

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ)

Факультет инженерно-экологических систем и сооружений

КАФЕДРА ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Обеспечение параметров микроклимата в помещениях зданий

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине
«Теплогазоснабжение и вентиляция» для студентов направления
270800.62 Строительство с профилем специальных дисциплин
Промышленное и гражданское строительство

Нижегород

2012

УДК 697 (075.8)

Обеспечение параметров микроклимата в помещениях зданий: Методические указания к практическим занятиям по дисциплине Теплогазоснабжение и вентиляция для студентов направления 270800.62 Строительство с профилем специальных дисциплин Промышленное и гражданское строительство – Н. Новгород: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, 2012. – 44с.

Составители: Пузиков Н.Т., Семикова Е.Н., Соколов М.М.

В методических указаниях приведены: основные понятия влажного воздуха и его характеристик, методы и приборы для их определения, порядок работы с *I-d* диаграммой, порядок расчета значений характеристик влажного воздуха; алгоритм подбора калориферов для систем приточной механической вентиляции; методика определения теплотехнических характеристик наружных ограждений здания – распределения температур в толще ограждения, температуры внутренней поверхности наружного угла и паропроницания ограждения.

Содержание

1. Определение характеристик влажного воздуха. Практическая работа №1	4
1.1. Основные характеристики влажного воздуха	4
1.2. Порядок выполнения работы.....	17
2. Подбор калорифера для системы вентиляции. Практическая работа №2	19
2.1. Типы калориферов и их технические характеристики.....	19
2.2. Порядок расчета калориферов	24
3. Определение теплотехнических характеристик наружного	27
ограждения здания	27
3.1. Определение значений температур в характерных сечениях	
наружного ограждения. Практическая работа №3	27
3.2. Определение температуры внутренней поверхности наружного	
угла ограждения. Практическая работа №4	31
3.3. Определение паропроницаемости наружной стены.	
Практическая работа №5	33
Список использованных источников	40

1. Определение характеристик влажного воздуха.

Практическая работа №1

Введение

В термодинамике атмосферный воздух рассматривают как смесь, состоящую из сухого воздуха и водяного пара, который может быть в перегретом, насыщенном или в сконденсированном взвешенном состоянии в виде капельного или ледяного (при отрицательной температуре) тумана.

Количество водяного пара во влажном воздухе изменяется от нуля (сухой воздух) до некоторого максимального значения, которое зависит от температуры и барометрического давления [1].

Состояние влажного воздуха изучается обычно при решении задач, связанных с расчетами вентиляции, систем кондиционирования воздуха, процессов горения топлива, паропроницаемости ограждающих конструкций зданий и др.

1.1. Основные характеристики влажного воздуха

Атмосферный воздух, состоящий из кислорода, азота, углекислого газа, небольшого количества инертных газов (аргон, неон, гелий и др.), всегда содержит некоторое количество водяного пара, что обуславливает его влажность.

Механическая смесь сухого воздуха с водяным паром называется **влажным воздухом**. Водяной пар в воздухе находится в перегретом состоянии. **Ненасыщенный влажный воздух** представляет собой смесь сухого воздуха и перегретого пара. Если такой воздух охладить, то при некоторой температуре водяной пар станет насыщенным. В этом случае воздух содержит максимально возможное количество водяного пара. Смесь сухого воздуха с насыщенным водяным паром называется **насыщенным влажным воздухом**. Температура, при которой происходит насыщение называется температурой точки росы t_p . Понижение температуры воздуха

ниже t_p вызывает конденсацию водяного пара (образуется туман, выпадает роса) [1,2,3].

К характеристикам влажного воздуха относятся: температура, давление, плотность, абсолютная и относительная влажность, молекулярная масса, газовая постоянная, удельный объем, влагосодержание, теплоемкость, энтальпия.

1.1.1. Температура

Измерение температуры основывается на явлении теплообмена между измерителем температуры и телом. О температуре тела можно судить по измерению какого-либо физического свойства рабочего вещества – измерителя температуры при его нагревании или охлаждении. Единицей температуры является Кельвин (К) или градус Цельсия ($^{\circ}\text{C}$). Между температурами t ($^{\circ}\text{C}$) и T (К) установлено соотношение:

$$t = T - 273,15, \quad (1)$$

Для измерения температур применяют жидкостные термоэлектрические, оптические и радиационные термометры.

Термометры стеклянные жидкостные. Стеклянные жидкостные термометры получили широкое распространение в практике измерения температуры вследствие достаточно высокой точности и простоты измерений. Для заполнения термометров в зависимости от области их применения используют ртуть, толуол, этиловый спирт. Принцип работы жидкостных стеклянных термометров основан на разности объемных температурных коэффициентов расширения термометрической жидкости и стекла, из которого сделана оболочка.

Наибольшее распространение получили ртутные стеклянные термометры, которые имеют большой диапазон измерения температур (от 30 до 500°C) и наибольшую точность показаний.

Термометры сопротивления. Измерение температуры при помощи термометров сопротивления основано на измерении электрического сопротивления вещества при измерении его температуры. Зная зависимость

этого изменения, можно по электрическому сопротивлению тела найти его температуру.

Комплект прибора состоит из термометра сопротивления – тепловоспринимающего элемента (первичный прибор) и электроизмерительного прибора, измеряющего электрическое сопротивление термометра (вторичный прибор).

Термометры сопротивления находят широкое применение в практике измерения температур в диапазоне от 260°С до 750°С, а в отдельных случаях и до 1000°С.

Наиболее подходящим материалом изготовления термометров сопротивления являются чистые материалы (Pt, Cu, Ni), т. к. чистые материалы обладают достаточно высоким значением температурного коэффициента электрического сопротивления и хорошей воспроизводимостью термоэлектрических свойств.

Отечественной промышленностью термометры сопротивления выпускаются с чувствительными элементами из платиновой проволоки (ТСП) с пределами измерения от 200°С до 650°С и из медной проволоки (ТСМ) с пределами измерения от 50°С до 180°С.

В качестве термочувствительных элементов используются также полупроводниковые сопротивления (термисторы). Они выпускаются различных типов: КМТ-.1; ММТ-1; ТОС-М и т. д.

Термоэлектрические измерители температуры (термопары). Термопары применяются для измерения температур в диапазоне от 22°С до 2500°С. В основу термоэлектрического метода измерения температуры положен эффект Зеебека, суть которого заключается в том, что в разомкнутой цепи, составленной из двух различных и термоэлектрических однородных проводников, спаи которых помещены в среды с различными температурами, возникает термо-Э.Д.С., пропорциональная разности температур спаев.

Для изготовления стандартных термопар получили распространение следующие материалы: платина, платинородий, хромель, алюмель, копель. Кроме того, выпускают термоэлектроды из меди, железа, константана, вольфрама, молибдена, рения и др. материалов и сплавов.

Наиболее распространенные термопары: хромель-копелевые (ТХК), хромель-алюмелевые (ТХА), платинородий-платиновые (ТПП), платинородий-платинородиевые (ТПР). Термопары ТХК имеют наибольшую термо-Э.Д.С. [$E(100^{\circ}\text{C}, 0^{\circ}\text{C}) = 6,88 \text{ мВ}$] по сравнению с другими термоэлектрическими измерителями температуры, диапазон измерений от 200°C до 800°C .

Хромель-алюмелевые термопары имеют более высокий температурный предел (1000°C), но меньшую термо-Э.Д.С.

Термопары ТПП применяются для измерения температур от 20°C до 1600°C в окислительной и нейтральной средах, а термопары ТПР работают в интервале температур $300...1800^{\circ}\text{C}$.

Измерение термо-Э.Д.С. может производиться милливольтметрами и потенциометрами. В зависимости от назначения милливольтметры подразделяются на переносные и стационарные. Компенсационный метод измерения термо-Э.Д.С. с помощью потенциометра основан на уравнивании измеряемой термо-Э.Д.С. известным напряжением, создаваемым источником постоянного тока. В отличие от измерения милливольтметром, ток в цепи потенциометра отсутствует, а следовательно, и отсутствует искажение измеряемой термо-Э.Д.С.

Для измерения термо-Э.Д.С. в лабораторных условиях широкое распространение получили переносные потенциометры ПП, а в промышленных условиях – автоматические самопишущие потенциометры типа КСП, в которых регулирование компенсирующего напряжения производится автоматически.

Приборы типа КСП выпускаются одноточечными и многоточечными (до 12 точек) с ленточной диаграммой. Они могут выполняться также с дополнительными устройствами для дистанционной передачи информации.

1.1.2. Давление

В теплотехнической практике различают абсолютное, избыточное и вакуумметрическое давление[2]. Единицей измерения давления является Паскаль, $1\text{Па} = 1\text{Н/м}^2$.

Полное или абсолютное давление, Па, определяется по формулам:

$$P = P_6 - P_{\text{и}}; P = P_6 - P_{\text{в}}, \quad (2)$$

где P_6 – барометрическое давление;

$P_{\text{и}}$ – избыточное давление;

$P_{\text{в}}$ – вакуумметрическое давление.

Барометрическое (атмосферное) давление измеряют при помощи прибора – барометра. Прибор для измерения избыточного (сверх атмосферного) давления называют манометром. Разрежение или вакуум измеряют вакуумметром, небольшое разрежение – тягомером.

Приборы, используемые для измерения давлений, подразделяются на три группы:

1) приборы, в которых измеряемое давление уравнивается какой-либо силой (жидкостные, поршневые и др. манометры);

2) приборы, определяющие величину давления по косвенным явлениям электрического и теплового характера (пьезоэлектрические, емкостные и др.);

3) приборы, определяющие величину давления по упругой деформации специальной детали в них (мембраны, трубчатой пружины, сильфона).

Для измерения небольших избыточных давлений и разрежений используют U-образные жидкостные манометры, рис. 1.

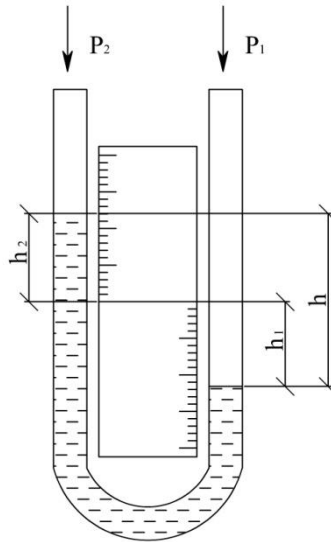


Рис.1. U-образный манометр

В качестве рабочей жидкости применяются вода, керосин, ртуть. Внутренний диаметр стеклянной трубки должен быть не менее 8...10 мм, т.к. при меньшем диаметре начинают проявляться капиллярные свойства жидкости.

