

ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине

**«Техническая
теплотехника»**

Часть 1



Авторы
Галкина Н. И.
Глазунова Е. К.

Ростов-на-Дону, 2019

Аннотация

Представлены теоретические пояснения, сформулированы условия задач и приведены примеры их решения. Приведены варианты задач.

Предназначены для специалистов направления 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Авторы

к.т.н., доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Галкина Н.И.,

к.т.н., доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Глазунова Е.К.

Оглавление

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА	4
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА	8
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА НА I-D ДИАГРАММЕ	20
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛУЧА ПРОЦЕССА. ПОСТРОЕНИЕ НА I-D ДИАГРАММЕ ЛУЧА ПРОЦЕССА, ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА	28
5. ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО И ВНУТРЕННЕГО ВОЗДУХА.....	35
5.1 Расчетные параметры внутреннего воздуха	35
5.2 Расчетные параметры наружного воздуха.....	37
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	51
ПРИЛОЖЕНИЕ А	52
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	53
ПРИЛОЖЕНИЕ В	57
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	60

1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА

В помещениях требуется поддерживать необходимые для людей и производственных процессов определенные условия **микроклимата**, которые характеризуются рядом факторов, основными из которых являются: температура воздуха t_v , °C, относительная влажность воздуха ϕ , %, скорость (подвижность) воздуха, u , м/с, температура ограждающих поверхностей, t_n , °C.

Самочувствие человека зависит от определенных сочетаний этих факторов, которые могут быть различными в зависимости от вида деятельности человека.

Все здания и сооружения в зависимости от характера жизнедеятельности человека, от вида технологических процессов, происходящих в них и основных требований строительных норм и правил разбиты по их назначению на четыре основные группы:

1. Жилые здания.
2. Общественные здания и сооружения.
3. Административные и бытовые здания.
4. Производственные здания.

Для **жилых и общественных зданий** ГОСТ 30494-2011 [1] регламентирует следующие параметры, характеризующие микроклимат помещений:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- результирующая температура помещения;
- локальная асимметрия результирующей температуры.

Результирующая температура помещения – комплексный показатель радиационной температуры помещения и температуры воздуха в помещении, определяемый следующим образом.

При скорости движения воздуха до 0,2 м/с результирующую температуру помещения t_n определяют по формуле

$$t_n = \frac{t_a + t_R}{2},$$

где t_R – радиационная температура в помещении, °С.

При скорости движения воздуха от 0,2 до 0,6 м/с

$$t_n = 0,6t_g + 0,4t_R.$$

Радиационную температуру по температурам внутренних поверхностей ограждений и отопительных приборов определяют по формуле

$$t_R = \frac{\sum \tau_i \cdot A_i}{\sum A_i},$$

где A_i – площадь внутренней поверхности ограждений и отопительных приборов, м²;

τ_i – температура внутренней поверхности ограждений и отопительных приборов, °С.

Для помещений **производственных зданий** СанПиН 2.2.4.548-96 [2] устанавливает следующие показатели, характеризующие микроклимат:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- температура поверхностей;
- интенсивность теплового облучения.

Нормативными документами устанавливаются **оптимальные** и **допустимые** микроклиматические условия в помещении для холодного и теплого периода года в зависимости от классификации помещений по категориям для жилых и общественных зданий и от категорий работ в производственных помещениях.

Оптимальные условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8 – часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Допустимые условия не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Холодный период года – период, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной 10°C и ниже [4,7].

Теплый период года – период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше 10°C [4,7]

В соответствии с [1] оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением.

Допустимые величины показателей микроклимата в производственных помещениях устанавливаются в тех случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

ЗАДАЧА 1.1. Определить оптимальные и допустимые нормы микроклимата в холодный период в обслуживаемой зоне помещения (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Исходные данные к задаче 1.1

№ в а р .	Наименование помещения	№ вар.	Наименование помещения
1	Жилая комната	14	Зрительный зал клуба
2	Кухня в жилом доме	15	Кружковая комната клуба
3	Ванная комната	16	Кабинет врача

4	Вестибюль в общежитии	17	Раздевалка в спорткомплексе
5	Лестничная клетка в жилом доме	18	Процедурный кабинет поликлиники
6	Помещение для отдыха в общежитии	19	Гардеробная в театре
7	Жилая комната в доме для престарелых	20	Кабинет директора кинотеатра
8	Помещение для занятий в общежитии	21	Бухгалтерия
9	Межквартирный коридор	22	Фойе театра
10	Зрительный зал кинотеатра	23	Вестибюль поликлиники
11	Аудитория	24	Физиотерапевтический кабинет
12	Читальный зал библиотеки	25	Спальня в детском саду
13	Учебный класс в средней школе		

Пример. Заданное помещение – *читальный зал библиотеки.*

Решение. В соответствии с ГОСТ 30494 (прил. А) помещение *читального зала* относится к 2 категории.

