

$R_{\text{нп}}$  - сопротивление паропроницанию наружной поверхности стены,  $(\text{м}^2 \text{ ч мм рт.ст.}) / \text{г}$ ,  $R_{\text{нп}} = 0,1, (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{рт.ст.}) / \text{г}$ ;  $R_{\text{оп}}$  –сопротивление паропроницанию

ограждения, которое определяется по формуле (13):

$$R_{\text{оп}} = R_{\text{вп}} + \Sigma R_i + R_{\text{нп}} \quad (13) \text{ где } \Sigma R_i - \text{сумма сопротивлений паропрооницанию внутренних слоёв стены от внутренней поверхности (м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{рт.ст.) / г.}$$

На рис.1- характерные варианты расположения линий  $e$  и  $E$  в однослойном ограждении (всегда  $e < E$ ), схема б)- о конденсации в толще, так как в отдельных сечениях упругость  $e > E$ .

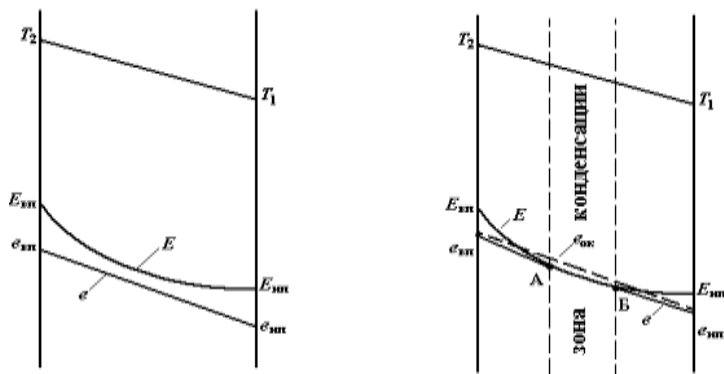


Рис.1. Варианты расположения

линий  $E$  и  $e$  в однослойном ограждении

Зона конденсации уменьшается между точками А и Б, получаемыми касательными, проведенными к кривой  $E$  из точек  $e_{\text{вп}}$  и  $e_{\text{нп}}$ . Действительная (уже с учетом конденсации) линия упругости представляет собой участок прямой  $e_{\text{вп}}-А$ , кривую  $А-Б$  и прямую  $Б - e_{\text{нп}}$ .

Содержание работы

**В работе задана двухслойная стена, необходимо исследовать влияние различных вариантов расположения слоя тепловой изоляции на возможность образования зоны конденсации влаги в стене. Для этого проводится расчёт для двух вариантов конструкции стены:**

**Реальный процесс распределения влаги в толще многослойного ограждения заменяется математическим моделированием его на ЭВМ, по формулам.**

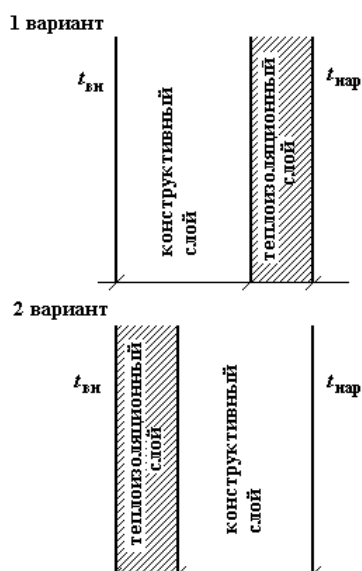


Рис.2.Схема расположения конструктивного и теплоизоляционного слоев в ограждающих конструкциях.

Задание.

**1.Выбрать материал и толщину каждого слоя стены.**

**2.По СнИП.3-79 выписать теплотехнические характеристики каждого материала  $\lambda, \mu$ ,**



3. Задать характеристики внутренней и наружной среды:  $t_{в}, t_{н}, \varphi_{в}, \varphi_{н}$ .
4. Записать расчетные значения параметров для каждого слоя:  $t$  – температуру на границе слоя;  
 $E$  – максимальную упругость слоя;  
 $e$  – фактическую упругость слоя.
5. Построить графики  $t = f(\delta)$ ,  $E = f(\delta)$ ,  $e = f(\delta)$  и исследовать возможность зоны конденсации.
6. Сделать выводы.  
 Внимание!!!
1. Расчет ведется только для двухслойной стенки.
2. Теплоизоляционный материал со значением  $\lambda < 0,33 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ \text{C})$ .