Избыточное давление жидкости, измеряемое с помощью U-образного манометра, подсчитывается по формуле, Па:

$$P_H = g \cdot h \cdot (\gamma - \gamma_c), \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²;

h – разность уровней жидкости, м;

γ – плотность рабочей жидкости, кг/м³;

γ_c – плотность среды над рабочей жидкостью, кг/м³.

Для измерения малых перепадов давления используют микроманометры, рис. 2.

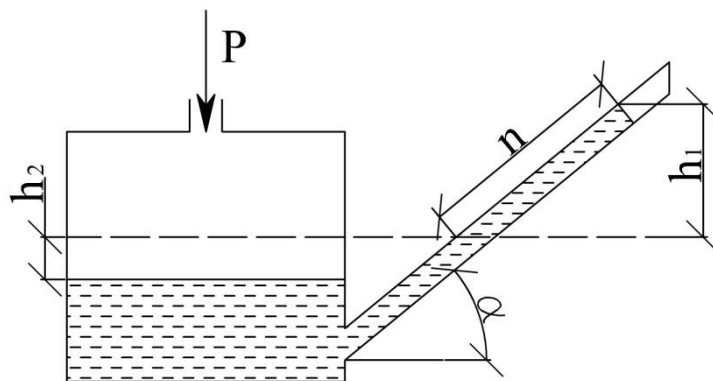


Рис.2. Микроманометр с наклонной трубкой

В качестве рабочей жидкости используют этиловый спирт. Разность высот уровней рабочей жидкости уравнивает измеряемое давление и, согласно рис.2, равна:

$$h = h_1 + h_2 = n \cdot \sin\alpha + h_2, \quad (4)$$

Если F_1 и F_2 – площади сечений наклонной трубки и сосуда, соответственно, то вследствие равенства объемов $n \cdot F_1 = h_2 \cdot F_2$, можно считать, что $h = n(\sin\alpha + F_1/F_2)$. Следовательно, избыточное давление, Па, измеряемое микроманометром, можно определить по формуле:

$$P_n = g \cdot h \cdot \gamma = n \cdot g \cdot \gamma \cdot \left(\sin\alpha + \frac{F_1}{F_2}\right) \quad (5)$$

Если измерять давление в кгс/м², приравнять местное ускорение свободного падения к нормальному $g_0 = 9,8 \text{ м/с}^2$ и принять $F_1/F_2 = 0$, что имеет место при $F_1/F_2 > 1/400$, тогда $\frac{P_n}{\Pi^n}$, где $\Pi^n = \rho \cdot \sin\alpha$ – постоянная прибора.

Промышленность выпускает манометры типа ММН с переменным углом наклона измерительной трубки с пятью диапазонами измерения давления.

В практике измерения давления в диапазоне от 50 Па до 1 МПа широкое распространение получили приборы, принцип действия которых основан на использовании упругой деформации чувствительных элементов, воспринимающих давление среды. На рис. 3 показано устройство манометра с трубчатой пружиной Бурдена.

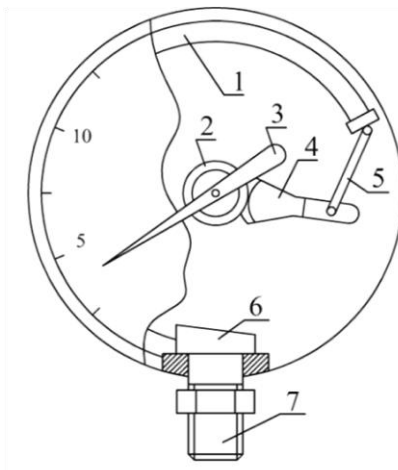


Рис.3. Манометр с трубчатой пружиной

Один конец трубчатой пружины 1 закреплен в держателе, который снабжен штуцером 7 для соединения с объектом измерения давления. Запаянный конец пружины соединен поводком 5 с передаточным механизмом, состоящим из сектора 4 и зубчатого колеса 2, на оси которого закреплена стрелка манометра 3. Под влиянием избыточного давления трубчатая пружина деформируется и через передающий механизм поворачивает стрелку манометра, угол поворота стрелки практически пропорционален измеряемому давлению.

Вакуумметры и мановакуумметры с одновитковой трубчатой пружиной имеют аналогичную конструкцию.

Для измерения перепадов давления используют дифференциальные мембранные манометры. Промышленность выпускает различные типы дифференциальных мембранных манометров, например, типа ДМ, ДМ-Э. Дифференциальные манометры типа ДМ широко используются в комплекте с сужающими устройствами в качестве расходомеров. Дифференциальные манометры мембранные, электрические, компенсационные используются в комплекте с милливольтметрами, а также с другими устройствами в информационно-измерительных системах.

Для определения состояния пара, содержащегося в воздухе, нужно знать температуру и парциальное давление этого пара. Температура пара в воздухе совпадает с температурой влажного воздуха и определяется термометром.

Давление влажного воздуха, согласно закону Дальтона определяется по формуле:

$$P_6 = P_B + P_{II} \quad (6)$$

где P_6 —барометрическое давление, мм рт. ст., P_B и P_{II} — парциальное давление сухого воздуха и водяного пара, соответственно, мм. рт. ст.

Парциальное давление водяного пара это давление, которое имел бы водяной пар, находящийся во влажном газе, если бы он один занимал объем, равный объему этого влажного газа, при той же температуре, Па.

Для нахождения парциального давления пара можно использовать приборы – гигрометры.

По этим приборам определяют значение температуры точки росы, т.е. температуры, до которой можно охладить воздух при $p = \text{const}$, чтобы он стал насыщенным. Зная температуру точки росы t_p , по таблицам парциального давления водяного пара можно определить парциальное давление пара в воздухе как давление насыщения, соответствующее этой температуре. Наиболее распространен гигрометр Аллюарда и Грюве, в котором воздух охлаждается за счет испарения эфира, находящегося в сосуде с полированной поверхностью. Появление росы на этой поверхности свидетельствует о достижении температуры t_p . Парциальное давление водяного пара в воздухе можно определить также по $H-d$ ($I-d$) диаграмме влажного воздуха.

1.1.3. Влажность

Абсолютной влажностью воздуха $\rho_{\text{п}}$ называется количество водяных паров, находящихся в 1 м^3 влажного воздуха. Значение абсолютной влажности определяется, как значение плотности пара при его парциальном давлении и температуре воздуха по следующей зависимости:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{P_{\text{п}}}{R_{\text{п}} \cdot T}, \quad (7)$$

где $\rho_{\text{п}}$, $P_{\text{п}}$, $R_{\text{п}}$ – плотность, кг/м^3 , парциальное давление, Па и газовая постоянная пара, $\text{Дж/кг} \cdot \text{К}$, соответственно, а T – температура влажного воздуха, К.

Отношение абсолютной влажности ненасыщенного воздуха при данной температуре к абсолютной влажности насыщенного воздуха при той же температуре называется относительной влажностью и обозначается φ . Относительная влажность измеряется в долях или в процентах. Значение относительной влажности, в долях определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{н}}}, \quad (8)$$

где $\rho_{\text{п}}$ – абсолютная влажность ненасыщенного воздуха, кг/м^3 ;

ρ_n – абсолютная влажность насыщенного воздуха, кг/м³.

При постоянной температуре давление газа изменяется пропорционально плотности (закон Бойля-Мариотта), поэтому:

$$\varphi = \frac{\rho_n}{\rho_n} = \frac{P_n}{P_n}, \quad (9)$$

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

От относительной влажности воздуха зависит интенсивность испарения влаги с тела человека, находящегося в воздухе данной влажности. Нормальной для постоянного пребывания человека в помещении считается относительная влажность от 30% до 60%. При относительной влажности воздуха выше 60% испарение влаги с поверхности кожи человека затруднено, что неблагоприятно отражается на состоянии системы терморегуляции организма. Понижение относительной влажности ниже 30%, наоборот, вызывает усиленное испарение влаги с кожи и слизистых оболочек, заметное по появлению неприятного ощущения сухости во рту и в горле.

Относительную влажность воздуха определяют с помощью прибора, называемого психрометром.

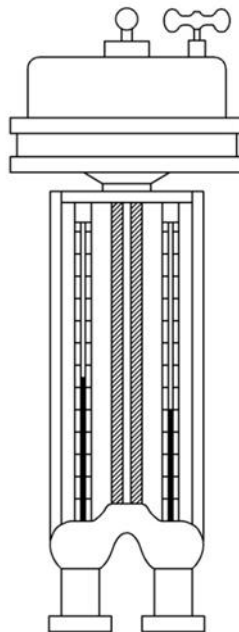


Рис.4. Аспирационный психрометр

Аспирационный психрометр Ассмана, рис. 4, состоит из двух одинаковых точно выверенных ртутных термометров, помещенных в специальную металлическую оправу. Ртутный баллон одного из них обернут марлей (или батистом) и смачивается. Этот термометр называют «смоченным» в отличие от второго, называемого «сухим».

Резервуары с ртутью окружены двойными никелированными гильзами, через которые с постоянной скоростью (около 2 м/с) просасывается воздух небольшим вентилятором, укрепленным в верхней части прибора. Чем меньше влажность воздуха, окружающего прибор, тем интенсивнее испаряется с мокрой поверхности вода и больше снижается температура на смоченном термометре.

Отсчеты по термометрам производят по истечении 5 мин. работы вентилятора, после чего в результате теплообмена на смоченном термометре устанавливается равновесная температура t_m , которая называется температурой мокрого термометра. Теплообмен между воздухом и водой происходит при постоянной энтальпии теплообменивающихся сред. Температура мокрого термометра есть предельная температура, которую принимает воздух в процессе насыщения водяными парами при условии сохранения постоянной энтальпии.