По таблице 2 ГОСТа 30494 (прил. Б):

оптимальные параметры: $t = 19- 21^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 45-30\%$; $t_n = 18-20^{\circ}\text{C}$; $u = 0,2 \text{ м/с}$;

допустимые параметры: $t = 18-23^{\circ}\text{C}$; $\varphi = 60\%$; $t_n = 17-22^{\circ}\text{C}$; $u = 0,3 \text{ м/с}$.

ЗАДАЧА 1.2 *Определить оптимальные и допустимые нормы микроклимата на рабочем месте производственного помещения (табл. 1.2).*

Таблица 1.2

Исходные данные к задаче 1.2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
											1		

Категория работ	Ia	Iб	IIa	IIб	III	Ia	Iб	IIa	IIб	III	Ia	Iб	Pa
Период года	хол	тепл	хол										
Вариант	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Категория работ	IIб	III	Ia	Iб	IIa	IIб	III	Ia	Iб	IIa	IIб	III	
Период года	хол	тепл											

Пример. В заданном производственном помещении выполняемые работы относятся к IIa категории по уровню энергозатрат. Период года – холодный.

Решение. Оптимальные параметры микроклимата, определенные по табл. 1 СанПиНа 2.2.4.548-96 (прил. Г), составят: $t = 19-21^{\circ}\text{C}$; $t_n = 18-22^{\circ}\text{C}$; $\phi = 60-40\%$; $u = 0,2$ м/с.
 Допустимые величины показателей микроклимата, определенные по табл. 2 СанПиНа 2.2.4.548-96 (прил. Д), составят:
 $t = 17-23^{\circ}\text{C}$; $t_n = 16-24^{\circ}\text{C}$; $\phi = 15-75\%$; $u = 0,1-0,3$ м/с.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

В атмосферном воздухе содержится то или иное количество влаги в виде водяного пара. Такую смесь сухого воздуха с водяным паром называют **влажным воздухом**.

Сухая часть воздуха содержит по объему около 78% азота, примерно 21% кислорода, около 0,03% углекислоты и незначительное количество инертных газов.

Каждый газ в смеси, в том числе и пар, занимает тот же объем, что и вся смесь. Он имеет температуру смеси и находится под своим парциальным давлением.

Так как обычно расчеты, связанные с влажным воздухом, выполняются при давлениях, близких к атмосферному, и парциальное давление водяного пара в нем невелико, то с достаточной точностью можно применять к влажному воздуху все формулы, полученные для **идеальных газов**. Поэтому принимается, что влажный воздух подчиняется уравнению состояния идеальных газов, а также закону Дальтона [6].

Уравнение состояния идеального газа может быть представлено следующими уравнениями:

$$p\nu = RT \quad \text{– для 1 кг газа;}$$

$$pV = MRT \quad \text{– для M кг газа;}$$

$$pV_{\mu} = \mu RT \quad \text{– для 1 киломоля газа,}$$

где p – давление газа, Н/м²;

ν – удельный объем, м³/кг;

R – удельная газовая постоянная, Дж/(кг·град);

V – объем газа, м³;

M – масса газа, кг;

V_{μ} – объем 1 кмоль газа, м³/кмоль;

$\mu R = 8314$ Дж/(кмоль·град) – универсальная газовая постоянная 1 кмоль газа;

T – температура газа, К.

Газовая постоянная для 1 кг газа определяется из условия

$$R = \frac{8314}{\mu},$$

где μ – масса 1 кмоль газа в кг, численно равная молекулярной массе газа.

Объем 1 кмоль всех идеальных газов при нормальных условиях (температура 0°C , барометрическое давление 760 мм рт. ст.) равен $22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль}$ (закон Авогадро).