### Лабораторная работа №3. Определение температуры помещения. Определение радиационной температуры и температуры помещения.

Задание:

1. Определить с помощью психрометра температуру сухого термометра и температуру мокрого термометра. По данным показаниям определить влажность. Описать работу прибора.
  2. Определить с помощью термо-анемометра скорость и температуру воздуха в помещении. Дать описание прибора.
  3. Определить с помощью барометра атмосферное давление в помещении.
  4. С помощью шумомера ZSM 135 сделать замеры шума в помещении. Сделать несколько замеров. Определить погрешность измерений.
1. Как определяется радиационная температура.
  2. Как определяется температура помещения.
  3. Что такое температура точки росы.

### Лабораторная работа №4 Исследование процессов во влажном воздухе

Целью настоящей работы является изучение свойств влажного воздуха и определение влажности воздуха, а также определение температуры «точки росы».

Для подготовки к работе необходимо изучить соответствующие разделы следующих литературных источников:

3. Тихомиров К.В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция, 1974. §19.
4. Гусев В.Н. Теплоснабжение и вентиляция, 1975, §30.

#### Теоретические основы.

Температура и связанная с ней влажность воздуха помещений, а также температура внутренней поверхности наружных ограждений имеет большое санитарно-гигиеническое значение.

Для обеспечения нормальной терморегуляции человек должен отдавать тепло в окружающую среду. Тепло, отдаваемое телом человека, передается в окружающую среду: теплопроводностью, конвекцией, мочеиспусканием и через испарение влаги с поверхности тела. Любой из способов связан с температурой и влажностью окружающего воздуха. А температура на внутренних поверхностях ограждений должна обеспечивать невыпадение конденсата (росы) на поверхностях. Таким образом, для удовлетворения санитарно-гигиенических требований необходимо обеспечить температурный и влажностный режим бытовых и общественных помещений согласно нормативных требований при проектировании систем отопления, вентиляции и установок кондиционирования воздуха.

Рассмотрим свойства воздуха.

Окружающий нас атмосферный воздух является смесью газов. Он практически всегда бывает влажным. Водяные пары могут находиться в воздухе как в перегретом, так и в насыщенном состоянии. Сухая часть воздуха обычно содержит 78% азота (по объему), около 21% кислорода и небольшое количество других газов. Содержание водяных паров в атмосферном воздухе определяется в основном его температурой. В большинстве случаев водяной пар в воздухе находится в перегретом состоянии, и такая пароводяная смесь может быть отнесена к идеальным газам подчиняющихся закону Дальтона: давление влажного воздуха (барометрическое давление для нашего случая) равно сумме парциальных давлений сухого воздуха и пара.

$$P_{\text{в}} = P_{\text{с.в}} + P_{\text{п}}$$

Если температура влажного воздуха  $t$  больше температуры насыщенного воздуха  $t_{\text{с}}$ , соответствующей парциальному давлению пара, то пар в таком воздухе не насыщает пространство и является перегретым, такая смесь сухого воздуха с перегретым паром называется насыщенным воздухом. Если понижать температуру насыщенного воздуха, то может наступить такой момент, когда температура пара  $t_{\text{п}}$ , равная температуре влажного воздуха  $t$  окажется равной также и температуре насыщения  $t_{\text{п}} = t = t_{\text{с}}$ , а  $P_{\text{п}} = P_{\text{с}}$ . В этом случае пар во влажном воздухе оказывается сухим насыщенным. При дальнейшем охлаждении влажного воздуха пар начинает конденсироваться, т.е. будет наблюдаться образование тумана (выпадения росы).

Температура, равная температуре насыщения при парциальном давлении пара во влажном воздухе, называется температурой точки росы.

Основными характеристиками влажного воздуха являются следующие:

2. Относительная влажность воздуха  $\phi$ , которая определяет степень насыщения воздуха водяным паром:

$$\phi = \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{с}}} = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{с}}} \quad (2)$$

$\rho_{\text{п}}, \rho_{\text{с}}$  - плотность пара соответственно ненасыщенного и насыщенного воздуха при одной и той же температуре.

$P_{\text{п}}, P_{\text{с}}$  - парциальные давления пара в ненасыщенном и насыщенном воздухе при одной и той же температуре.