1.1.4. Влагосодержание

Влагосодержанием d влажного воздуха называется отношение массы водяного пара $m_{\text{п}}$, содержащегося в смеси, к массе сухого воздуха, $m_{\text{в}}[1]$,

$$d = \frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{в}}} = \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{н}}}, \text{кг/кг}_{\text{с.в.}} \quad (10)$$

и определяется, кг/кг_{с.в.}, по формуле:

$$d = 0,622 \cdot \left[\frac{P_{\text{п}}}{(P_6 - P_{\text{п}})} \right] \quad (11)$$

1.1.4. Молекулярная масса

Молекулярная масса влажного воздуха, кг, определяется по формуле:

$$\mu = 28,95 - 10,93 \cdot \frac{P_{\text{п}}}{P_6} \quad (12)$$

1.1.5. Газовая постоянная воздуха

Газовая постоянная воздуха, Дж/(кг·К), определяется по формуле:

$$R = \frac{8314}{[28,95 - 10,93 \cdot \frac{P_{II}}{P_6}]} = \frac{8314}{\mu}. \quad (13)$$

1.1.6. Плотность воздуха

Плотность влажного воздуха, кг/м³ – количество вещества, заключенное в массу единицы объема [2], определяется по формуле:

$$\rho_{в} = \frac{P_6}{R \cdot T}. \quad (14)$$

1.1.7. Энтальпия воздуха

Энтальпия влажного воздуха это энергия, которая может быть преобразована в теплоту при определенных значениях температуры и давления воздуха [2]. Энтальпия влажного воздуха определяется как сумма энтальпий сухого воздуха и водяного пара. Энтальпия 1 кг сухого воздуха, выраженная в кДж, численно почти равна его температуре t , так как теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении равна 1,005 кДж/(кг·К). Следовательно, $I_{в} = c_p \cdot t = 1,005 \cdot t$, кДж/кг. Теплоемкость влажного воздуха равна $c_{п} = 2500 + 1,8068 \cdot t \cdot 10^{-3}$, кДж/кг_{с.в.}. Таким образом, зная температуру влажного воздуха, можно определить чему равна его энтальпия, кДж/кг:

$$I = 1,005 \cdot t + (2500 + 1,8068 \cdot t) \cdot \frac{d}{1000} \quad (15)$$

1.1.8. Удельная массовая теплоемкость

Теплоемкостью называется количество теплоты, которое нужно подвести к газу или отнять от него для изменения температуры газа на 1°С.

Удельная теплоемкость – отношение теплоты, полученной единицей количества вещества при бесконечно малом изменении его состояния, к изменению температуры [1].

Удельная массовая теплоемкость, кДж/(кг_{с.в.}·К) – теплоемкость влажного воздуха отнесенная к 1 кг сухого воздуха, определяется по формуле:

$$c_p = c_{в} + d \cdot c_{п}, \quad (16)$$

где $c_B = 1,005$ кДж/(кг_{с.в.}·К) – теплоемкость сухого воздуха;

$c_{II} = 1,8068$ кДж/(кг·К) – теплоемкость водяного пара.

1.1.9. Порядок работы с $I-d$ диаграммой

Если известны показания сухого t_c и мокрого t_m , термометров, то с помощью $H-d$, ($I-d$) диаграммы можно найти φ , а также значение всех остальных параметров, определяющих тепловлажностное состояние воздуха, рис. 5.

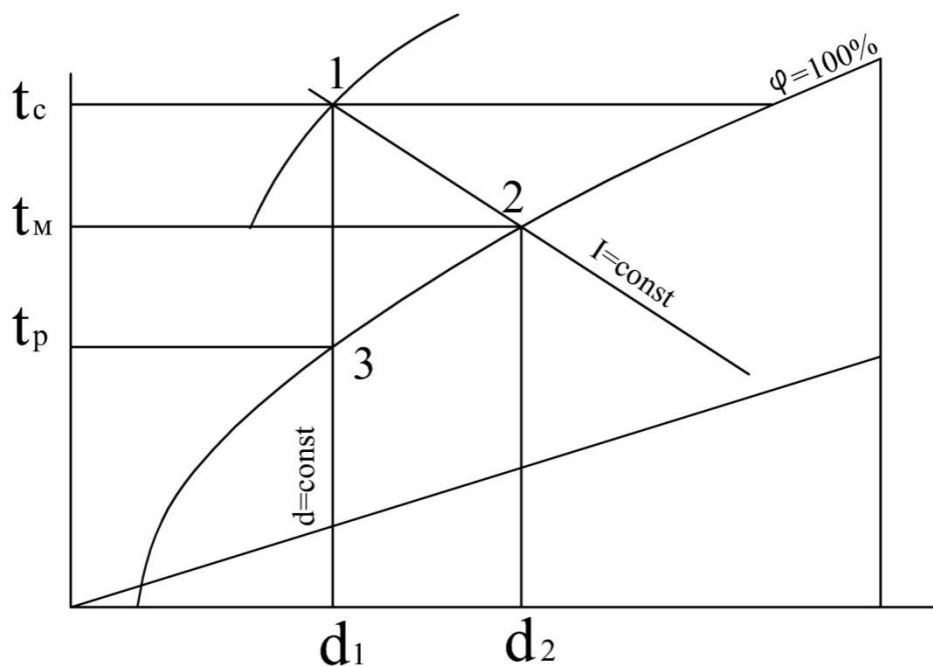


Рис.5 Определение температуры точки росы по $I-d$ диаграмме

Через точку **2**, лежащую на пересечении кривой, соответствующей относительной влажности $\varphi = 100\%$ и изотермы, соответствующей температуре мокрого термометра t_m , проводится линия энтальпии при $i = const$ до пересечения с изотермой, соответствующей температуре сухого термометра t_c . Полученная точка **1** определяет состояние воздуха, в том числе и его относительную влажность.

Если из точки **1** провести линию вертикально вниз (процесс охлаждения воздуха при постоянном влагосодержании $d = const$), то пересечение этой линии с кривой $\varphi = 100\%$ произойдет в точке **3**, определяющей температуру точки росы и соответствующей максимально

возможному охлаждению без выпадения влаги из воздуха. При дальнейшем охлаждении водяной пар будет конденсироваться, образуя росу или иней на охлажденных поверхностях.

1.2. Порядок выполнения практической работы

Определяется относительная влажность воздуха психрометром в двух помещениях (например, в аудитории и в коридоре университета).

Определяются характеристики воздуха по $H-d$ ($I-d$)-диаграмме, по формулам и вносятся в табл.1.

Таблица 1

Характеристики влажного воздуха

№ опыта	$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_m, ^\circ\text{C}$	$t_p, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$	$d_{\text{диаг}}, \text{кг/кг}_{\text{с.в.}}$	$d^{\text{рас}}, \text{кг/кг}_{\text{с.в.}}$	$i_{\text{диагр}}, \text{кДж/кг}$	$i^p, \text{кДж/кг}$	$\mu, \text{кг}$	$R, \text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$	$C_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\rho_B, \text{кг/м}^3$
1.												
2.												

Пример №1.

Задание: Определить характеристики влажного воздуха по $I-d$ диаграмме и по формулам для двух опытов. Результаты оформить в табличном виде, см. Табл. 1.

Исходные данные, определенные с помощью психрометра:

$$t_c = 20^\circ\text{C}; t_m = 16^\circ\text{C}.$$

Решение:

1) Определяем согласно пункту 1.1.9 по $I-d$ диаграмме следующие данные для точки 1, см. рис. 6:

$$\text{Относительная влажность } \varphi = 67\%$$

$$\text{Температура точки росы } t_{\text{т.р.}} = 13,7^\circ\text{C}$$

$$\text{Влагосодержание } d_{i-d} = 9,7\text{г/кг}_{\text{сух.в.}}$$

$$\text{Парциальное давление } P_n = 1,6\text{кПа}$$

$$\text{Энтальпия } i = 45\text{кДж/кг}$$

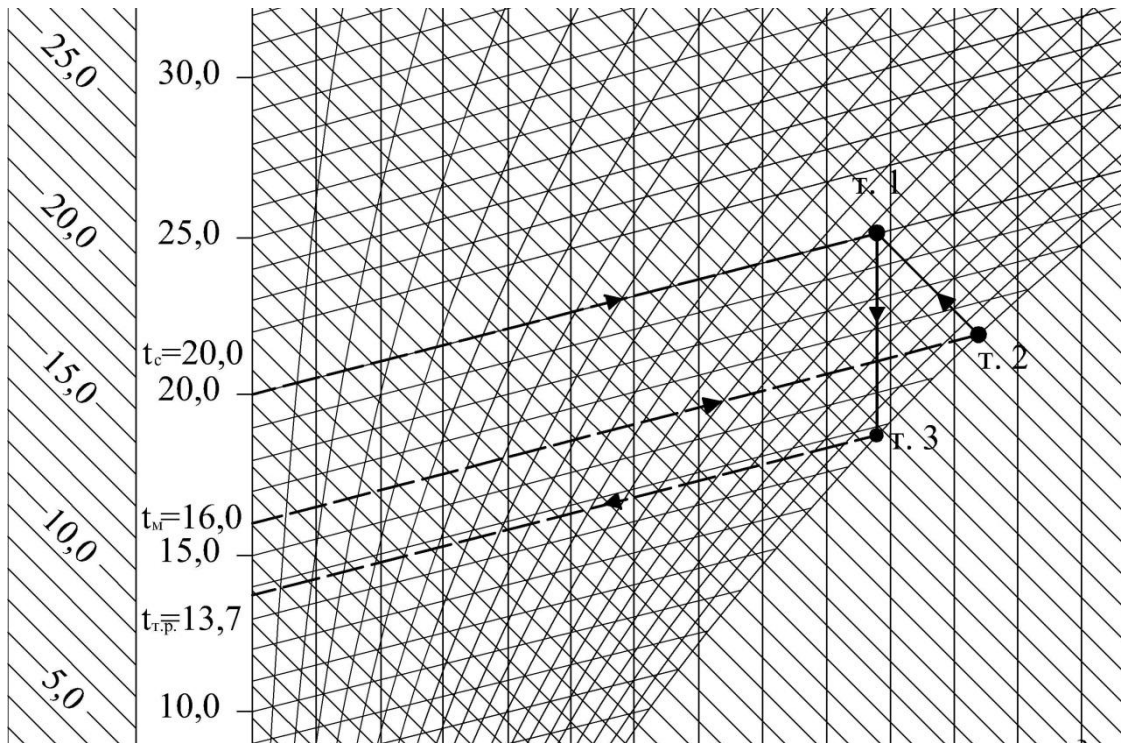


Рис. 6. Пример графического определения данных по I-d диаграмме

2) Расчет ведем для следующих величин:

Влагосодержание по формуле (11):

$$d = 0,622 \left[\frac{1,6}{101,08 - 1,6} \right] = 0,01 (\text{кг} / \text{кг.сух.в.}) = 10 (\text{г} / \text{кг.сух.в.})$$

Энтальпия по формуле (15):

$$i = 20 + (2490 + 1,97 \cdot 20) \cdot 0,01 = 45,29 (\text{кДж} / \text{кг})$$

Молекулярная масса по формуле (12):

$$\mu = 28,95 - 10,93 \frac{101,08}{1,6} = 28,78 (\text{кг})$$

Газовая постоянная по формуле (13):

$$R_n = \frac{8314}{28,78} = 288 (\text{Дж} / \text{кг} \cdot \text{К})$$

Плотность по формуле (14):

$$\rho = \frac{101,08}{288 \cdot 293} = 1,198 (\text{кг} / \text{м}^3)$$

Удельную массовую теплоемкость по формуле (16):

$$C_p = 1 + 1,96 \cdot 0,01 = 1,02 (\text{кДж} / \text{кг} \cdot \text{°К})$$

2. Подбор калорифера для системы вентиляции.