Пользуясь характеристическим уравнением для двух различных состояний газа, можно получить выражение для определения любого параметра при переходе из одного состояния в другое, если значения других параметров известны:

$$\frac{p_1 \nu_1}{T_1} = \frac{p_2 \nu_2}{T_2};$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}.$$

Закон Дальтона – сумма парциальных давлений газовых компонентов смеси $\sum p_i$ равна полному давлению смеси P :

$$P = \sum p_i.$$

Влажный воздух можно в первом приближении рассматривать как бинарную смесь, т. е. смесь, состоящую из двух компонентов:

- водяного пара (газа с молярной массой

$$\mu_n = 18 \frac{\text{кг}}{\text{моль}});$$

- воздуха (условно однородного газа с молярной массой

$$\mu_{c.v.} = 29 \frac{\text{кг}}{\text{моль}});$$

Тогда барометрическое давление влажного воздуха B , Па будет равно сумме парциальных давлений сухого воздуха $p_{c.v.}$ и водяного пара p_n ; т. е.

$$B = p_{c.v.} + p_n.$$

Водяной пар может находиться в воздухе как в перегретом, так и в насыщенном состоянии. Смесь, состоящую из сухого воздуха и перегретого водяного пара называют ненасыщенным

влажным воздухом, а смесь, состоящую из сухого воздуха и насыщенного водяного пара, - насыщенным влажным воздухом.

Температура воздуха – величина, пропорциональная средней кинетической энергии движения его молекул.

Имеет место зависимость

$$T = t + 273,$$

где T - абсолютная температура, К;

t – температура по шкале Цельсия, $^{\circ}\text{C}$.

Удельный объем ν , $\text{м}^3/\text{кг}$, воздуха представляет собой объем единицы его массы. Если V - объем, м^3 , занимаемый воздухом массой M , кг, то удельный объем

$$\nu = \frac{V}{M}.$$

Величина, обратная удельному объему, представляет собой массу единицы объема и называется **плотностью** ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$, т. е.

$$\rho = \frac{M}{V}.$$

Плотность сухого воздуха для нормальных условий ($t=0^{\circ}\text{C}$, $P=101325 \text{ Па}$)

$$\rho_{c.в.} = \frac{353}{T}.$$

Плотность пара

$$\rho_n = \frac{219}{T}.$$

Зная значение плотности сухого воздуха для определенных условий (например, $\rho_{c.в.} = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$ при $t=20^{\circ}\text{C}$ и $P=101325 \text{ Па}$) и используя зависимость, можно определить плотность сухого воздуха при другом давлении $P_{c.в.}$ и другой температуре T . Уравнение может быть записано следующим образом

$$\frac{P_1}{\rho_1 T_1} = \frac{P_2}{\rho_2 T_2}.$$

$$\text{Отсюда } \rho_2 = \rho_1 \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2}.$$

Подставив в значения для стандартных условий ($t=20^0\text{C}$; $P=101325\text{ Па}$), получаем значение плотности сухого воздуха для заданных давления и температуры

$$\rho_{с.в.} = 3,5 \cdot 10^{-3} \frac{P_{с.в.}}{T},$$

т. е. плотность воздуха прямо пропорциональна давлению и обратно пропорциональна температуре.

Плотность влажного воздуха $\rho_в.$ может быть определена, как плотность сухого воздуха и водяного пара, находящихся под своими парциальными давлениями

$$\rho_в = \frac{353}{T} - \frac{1,32 \cdot 10^{-3} \cdot p_n}{T}.$$

Из уравнения можно сделать вывод: так как парциальное давление водяного пара величина всегда положительная, то плотность влажного воздуха меньше плотности сухого воздуха.

При обычных условиях в помещении доля второго члена уравнения, учитывающего разницу плотности влажного и сухого воздуха, при прочих равных условиях составит всего 0,75% величины $\rho_{с.в.}$. Поэтому в инженерных расчетах в тех случаях, когда качественное различие плотности сухого и влажного воздуха не имеет значения, обычно считают, что $\rho_{с.в.} \approx \rho_в.$

Абсолютная влажность воздуха – это масса водяного пара, содержащегося в 1 м^3 влажного воздуха, или (что то же) **плотность пара** ρ_n при его парциальном давлении и температуре воздуха.