Для насыщенного воздуха  $\phi = 1$  и 100%, а для ненасыщенного влажного воздуха  $\phi < 1$ .

Относительную влажность определяют с помощью прибора, называемого психрометром. Психрометр состоит из двух термометров, один из которых обернут батиновой тканью для постоянного смачивания резервуара термометра водой. С поверхности резервуара термометра постоянно происходит испарение влаги. Интенсивность испарения зависит от влажности и температуры окружающего воздуха: чем меньше насыщен влагой воздух, тем интенсивнее испарение «мокрого» термометра и ниже его показания, так как на испарение расходуется тепло. По показаниям сухого и «мокрого» термометров с помощью  $I-d$ - диаграммы можно определить относительную влажность воздуха.

2. Абсолютная влажность  $D$ , которая определяет массу водяного пара содержащегося в 1 м<sup>3</sup> влажного воздуха. Однако, чаще используют для характеристики воздуха понятие влагосодержания.

3. Влагосодержание воздуха  $d$  – есть отношение массы водяного пара (в граммах) к единице массы сухого воздуха

$$d = \frac{G_{\text{п}}}{G_{\text{с.в}}} \cdot 1000 \frac{\text{г}}{\text{кг с.в.}} \quad (3)$$

Выразив массы пара и сухого воздуха через их молекулярные массы, парциальные давления и относительную влажность получим:

$$d = \frac{\mu_{\text{п}} P_{\text{п}}}{\mu_{\text{с.в}} P_{\text{с.в}}} \cdot 1000 = \frac{18,016 P_{\text{п}}}{28,95 P_{\text{св}}} \cdot 1000 = 622 \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{с}} - P_{\text{п}}} \quad (4)$$

$$\text{или } d = 622 \frac{\varphi \cdot P_{\text{с}}}{P_{\text{с}} - \varphi \cdot P_{\text{с}}} \quad (5)$$

4. Теплосодержание влажного воздуха (энтальпия)  $I$  – есть количество тепла, содержащееся во влажном воздухе отнесенное к единице массы сухого воздуха. Энтальпия влажного воздуха равна сумме энтальпий сухого воздуха и водяного пара, Дж/кг.с.в.

$$I = I_{\text{с.в.}} + I_{\text{п}}$$

$$I = 1,0005t + (2500 + 1,8t) \frac{d}{1000} \quad (6)$$

На основе уравнений 4,5 и 6 проф. Л.К.Рамзиным в 1918 году была составлена  $I$ - $d$ -диаграмма, широко используемая для расчетов связанных с изменением состояния влажного воздуха. Диаграмма имеется в указанных ранее литературных источниках, а также имеется на лабораторном стенде. Фрагменты диаграммы приведены на рисунках ниже.

Она построена (для лучшего использования площади диаграммы) в косоугольной системе координат.

По оси ординат отложены значения энтальпии  $I$ , по оси абсцисс, направленной под углом  $135^\circ$  к оси  $I$ , отложены значения влагосодержания  $d$  (рис.1). Для удобства значения влагосодержаний спроектировано на горизонтальную ось.

Поле диаграммы разбито линиями постоянных энтальпий  $I = \text{const}$  и влагосодержаний  $d = \text{const}$ . На него также нанесены линии постоянных значений температуры  $t = \text{const}$  и значений относительной влажности  $\varphi = \text{const}$ . В нижней части диаграммы расположена линия имеющая самостоятельную ось ординат. Она связывает в соответствии с выражением (4) влагосодержание  $d$ , с парциальным давлением пара. Ось ординат этого графика является шкала парциального давления водяного пара  $P_{\text{п}}$ .

Поле  $I$ - $d$ -диаграммы разделено линией  $\varphi = 100\%$  на две части. Выше этой линии расположена область ненасыщенного воздуха. Линия  $\varphi = 100\%$  соответствует состоянию воздуха, насыщенного водяными парами. Ниже этой линии – область перенасыщенного воздуха (область тумана).

Каждая точка в поле диаграммы соответствует определенному тепловлажностному состоянию воздуха. Положение точки определенному тепловлажностному состоянию воздуха. Положение точки определены по  $I$ - $d$ -диаграмме, как производные. Кроме того, можно определить температуру «точки росы»  $t_{\text{р}}$  и температура мокрого термометра  $t_{\text{м}}$ .