Практическая работа №2

2.1. Типы калориферов и их технические характеристики

Калорифер (от лат. *calor*– тепло и *fero*– несу), прибор для нагревания воздуха в системах воздушного отопления, приточной вентиляции и в сушильных установках. Калориферы бывают пластинчатые, из гладких труб, спирально-ребристые, лепестковые и др. Широко распространены пластинчатые калориферы, в которых теплоноситель (водяной пар или горячая вода) протекает по трубкам с пластинками снаружи, нагревающими проходящий между ними воздух. Применяют также электрические и огневоздушные калориферы

Для нагревания воздуха применяют преимущественно стальные пластинчатые и биметаллические со спирально-накатным оребрением калориферы. Оребрение увеличивает площадь поверхности теплоотдачи.

Теплопередающая поверхность пластинчатых калориферов выполнена из стальных трубок диаметром 16×1,2 мм и стальных гофрированных пластин толщиной 0,55 мм, насаженных на трубки на расстоянии 4,8 мм одна от другой.

Теплообменный элемент биметаллических калориферов состоит из двух трубок, насаженных одна на другую. Внутренняя трубка – стальная диаметром 16×1,2 мм, а наружная – алюминиевая с накатным на ней оребрением с шагом ребер 2,8 мм. Толщина ребра у основания - 0,8 мм, у вершины - 0,3 мм. Профиль ребра трапециевидный. В процессе накатки между стальной и алюминиевой трубками образуется надежный механический и термический контакт, что обеспечивает хороший нагрев ребер.

В настоящее время промышленность выпускает следующие типы калориферов средней С и большой Б моделей, имеющих по направлению

движения воздуха соответственно три и четыре ряда теплопередающих трубок:

1. Калориферы моделей КВСБ-П и КВББ-П семи типоразмеров с №6 по №12: КВС6В...КВС12Б-П; КВБ6Б-П...КВБ12Б-П – стальные пластинчатые.

2. Калориферы моделей КСкЗ и КСк4 семи типоразмеров с №6 по №12: КСкЗ-6...КСкЗ-12; КСк4-6...КСк4-12 – биметаллические со спирально-накатным оребрением.

3. Калориферы моделей КПС-П и КПБ-П семи типоразмеров с №6 по №12: КПС6-П...КПС12-П; КПБ6-П...КПБ12-П – стальные пластинчатые.

4. Калориферы моделей КПЗ-СК и КП4-СК семи типоразмеров с №6 по №12: КПЗ6-СК...КПЗ12-СК; КП46-СК...КП412-СК – биметаллические со спирально-накатным оребрением.

На рис. 7 показан стальной пластинчатый калорифер марки КВСБ-П.

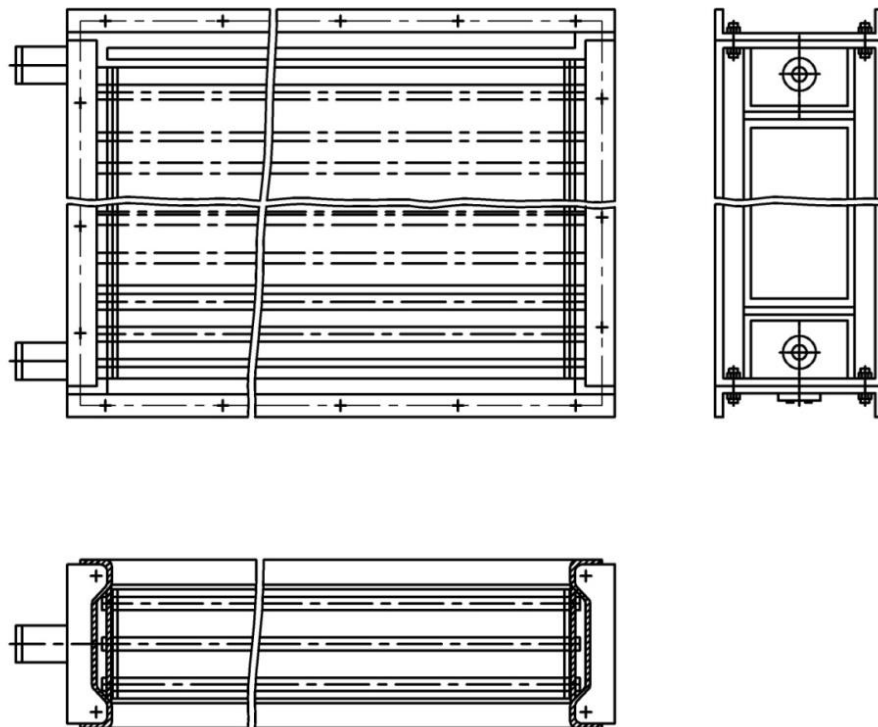


Рис. 7. Калорифер стальной пластинчатый марки КВСБ-П

Технические характеристики воздухонагревателей КВСБ, КВББ, КСкЗ, и КСк4 приведены в табл. 2.

Технические характеристики воздухонагревателей
КВСБ, КВББ, КСк3, и КСк4 (модель 02ХЛЗА)

Модель и номер воздухонагревателя	Габаритные размеры, мм			Площадь поверхности нагревателя, F_k , m^2	Площадь живого сечения, m^2		Масса, кг
	Высота	Ширина	Глубина		по воздуху f_B^A	по теплоносителю $f_{тр}$	
Калориферы марок КВСБ и КВББ							
КВС6Б	602	575		12,92	0,267	0,00087	55
КВС7Б	727	575		15,92	0,329	0,00087	65
КВС8Б	852	575		18,96	0,392	0,00087	75
КВС9Б	977	575	180	22,02	0,455	0,00087	85
КВС10Б	1227	575		28,11	0,581	0,00087	105
КВС11Б	1727	1075		80,3	1,66	0,00261	273
КВС12Б	1727	1575		120,4	2,488	0,00392	401
КВБ6Б	602	575		17,22	0,267	0,00116	71
КВБ7Б	727	575		21,22	0,329	0,00116	84
КВБ8Б	852	575		25,29	0,392	0,00116	97
КВБ9Б	977	575	220	29,34	0,455	0,00116	111
КВБ10Б	1227	575		37,48	0,581	0,00116	137
КВБ11Б	1727	1075		107,08	1,66	0,00348	359
КВБ12Б	1727	1575		160,49	2,488	0,00592	529
Калориферы марок КСк3 и КСк4							
КСк3-6	602	575		13,26	0,267	0,00085	38
КСк3-7	727	575		16,34	0,329	0,00085	44
КСк3-8	852	575		19,42	0,392	0,00085	50
КСк3-9	977	575	180	22,5	0,455	0,00085	56
КСк3-10	1227	575		28,66	0,581	0,00085	68
КСк3-11	1727	1075		83,12	1,66	0,00258	176
КСк3-12	1727	1575		125,27	2,488	0,00388	259
КСк4-6	602	575		17,42	0,267	0,00111	45
КСк4-7	727	575		21,47	0,329	0,00111	53
КСк4-8	852	575		25,52	0,292	0,00111	61
КСк4-9	977	575	180	29,57	0,455	0,00111	68
КСк4-10	1227	575		37,66	0,581	0,00111	85
КСк4-11	1727	1075		110,05	1,66	0,00341	223
КСк4-12	1727	1575		166,25	2,488	0,00515	33

Коэффициенты теплопередачи k
и аэродинамическое сопротивление калориферов ΔP_k

Массовая скорость воздуха, $(v \cdot \rho)$, кг/с·м ²	Коэффициенты теплопередачи k , (Вт/(м ² ·с)) при скорости движения воды в трубках ω , м/с						Аэродинамическое сопротивление ΔP_k , Па
	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1	
1	2	3	4	5	6	7	8
Воздухонагреватели модели КВСБ							
4	27,8	29,5	31,3	33,2	35,3	37,4	49,5
5	30	31,9	33,8	35,9	38,1	40,5	70
6	32	34	36	38,3	40,6	43,2	92
7	33,8	35,9	38	40,4	42,9	45,5	116
8	35,4	37,6	39,8	42,4	44,9	47,7	143
9	36,9	39,2	41,5	44,1	46,8	49,7	170
10	38,4	40,7	43,1	45,8	48,6	51,6	200
12	40,8	43,3	45,9	48,8	51,8	55	265
Воздухонагреватели модели КВББ							
4	26,4	28	29,7	31,5	33,5	35,5	68,5
5	28,4	30,2	32	34	36,1	38,4	96
6	30,3	32,2	34,1	36,3	38,5	41	127
7	32	34	36	38,3	40,7	43,1	161
8	33,5	35,7	37,8	40,2	42,6	45,4	197
9	34,9	37,2	39,4	41,8	44,4	47,1	236
10	36,3	38,5	40,8	43,4	46,1	48,9	277
12	38,7	41,1	43,5	46,3	49,1	52,1	366
Воздухонагреватели модели КСк3							
4	32,6	35,3	38,1	41,3	44,5	48,2	71
5	36	39	42	45,5	49,2	53,2	105
6	39	42,2	45,5	49,3	53,3	57,6	114
7	41,7	45,2	48,7	52,8	57	61,7	189
8	44,2	47,9	51,7	56	60,5	65,4	238
9	46,6	50,5	54,4	59	63,7	68,9	292
10	48,8	52,8	57	61,8	66,8	72,2	353
12	52,9	57,3	61,8	66,9	72,3	78,2	484
Воздухонагреватели модели КСк4							
4	31,7	34,1	36,6	39,5	42,4	45,4	90
5	35,4	38,2	41	44,1	47,4	51	131
6	38,8	41,8	44,8	48,3	51,9	55,8	179
7	41,9	45,2	48,5	52,2	56	60,3	233
8	44,8	48,2	51,8	55,8	60	64,5	293
9	47,5	51,2	55	59,2	63,6	68,4	358
10	50,1	54	58	62,4	67	72,1	430
12	54,9	59,1	63,4	68,3	73,4	79	585

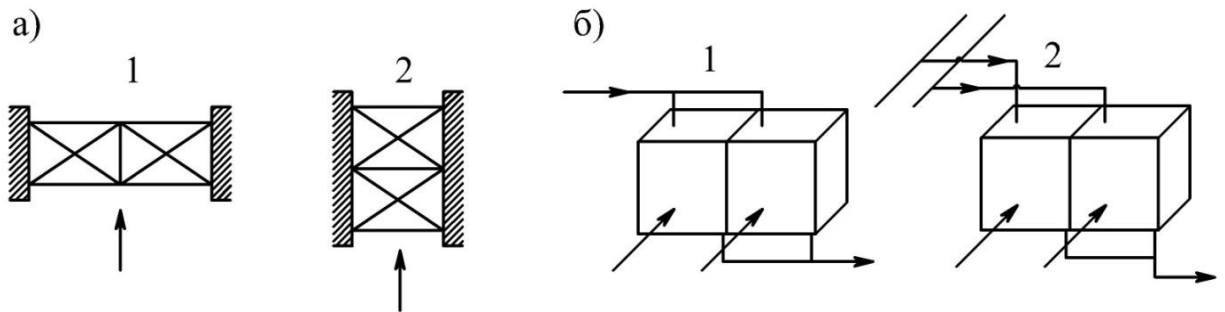
В калориферах, указанных в п.1 и п.2, в качестве теплоносителя используется вода с температурой до 180°С и давлением до 1,2 МПа, совершающая многоходовое движение по трубкам, что увеличивает ее скорость и, как следствие, интенсивность теплопередачи. Многоходовое движение воды организуется при помощи перегородок, устанавливаемых в распределительно-сборных коллекторах. Калориферы с №6 по №10 имеют 6 ходов, а №11 и №12 4 хода по движению воды. Входной и выходной патрубки находятся сбоку с одной стороны калориферов. Для удаления воздуха из воды калориферы устанавливают с горизонтальным расположением теплопередающих трубок и патрубков.