Температурой точки росы называется наинизшая температура до которой можно охладить воздух при сохранении его влагосодержания постоянным. Для получения этой температуры нужно на  $I$ - $d$ -диаграмме (рис.2) от точки (А) соответствующей данному состоянию воздуха (например  $t$  и  $\varphi$ ) опуститься по линии  $d = \text{const}$  до пересечения с линией  $\varphi = 100\%$  (точка В)

Проходящая через точку пересечения (В) линия  $t = \text{const}$  будет соответствовать значению  $t_{\text{р}}$ .

Температура мокрого термометра равна температуре насыщенного водными парами воздуха при данной энтальпии. На  $I$ - $d$ -диаграмме температура  $t_{\text{м}}$  соответствует линия  $t = \text{const}$  проходящая через точку пересечения линии  $I = \text{const}$  заданного состояния (А) с линией  $\varphi = 100\%$ . Точка (С) будет соответствовать значению  $t_{\text{м}}$ .

#### Задание

В настоящей работе по показаниям сухого и мокрого термометров  $t$  и  $t_{\text{м}}$  необходимо определить относительную влажность воздуха в лаборатории, его влагосодержание,

энтальпию и температуру точки росы  $t_p$ , используя при этом  $I$ - $d$ -диаграмму.

Для определения на диаграмме точки (A), характеризующее свойства влажного воздуха необходимо:

- 1) нанести на диаграмму точку (C) соответствующую значению  $t_m$ ; для этого найдем линию  $t=const$ , где  $t=t_m$ ; пересечение изотермы с линией  $\varphi=100\%$  дает искомую точку (C). (Рис.2)
- 2) состояние в  $I=const$ , исходящей из точки (C), с изотермой  $t=const$ , где  $t$  берется по показанию сухого термометра.

Для определения  $t_p$  находим точку (B). Она лежит на пересечении линий  $d=const$ , исходящей из точки (A), и линии  $\varphi=100\%$ . Изотерма  $t=const$ , проходящая через точку (B) даст нам значение  $t_p$ .

После определения всех параметров сделать выводы.