В калориферах, указанных в п. 3 и п. 4 теплоносителем является пар с рабочим давлением 1,2 МПа и температурой 190°С. В отличие от калориферов, использующих в качестве теплоносителя воду, калориферы, в которых применяется пар, имеют одноходовое его движение по теплопередающим трубкам, причем эти калориферы устанавливают с вертикальным расположением трубок и патрубков для лучшего отвода конденсата из калориферов.

Калориферы всех моделей могут быть установлены параллельно и последовательно. Для нагревания значительных объемов воздуха, но при небольшом перепаде температур, применяется параллельная установка. При необходимости нагрева воздуха до высокой температуры калориферы устанавливают последовательно.

При последовательной установке общее сопротивление проходу воздуха больше, чем при параллельной. Для регулирования теплоотдачи калориферов и изменения температуры подаваемого в помещение воздуха применяют соответствующую арматуру и устраивают обводные воздуховоды, снабженные клапанами. Присоединение трубопровода к калориферам также осуществляют по параллельной или последовательной схеме. Если в качестве теплоносителя выступает пар, то применяют только

параллельную схему. На рис. 8 приведены схемы установки калориферов и присоединения теплопроводов к ним.



1 – параллельная схема; 2 – последовательная схема.

Рис. 8. Схемы установки калориферов: а) по воздуху, б) по теплоносителю.

Технико-экономическими показателями калорифера являются коэффициент теплопередачи, аэродинамическое сопротивление проходу воздуха и масса металла, приходящаяся на 1 м^2 площади поверхности нагрева.

При определении коэффициента теплопередачи пользуются массовой скоростью движения воздуха $(v \cdot \rho)$, $(\text{кг/с} \cdot \text{м}^2)$, в живом сечении калорифера, а не линейной, потому что $(v \cdot \rho)$, остается постоянной на всем пути прохождения воздуха, в то время как линейная скорость ρ , м/с, изменяется вследствие нагревания и увеличения объема воздуха. Значения коэффициентов теплопередачи калориферов приведены в табл. 3.

2.2. Порядок расчета калорифера

Задание: подобрать калориферную установку для нагрева заданного объема воздуха L , $\text{м}^3/\text{ч}$, при расчетной температуре наружного воздуха – $t_{\text{н}}$, температуре воздуха на выходе из калорифера – $t_{\text{в}}$, °С. Теплоноситель – вода с температурой в подающей магистрали $t_{\text{г}} = 150^\circ\text{С}$, а в обратной $t_{\text{о}} = 70^\circ\text{С}$. Исходные данные принять по табл. 4.

1. Задаются массовой скоростью воздуха $(v \cdot \rho) = 4 \div 12 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$ и определяют площадь живого сечения калорифера по воздуху $f_{\text{в}}$, м^2 :

$$f_{\text{в}} = \frac{G_{\text{в}}}{3600 \cdot (v \cdot \rho)}, \text{ м}^2 \quad (17)$$

где G_B , кг/ч – массовый расход воздуха:

$$G_B = L_B \cdot \rho_B, \text{ кг/ч} \quad (18)$$

L_B , м³/ч - объемный расход воздуха

ρ_B , кг/м³ – плотность воздуха:

$$\rho_B = \frac{353}{273+t_H}, \text{ кг/м}^3 \quad (19)$$

Таблица 4

Исходные данные для расчета калориферов

№ варианта	L , м ³ /ч	t_H , °C	t_B , °C
1	20000	-30	18
2	11000	-25	10
3	15000	-32	15
4	14000	-24	12
5	25000	-30	20
6	12000	-40	18
7	13000	-27	18
8	10000	-22	15
9	17000	-38	18
10	22000	-36	16
11	19000	-34	20
12	16000	-37	15
13	21000	-29	22
14	24000	-21	18
15	12000	-23	20
16	18000	-31	10
17	19000	-37	12
18	24000	-32	15
19	21000	-28	20
20	15000	-24	14
21	20000	-25	15
22	12000	-31	18
23	14000	-20	12
24	23000	-39	22
25	17000	-26	16
26	20000	-23	15
27	13000	-22	20
28	22000	-33	18
29	14000	-35	22
30	19000	-27	14

2. По значению f_B по табл.2 подбирают номер, действительную площадь по воздуху f_B^D , теплоотдающую поверхность F_K , площадь живого сечения по теплоносителю f_{TP} и число устанавливаемых калориферов;

3. Определяют действительную массовую скорость

$$(v \cdot \rho)_D = \frac{G_B}{3600 \cdot f_B^D}, \text{ М}^2 \quad (20)$$

Значение $(v \cdot \rho)_D$ должно быть в интервале от 4 до 12 кг/с·м².

4. Рассчитывают расход теплоты на нагрев воздуха:

$$Q_K = 0,278 \cdot G_B \cdot c_B \cdot (t_B - t_H), \text{ Вт} \quad (21)$$

где c_B , кДж/(кг·°С) – теплоемкость воздуха, $c_B = 1,005$ кДж/(кг·°С),

t_H – расчетная температура наружного воздуха, °С;

t_B – температура воздуха на выходе из калорифера, °С.

5. Массовый расход воды, проходящей через каждый калорифер

$$G_W = \frac{3,6 \cdot Q_K}{c_W \cdot (t_T - t_0)}, \text{ кг/ч} \quad (22)$$

c_W , кДж/(кг·°С) – теплоемкость воды ($c_W = 4,187$ кДж/(кг·°С))

t_T – температура горячей воды, °С

t_0 – температура охлажденной воды, °С

6. Скорость воды в трубках калорифера, м/с

$$\omega = \frac{G_W}{3600 \cdot f_{TP} \cdot \rho_W}, \text{ кг/ч} \quad (23)$$

где ρ_W , кг/м³ – плотность воды ($\rho_W = 1000$ кг/м³)

скорость воды должна находиться в пределах $\omega = 0,1 \div 1,0$ м/с

7. Находят коэффициент теплопередачи k , (Вт/(м²·с)) по значениям ω и $(v \cdot \rho)$ в табл.3.

8. Расчетная площадь теплоотдающей поверхности калорифера, м² определяется по следующей формуле:

$$F_P = \frac{Q_K}{k \cdot \left(\frac{t_T - t_0}{2} - \frac{t_H - t_B}{2} \right)}, \text{ М}^2 \quad (24)$$

9. Определяем расчетное число калориферов:

$$n_P = \frac{F_P}{F_K} \quad (25)$$

где $F_k, \text{ м}^2$ – площадь поверхности нагревателя

10. Запас площади поверхности нагрева должен быть в пределах 10%:

$$\frac{F_k - F_p}{F_p} \cdot 100 \leq 10\% \quad (26)$$

При несоблюдении данного условия расчет повторяют с п.2, принимая другой номер или другую модель калорифера.

3. Определение теплотехнических характеристик наружного ограждения здания

3.1. Определение значений температур в характерных сечениях наружного ограждения. Практическая работа №3

Рассматривая распределение значений температуры в наружном ограждении, будем считать, что тепловой поток движется через ограждение от внутренней среды к внешней по направлению, перпендикулярному плоскости ограждения и все параметры процесса передачи теплоты не изменяются во времени (т.е. будем считать наружное ограждение одномерным стационарным полем). Теплозащитные свойства такого ограждения определяются сопротивлением теплопередаче этого ограждения R_0 , $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$. Перепады температур по сечению ограждения пропорциональны соответствующим термическим сопротивлениям [3], т.е. можно записать следующее выражение:

$$\frac{t_B - t_x}{t_B - t_H} = \frac{R_{B-x}}{R_0}, \quad (27)$$

где t_B – расчетная температура внутренней среды (воздуха внутри помещения), °C , для жилых и общественных зданий принимается по [4] и [5], для промышленных по [6],

t_x – температура в произвольном сечении x наружного ограждения, °C ;

t_H – расчетная температура наружной среды (наружного воздуха), °C , принимается по [7], (для жилых и общественных зданий – по параметрам Б, т.е. как температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92);

R_{B-x} – сопротивление теплопередаче от воздуха помещения до характерного сечения x в ограждении, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$;

R_0 – сопротивление теплопередаче наружной ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

Таким образом, значение температуры в произвольном сечении x наружного ограждения определяется по формуле:

$$t_x = t_B - \frac{R_{B-x}}{R_0} (t_B - t_H), \quad (28)$$

Если наружное ограждение состоит из одного или нескольких плоских однородных слоёв, расположенных перпендикулярно направлению теплового потока, то сопротивление теплопередаче наружной ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ определяется по формуле [3]:

$$R_0 = R_B + \sum R_i + R_{\text{в.п.}} + R_H, \quad (29)$$

где R_B – теплообмен на внутренней поверхности ограждения, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$;

$\sum R_i$ – сумма термических сопротивлений отдельных слоёв ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

R_H – теплообмен на внутренней поверхности ограждения, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

Значения теплообменов на внутренней и внешней поверхностях определяются по формулам [8, 10]:

$$R_B = \frac{1}{\alpha_B}, \quad (30)$$

$$R_H = \frac{1}{\alpha_H}, \quad (31)$$

где α_B – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, принимается по [8, 9],

α_H – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, принимается по [8, 10].

Термическое сопротивление для i -го слоя многослойной ограждающей конструкции (или для однородной конструкции) определяют по формуле [8]:

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (32)$$

где δ_i – толщина i -го слоя или однородной конструкции, м;

λ_i – расчётный коэффициент теплопроводности материала i -го слоя, Вт/(м²·°С), принимается по [8, 10] для режима эксплуатации, определяемого по [8, 9].

Пример №2.

Задание: Определить значения температур в характерных сечениях наружной стены здания поликлиники в г. Н. Новгород. Конструкция наружной стены (см. Рис. 9):

1 слой – штукатурка на цементно-песчаном растворе толщиной 20 мм.;

2 слой – основной – кладка из кирпича керамического пустотелого плотностью $\gamma=1000$ кг/м³ на цементно-песчаном растворе в 1,5 кирпича;

3 слой – теплоизоляция – пенополиурентан толщиной 20 мм.;

4 слой – облицовочный – кладка из кирпича керамического пустотелого плотностью $\gamma=1000$ кг/м³ на цементно-песчаном растворе в 0,5 кирпича.

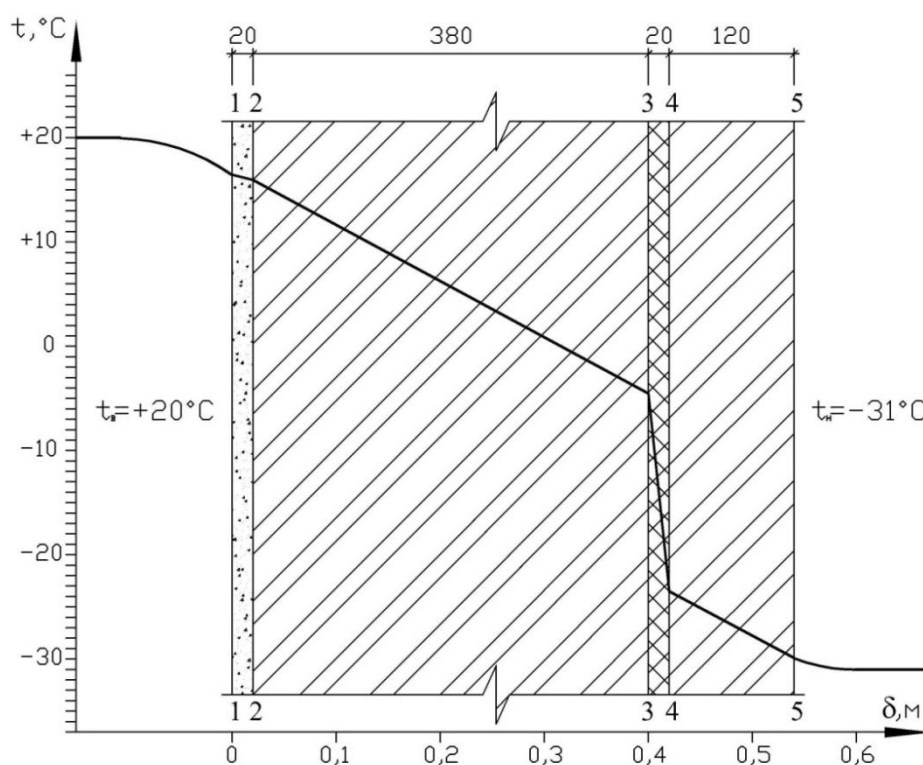


Рис.9. Распределение значений температур в толще многослойной конструкции наружной стены

Решение:

В качестве характерных сечений выбираем плоскости соединения материалов конструкции, получаем пять характерных сечений (см. Рис. 9).

Задаваясь значениями коэффициента теплопроводности слоёв конструкции λ для условий эксплуатации при влажностном режиме помещения по параметру А, определим фактическое сопротивление теплопередаче наружной стены, Вт/(м²·°С) по формуле (29):

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_{шт.}}{\lambda_{шт.}} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} + \frac{\delta_{т.из.}}{\lambda_{т.из.}} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} + \frac{1}{\alpha_H} =$$

$$= \frac{1}{6,75} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,38}{0,44} + \frac{0,02}{0,025} + \frac{0,12}{0,44} + \frac{1}{23} = 2,15$$

Определяем значения температур в характерных сечениях по формуле (28), предварительно определив R_{B-x} для каждого сечения по формуле (32). Значение температуры воздуха внутри помещения принимаем $t_B=20^\circ\text{C}$ согласно [4].

Сечение 1-1:

$$R_{B-1} = \frac{1}{\alpha_B} = \frac{1}{6,75} = 0,148 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт};$$

$$t_{1-1} = 20 - \frac{0,148}{2,15} (20 + 31) = 16,48^\circ\text{C}.$$

Сечение 2-2:

$$R_{B-2} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_{шт.}}{\lambda_{шт.}} = \frac{1}{6,75} + \frac{0,02}{0,93} = 0,1697 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт};$$

$$t_{2-2} = 20 - \frac{0,1697}{2,15} (20 + 31) = 15,97^\circ\text{C}.$$

Сечение 3-3:

$$R_{B-3} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_{шт.}}{\lambda_{шт.}} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} = R_{B-2} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} = 0,697 + \frac{0,38}{0,44} = 1,033 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт};$$

$$t_{3-3} = 20 - \frac{1,033}{2,15} (20 + 31) = -4,5^\circ\text{C}.$$

Сечение 4-4:

$$R_{B-4} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_{шт.}}{\lambda_{шт.}} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} + \frac{\delta_{т.из.}}{\lambda_{т.из.}} = R_{B-3} + \frac{\delta_{т.из.}}{\lambda_{т.из.}} = 1,033 + \frac{0,02}{0,025} = 1,833 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт};$$

$$t_{4-4} = 20 - \frac{1,833}{2,15} (20 + 31) = -23,48^\circ\text{C}.$$

Сечение 5-5:

$$\begin{aligned}
 R_{B-5} &= \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_{шт.}}{\lambda_{шт.}} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} + \frac{\delta_{т.из.}}{\lambda_{т.из.}} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} = R_{B-4} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} = \\
 &= 1,833 + \frac{0,12}{0,44} = 2,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}; \\
 t_{5-5} &= 20 - \frac{2,1}{2,15} (20 + 31) = -29,9(9) \approx -30^\circ\text{C}.
 \end{aligned}$$

По результатам расчёта строится график изменения значений температуры внутри конструкции наружной стены (см. Рис. 9).

3.2. Определение температуры внутренней поверхности наружного угла ограждения. Практическая работа №4

Сопrotивление теплопередаче ограждающей конструкции должно гарантировать удовлетворительные тепловой и влажностный режимы глади конструкции. Необходимым и достаточным условием теплозащитных свойств наружного угла является отсутствие выпадения конденсата на его внутренней поверхности[3].

Температура внутренней поверхности наружного угла ограждения при $0,4 \leq R_0^\phi \leq 2,15 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ приблизительно может быть определена по следующей формуле:

$$\tau_y = \tau_B - (0,18 - 0,036 \cdot R_0^\phi)(t_B - t_H), \quad (33)$$

где τ_y – температура внутренней поверхности ограждения в углу, °C;

τ_B – температура внутренней поверхности на глади конструкции ограждения в отдалении от угла, определяется по формуле (28), °C.

Температура τ_y должна быть выше температуры точки росы, иначе на внутренней поверхности угла ограждения будет образовываться конденсат.

$$\tau_y > \tau_p, \quad (34)$$

В противном случае необходимо предусмотреть меры, предупреждающие выпадение конденсата, например, устроить дополнительную тепловую изоляцию наружного угла ограждающей

конструкции, запроектировать в углу стояк системы отопления или увеличить сопротивление теплопередаче конструкции в целом.

Значение температуры точки росы можно определить по $I-d$ диаграмме (приложениеА) или по значению парциального давления водяного пара во внутреннем воздухе помещения. Парциальное давление пара $P_{п}$, Па, определяется по формуле:

$$P_{п} = P_{п.н.} \cdot \varphi , \quad (35)$$

где $P_{п.н.}$ – парциальное давление водяного пара в воздухе при полном насыщении, Па, принимается по приложениюБ;

φ – относительная влажность воздуха внутри помещения, в долях, для жилых и общественных зданий принимается по [4, 5]и [8, 9], для промышленных по [6].

Пример №3.

Задание:Определить температуру внутренней поверхности наружного угла для конструкции наружной стены из примера 1, относительная влажность воздуха в помещении $\varphi=50\%$.

Решение:

Значение температуры $\tau_{в}$ принимаем по расчёту из примера 1 для сечения 1-1, $\tau_{в}=t_{1-1}=16,48$ °С. Тогда:

$$\tau_{у} = 16,48 - (0,18 - 0,036 \cdot 2,15)(20 + 31) = 11,24^{\circ}\text{С}.$$

Находим значение парциального давления водяного пара во влажном воздухе помещения при заданных значениях влажности и температуры по формуле (35):

$$P_{п} = 2330 \cdot 0,5 = 1165 \text{ Па}.$$

Зная значение парциального давления водяного пара, можем найти температуру точки росы из табл. прил. методом интерполяции:

$$\tau_{р} = 9,27^{\circ}\text{С}.$$

$$\tau_{у} > \tau_{р}, (11,2 > 9,27).$$

Поскольку значение температуры внутренней поверхности угла наружной стены меньше значения температуры точки росы, конденсации влаги в углу происходить не будет.

ВЫВОД: Конструкция наружной стены удовлетворяет санитарно-гигиеническим нормам, т.е. обеспечивает комфортные условия пребывания человека и предотвращает поверхности внутри помещения от увлажнения, намокания и появления плесени. Дополнительных мер по утеплению угла наружной стены не требуется.

3.3. Определение паропроницаемости наружной стены. Практическая работа №5.

Для выполнения данной работы потребуются следующие данные:

1. Температура и влажность внутреннего воздуха.
2. Температура и влажность наружного воздуха.

Температура и влажность внутреннего воздуха принимаются в зависимости от типа здания по [4].

В качестве температуры наружного воздуха принимается средняя месячная температура наиболее холодного месяца, относительная влажность наружного воздуха берется равной средней влажности наиболее холодного месяца [7].

Расчет на конденсацию влаги в ограждении делается графически следующим образом. В ограждении строится линия падения температуры при температуре наружного воздуха равной средней за самый холодный месяц (линия t). По температурной линии строится линия изменения максимальной упругости водяного пара (линия E). Затем строится линия падения упругости водяного пара (линия e). Если линии E и e не пересекаются, то это указывает на отсутствие конденсации водяного пара. Если же линии E и e пересекаются, то это значит, что в ограждении возможна конденсация водяного пара.