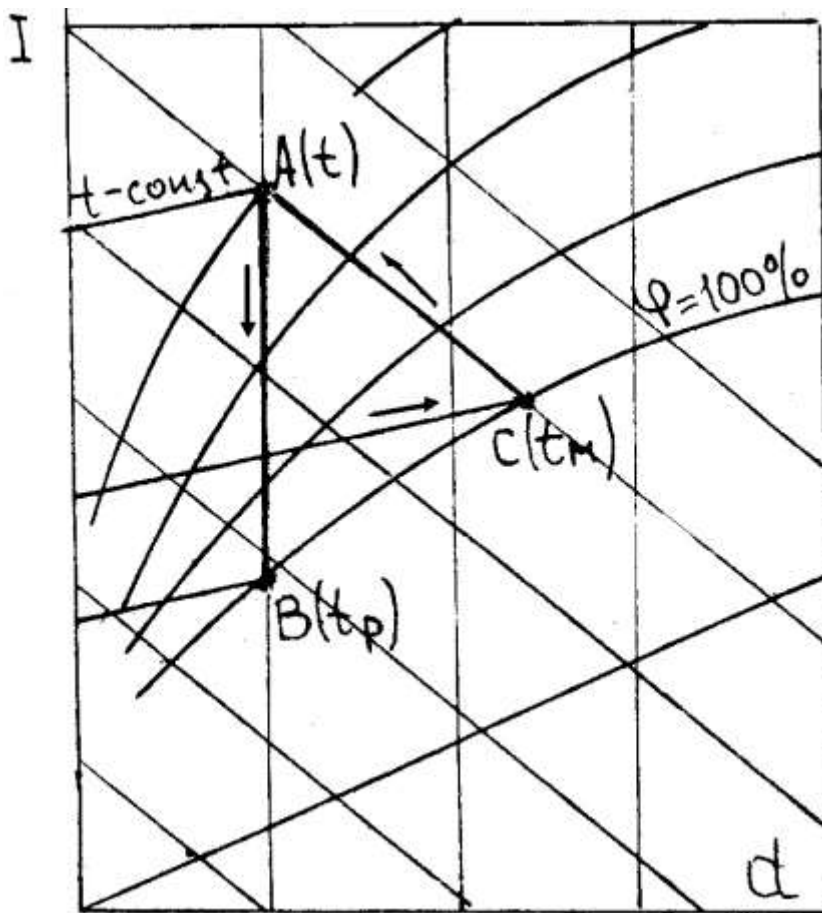


Рис. 2 Процесс обработки  $I$ - $d$ -диаграммы



## i-d диаграмма влажного воздуха

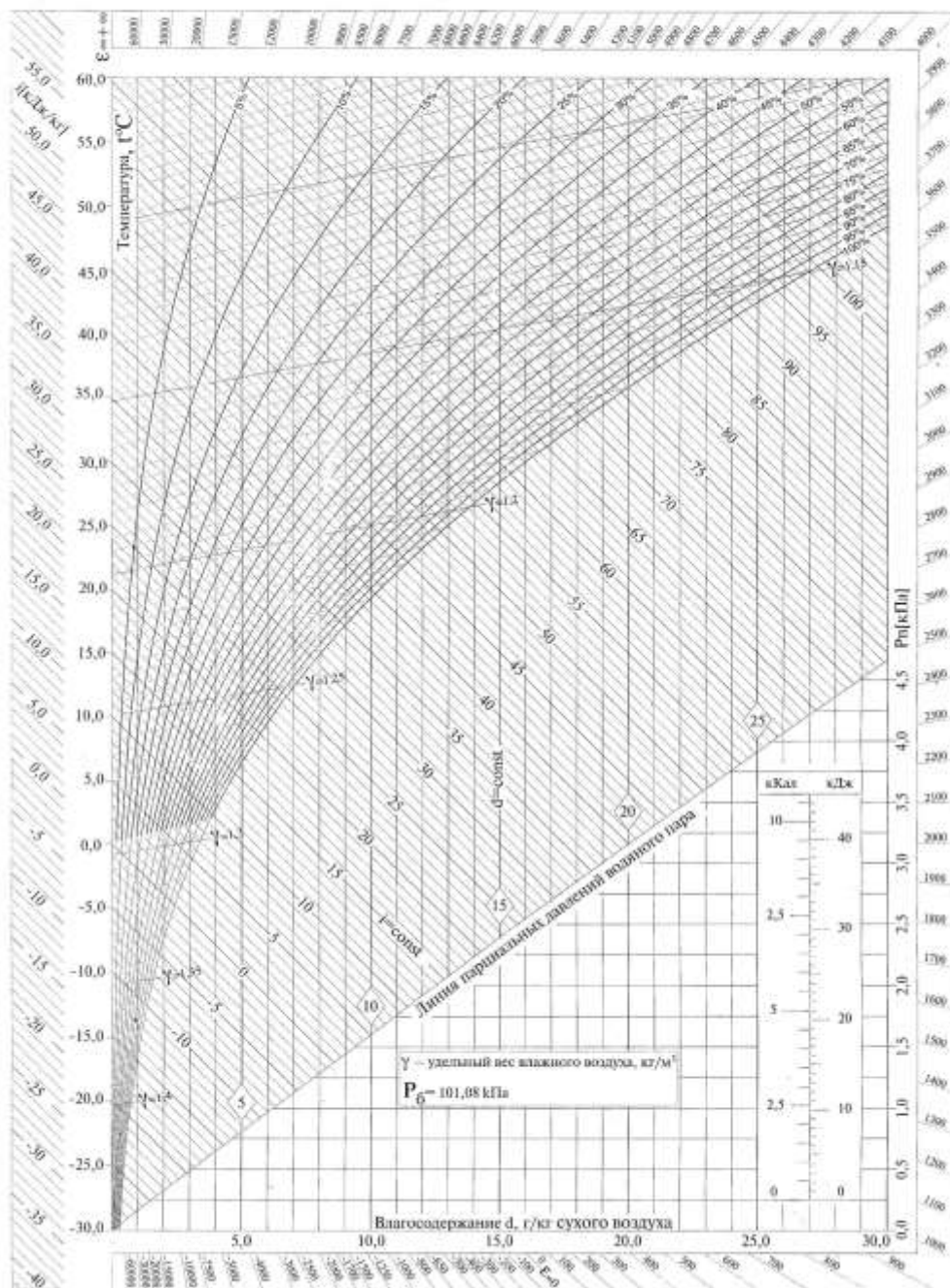


Рис 1.  $I-d$ -диаграмма влажного воздуха