Пример №4.

Задание: Рассчитать распределение парциального давления водяного пара по толще стены и определить возможность образования конденсата в толще стены.

Исходные данные:

Место строительства Н.Новгород. Конструкция наружной стены (см. Рис.10):

- 1 слой – штукатурка на цементно-песчаном растворе толщиной 20 мм.;
- 2 слой – основной – кладка из кирпича керамического пустотелого плотностью $\gamma=1000 \text{ кг/м}^3$ на цементно-песчаном растворе в 1,5 кирпича;
- 3 слой – теплоизоляция – пенополиуретан толщиной 20 мм.;
- 4 слой – облицовочный – кладка из кирпича керамического пустотелого плотностью $\gamma=1000 \text{ кг/м}^3$ на цементно-песчаном растворе в 0,5 кирпича.

Решение:

В качестве характерных сечений выбираем плоскости соединения материалов конструкции, получаем пять характерных сечений (см. Рис.10).

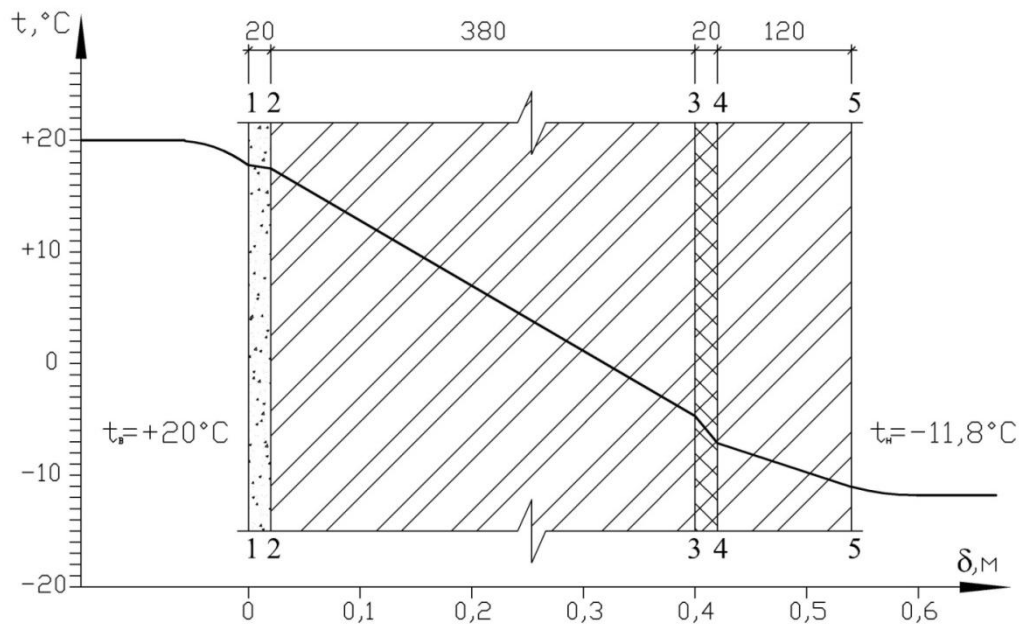


Рис.10. Распределение значений температуры воздуха в толще многослойной конструкции наружной стены

Линия распределения температуры в сечениях наружной стены строится по значениям, полученным по формуле(28).

Фактическое сопротивление теплопередаче наружной стены, Вт/(м²·°С) определяем по формуле (29):

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_{шт.}}{\lambda_{шт.}} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} + \frac{\delta_{т.из.}}{\lambda_{т.из.}} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} + \frac{1}{\alpha_H} =$$

$$= \frac{1}{6,75} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,38}{0,44} + \frac{0,02}{0,025} + \frac{0,12}{0,44} + \frac{1}{23} = 2,15$$

Находим температуры в характерных сечениях стены:

Сечение 1-1:

$$R_{B-1} = \frac{1}{\alpha_B} = \frac{1}{6,75} = 0,148 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт};$$

$$t_{1-1} = 20 - \frac{0,148}{2,15} (20 + 11,8) = 17,8^\circ\text{C}.$$

Сечение 2-2:

$$R_{B-2} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_{шт.}}{\lambda_{шт.}} = \frac{1}{6,75} + \frac{0,02}{0,93} = 0,1697 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт};$$

$$t_{2-2} = 20 - \frac{0,1697}{2,15} (20 + 11,8) = 17,5^\circ\text{C}.$$

Сечение 3-3:

$$R_{B-3} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_{шт.}}{\lambda_{шт.}} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} = R_{B-2} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} = 0,697 + \frac{0,38}{0,44} = 1,033 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт};$$

$$t_{3-3} = 20 - \frac{1,033}{2,15} (20 + 11,8) = -4,72^\circ\text{C}.$$

Сечение 4-4:

$$R_{B-4} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_{шт.}}{\lambda_{шт.}} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} + \frac{\delta_{т.из.}}{\lambda_{т.из.}} = R_{B-3} + \frac{\delta_{т.из.}}{\lambda_{т.из.}} = 1,033 + \frac{0,02}{0,025} = 1,833 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт};$$

$$t_{4-4} = 20 - \frac{1,833}{2,15} (20 + 11,8) = -7,11^\circ\text{C}.$$

Сечение 5-5:

$$R_{B-5} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_{шт.}}{\lambda_{шт.}} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} + \frac{\delta_{т.из.}}{\lambda_{т.из.}} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} = R_{B-4} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} =$$

$$= 1,833 + \frac{0,12}{0,44} = 2,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт};$$

$$t_{5-5} = 20 - \frac{2,1}{2,15} (20 + 11,8) = -11,06^\circ\text{C}.$$

По результатам расчёта строится график изменения значений температуры внутри конструкции наружной стены (см. Рис.10).

По температурам t_x находим значение максимальной упругости E_x в каждом сечении стены и строим график $E_x=f(x)$.

Сечение 1-1:

$$t_{1-1} = 17,8^\circ\text{C}.$$

$$E_{1-1}=2037 \text{ Па}$$

Сечение 2-2:

$$t_{2-2} = 17,5^\circ\text{C}.$$

$$E_{2-2}=2000\text{Па}$$

Сечение 3-3:

$$t_{3-3} = -4,72^\circ\text{C}.$$

$$E_{3-3}=419 \text{ Па}$$

Сечение 4-4:

$$t_{4-4} = -7,11^\circ\text{C}.$$

$$E_{4-4}=335 \text{ Па}$$

Сечение 5-5:

$$t_{5-5} = -11,06^\circ\text{C}.$$

$$E_{5-5}=225 \text{ Па}$$

Сопротивление паропрооницанию многослойной ограждающей конструкции, $\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{мг}$, равно:

$$R_{\Pi} = R_{\Pi\text{в}} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i} + R_{\Pi\text{н}}, \quad (36)$$

где $R_{\Pi\text{в}}$ – сопротивление влагообмену на внутренней поверхности ограждения, $\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{мг}$, равно 0,027 [8];

δ_i – толщина слоя конструкции, м;

μ_i – коэффициент паропрооницаемости, $\text{мг}/(\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$ слоя конструкции, принимаемый по [8].

$R_{\Pi\text{н}}$ – сопротивление влагообмену на наружной поверхности ограждения, $\text{м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{Па}/\text{мг}$, равно 0,0053 [8].

$$R_{\Pi} = 0,027 + \frac{0,02}{0,09} + \frac{0,5}{0,17} + \frac{0,02}{0,05} + 0,0053 = 3,6.$$

Интенсивность потока водяного пара через наружную стену, мг/(м²·ч) определяется по формуле:

$$q = \frac{e_b - e_n}{R_{\Pi}}, \quad (37)$$

e_b – парциальное давление водяного пара во внутреннем воздухе помещения, Па, определяется по формуле:

$$e_b = (\varphi_b / 100) E_b, \quad (38)$$

где E_b – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па при температуре внутреннего воздуха, принимается по [8].

Зная значения $E_b = 2338$ Па и относительной влажности внутреннего воздуха $\varphi_b = 50\%$ определим e_b по формуле (38):

$$e_b = (50/100)2338 = 1169 \text{ Па.}$$

e_n – парциальное давление водяного пара в наружном воздухе, определяется по формуле:

$$e_n = (\varphi_n / 100) E_n, \quad (39)$$

где E_n – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па при температуре наружного воздуха $t_n = -11,8$ С, принимается по [7].

Зная значения $E_n = 221$ Па и относительной влажности наружного воздуха $\varphi_n = 84\%$ определим e_n по формуле (39):

$$e_n = (84/100)221 = 185,64 \text{ Па}$$

Интенсивность потока водяного пара через наружную стену определим по формуле (37):

$$q = \frac{1169 - 185,64}{3,6} = 273,15 \text{ мг/м}^2 \text{ ч}$$

Построим кривую изменения действительного парциального давления водяных паров $e_x = f(x)$ на границах слоев по формуле:

$$e_x = e_b - qR_{\text{ПВ}-x}, \quad (40)$$

где $R_{\text{ПВ}-x}$ – сопротивление паропрооницанию от воздуха помещения до сечения «x», в котором определяется упругость, м² ч Па/мг.

Сечение 1-1:

$$R_{\text{ПВ}-x} = 0,027 \text{ м}^2 \text{ ч Па/мг}$$

$$e_x = e_B - qR_{\text{ПВ-X}} = 1169 - 273,15 * 0,027 = 1162 \text{ Па}$$

Сечение 2-2:

$$R_{\text{ПВ-X}} = 0,027 + \frac{\delta_{\text{шт.}}}{\mu_{\text{шт.}}} = 0,027 + \frac{0,02}{0,09} = 0,249 \text{ м}^2 \text{ ч Па/МГ}$$

$$e_x = e_B - qR_{\text{ПВ-X}} = 1169 - 273,15 * 0,249 = 1101 \text{ Па}$$

Сечение 3-3:

$$R_{\text{ПВ-X}} = 0,249 + \frac{\delta_{\text{кл.}}}{\mu_{\text{кл.}}} = 0,249 + \frac{0,38}{0,17} = 2,48 \text{ м}^2 \text{ ч Па/МГ}$$

$$e_x = e_B - qR_{\text{ПВ-X}} = 1169 - 273,15 * 2,48 = 492 \text{ Па}$$

Сечение 4-4:

$$R_{\text{ПВ-X}} = 2,48 + \frac{\delta_{\text{т.из.}}}{\mu_{\text{т.из.}}} = 2,48 + \frac{0,02}{0,05} = 2,88 \text{ м}^2 \text{ ч Па/МГ}$$

$$e_x = e_B - qR_{\text{ПВ-X}} = 1169 - 273,15 * 2,88 = 382 \text{ Па}$$

Сечение 5-5:

$$R_{\text{ПВ-X}} = 2,48 + \frac{\delta_{\text{кл.}}}{\mu_{\text{кл.}}} = 2,48 + \frac{0,12}{0,17} = 3,19 \text{ м}^2 \text{ ч Па/МГ}$$

$$e_x = e_B - qR_{\text{ПВ-X}} = 1169 - 273,15 * 3,19 = 298 \text{ Па}$$

Для наглядности расчета построим графики распределения максимального парциального давления E водяного пара и график изменения действительного парциального давления e водяного пара по толще стены рис. 11.

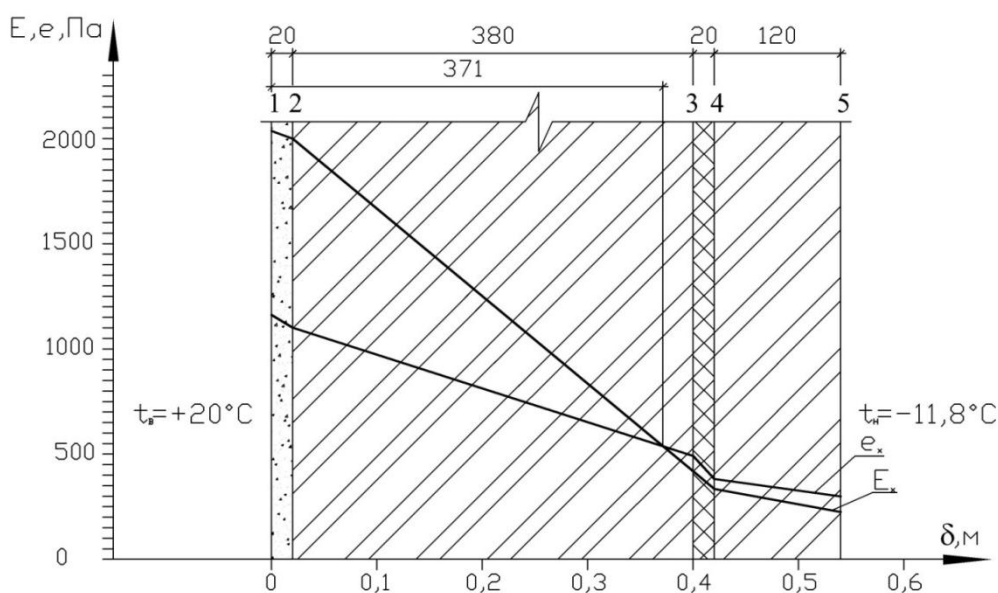


Рис. 11. Графики распределения максимального парциального давления E водяного пара и график изменения действительного парциального давления e водяного пара по толще стены

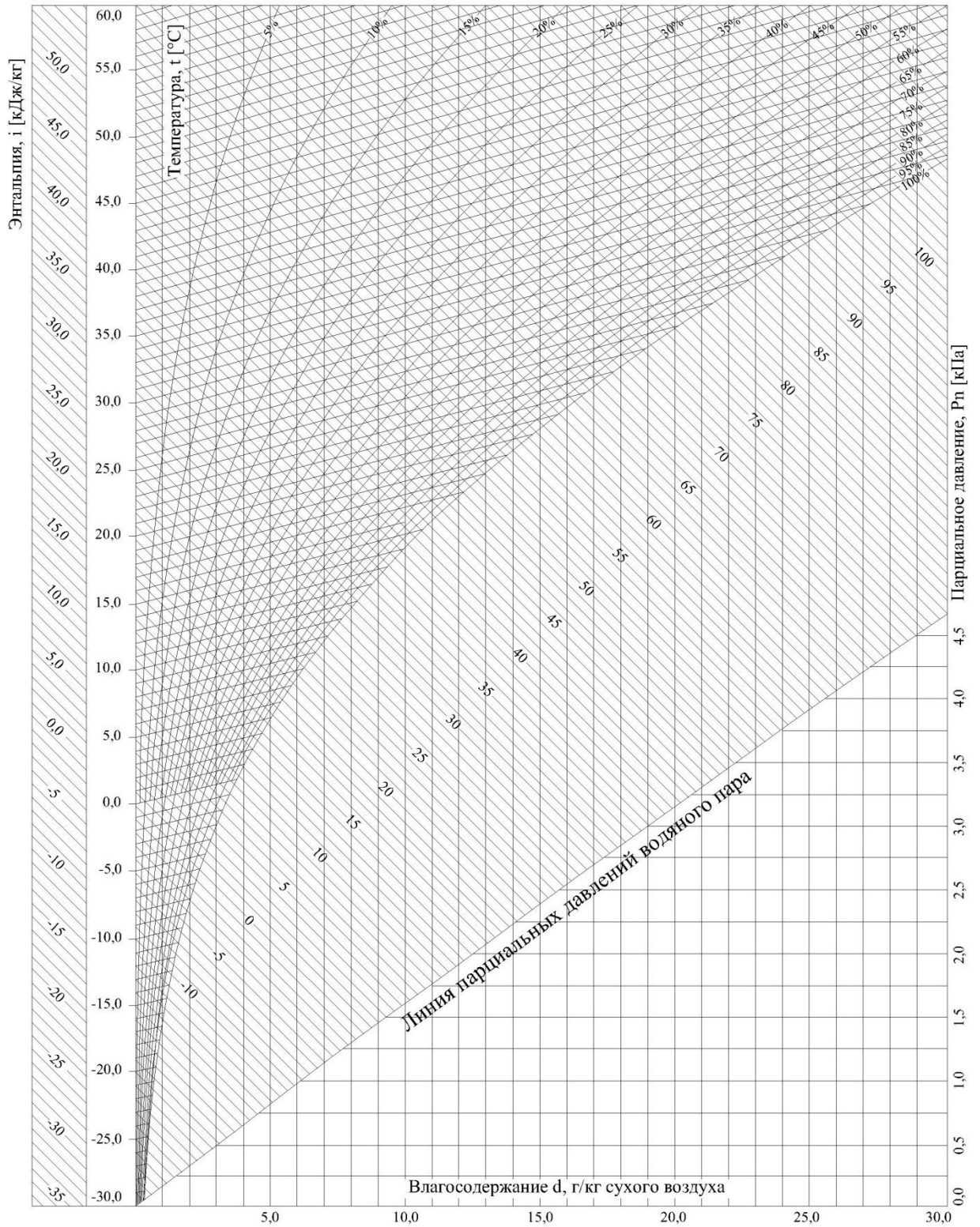
Из рисунка видно, что графики максимального парциального давления водяного пара и действительного парциального давления водяного пара пересекаются. Отсюда следует, что выпадение конденсата возможно в основном слое кирпичной кладки (на расстоянии 371 мм от наружной поверхности внутреннего ограждения).

Список использованных источников

1. **АВОК** **Справочное пособие-1–2004**. Влажный воздух. : Внесен Комитетом по техническому нормированию, стандартизации и сертификации НП «АВОК». – М. НП АВОК, 2004. – 42 с.
2. **Тихомиров, К. В.** Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция : учеб. для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Стройиздат, 1981 - 272 с. : ил.
3. **Богословский, В. Н.** Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1982 - 415 с. : ил.
4. **ГОСТ 30494-96**. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – Введ. 01.03.1999. – М. : ГУП ЦПП, 1999. – 14.
5. **СанПиН 2.4.1.1249-03**. Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, содержанию и организации режима работы дошкольных образовательных учреждений : санитар.-эпидемиол. правила и нормативы : утв. 26.03.2003 : введ. в д. 20.06.2003. – М. : [б. и.], 2003. – 48 с.
6. **ГОСТ 12.1.005-88**. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Введ. 01.01.1989. с изм. 2000 г. – М. : ФГУП «Стандартинформ», 2006. – 49.
7. **СНиП 23-01-99***. Строительная климатология : строит. нормы и правила : утв. Госстроем России 11.06.99 : взамен СНиП 2.01.01-82 : дата введ. 01.01.2000. - М. : Технонорматив, 2008. - 86 с. : ил.
8. **СТО 00044807-001-2006**. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий : стандарт организации : утв. РОИС 21.02.2006 : дата введ. 2006-03-01. – М. : РОИС, 2006. – 85 с. : ил.
9. **СНиП 23-02-2003**. Тепловая защита зданий : строит. нормы и правила : утв. Госстроем России 26.06.03: взамен СНиП П-3-79*: дата введ. 01.10.03. - М. : Технонорматив, 2008. – 31 с. : ил.
10. **СП 23-101-2004**. Проектирование тепловой защиты зданий : свод правил по проектированию и строительству утв. ОАО

«ЦНИИпромстройзданий» и ФГУП ЦНС 23.04.2004 : дата введ. 01.06.04. - М.: ФГУП ЦПП, 2004. - V, 140 с.: ил.

11. **СанПиН 2.4.2.2821-10.** Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях : санитар.-эпидемиол. правила и нормативы : утв. 03.03.2011 : введ. в д. 01.09.2011. – М. : РГ Федеральный выпуск №5430, 2011. – 28 с.

***I-d* диаграмма влажного воздуха**

Парциальное давление водяного пара

Температура воздуха, t, °С	Парциальное давление водяного пара, E _в , Па	Температура воздуха, t, °С	Парциальное давление водяного пара, E _в , Па	Температура воздуха, t, °С	Парциальное давление водяного пара, E _в , Па
-20	123	-3	486	14	1600
-19	135	-2	525	15	1700
-18	149	-1	568	16	1820
-17	161	0	611	17	1940
-16	178	1	659	18	2060
-15	187	2	707	19	2220
-14	206	3	758	20	2330
-13	224	4	813	21	2500
-12	244	5	871	22	2640
-11	245	6	933	23	2800
-10	285	7	999	24	2980
-9	302	8	1070	25	3170
-8	327	9	1140	26	3360
-7	354	10	1230	27	3560
-6	383	11	1310	28	3780
-5	421	12	1400	29	4000
-4	450	13	1500	30	4240

Пузиков Н.Т., Семикова Е.Н., Соколов М.М.

Обеспечение параметров микроклимата в помещениях зданий

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине
«Теплогазоснабжение и вентиляция» для студентов направления 270800.62 Строительство
с профилем специальных дисциплин Промышленное и гражданское строительство

Подписано к печати.....Бумага газетная. Печать офсетная

Форма 60×90/16 Уч.-издат.л.Услов.печ.л.

Тираж 300 экз.Заказ №....

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»(ННГАСУ)
603600,Н.Новгород,ул. Ильинская,65

Полиграфический центр ННГАСУ,Н.Новгород,ул. Ильинская,65