Относительная влажность φ - отношение абсолютной влажности воздуха при данной температуре к максимально возможной абсолютной влажности ρ_{\max} (т. е. при полном насыщении) и данной температуре.

$$\varphi = \frac{\rho_n}{\rho_{\max}}$$

Если температура влажного воздуха t_B меньше или равна температуре насыщения водяного пара $t_{\text{нас}}$ при давлении смеси, то ρ_{\max} будет равна плотности насыщенного пара при данной температуре, т. е. $\rho_{\text{нас}}$. и значение ее определяется по таблицам насыщенного пара. Если же $t_B > t_{\text{нас}}$, при давлении смеси, то ρ_{\max} будет равна плотности перегретого водяного пара при температуре и давлении смеси. Значения $\rho_{\text{нас}}$ в этом случае определяют из таблиц для перегретого водяного пара.

Относительная влажность может быть также представлена, как отношение парциального давления водяного пара в ненасыщенном влажном воздухе p_n к парциальному давлению водяного пара при той же температуре и полном насыщении p_H , то есть

$$\varphi = \frac{p_n}{p_H}$$

Если $p_n < p_H$, то пар в воздухе перегрет, а следовательно, воздух при этом не насыщен.

Давление насыщенного водяного пара является функцией только температуры и может быть найдено по таблице, которая составлена экспериментальным путем или по формуле (для области положительных температур)

$$p_H = 479 + (1,52 + 1,62t)^2.$$

При обработке воздуха и изменении его свойств в вентиляционном процессе количество сухого воздуха остается неизменным, поэтому при рассмотрении тепловлажностного состояния воздуха все показатели относят к 1 кг сухой части влажного воздуха.

Влагосодержание воздуха – количество влаги (водяных паров) в г или кг, приходящейся на 1 кг сухого воздуха [7]. Влагосодержание d , г/кг, может быть определено по формуле

$$d = 623 \frac{p_n}{B - p_n},$$

т. е. влагосодержание воздуха пропорционально барометрическому давлению и является функцией только парциального давления пара.

Из уравнения следует

$$p_n = B \frac{d}{623 + d},$$

т. е. парциальное давление пара при данном давлении является функцией только влагосодержания.

Т.к. $\varphi = \frac{p_n}{p_n}$, то $p_n = \varphi \cdot p_n$, тогда

$$d = 623 \frac{\varphi \cdot p_n}{B - \varphi \cdot p_n}.$$

Удельная теплоемкость воздуха – это количество теплоты, которое необходимо сообщить единице массы (удельная массовая теплоемкость) или единице объема (удельная объемная теплоемкость), или молю (удельная мольная теплоемкость), чтобы повысить температуру на градус.

Соответственно $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}^0\text{С}}$ или $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3\text{С}}$, или $\frac{\text{кДж}}{\text{кмоль}^0\text{С}}$.

Удельные теплоемкости сухого воздуха $c_{с.в.}$ и водяного пара c_n в обычном для вентиляционного процесса диапазоне температур можно считать постоянными:

$$c_v = 1,005 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^0\text{С}}; c_n = 1,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^0\text{С}}.$$

Энтальпия влажного воздуха – это количество теплоты, содержащейся в нем и отнесенной к 1 кг заключенного в нем сухого воздуха, i , кДж/кг.

Удельную энтальпию сухого воздуха $i_{c.в.}$ при температуре $t=0^{\circ}\text{C}$ принимают равной нулю. При произвольном значении температуры

$$i_{c.в.} = c_{c.в.} \cdot t.$$

Теплота парообразования r для воды при $t=0^{\circ}\text{C}$ равна 2500 кДж/кг, поэтому энтальпия пара i_n во влажном воздухе при этой температуре равна r . При произвольной температуре

$$i_n = 2500 + 1,8t.$$

Энтальпия влажного воздуха складывается из энтальпии сухой его части и энтальпии водяных паров.

$$i = 1,005t + \frac{(2500 + 1,8t)d}{1000}.$$

Если ввести характеристику теплоемкости влажного воздуха

$$c_g = 1,005 + \frac{1,8d}{1000}, \text{ тогда } i = c_g t + \frac{rd}{1000}.$$

В результате конвективного теплообмена воздуху передается явная теплота, температура воздуха повышается и соответственно изменяется его энтальпия.

При поступлении водяного пара (при подаче пара из внешних источников) в воздух передается теплота парообразования, и энтальпия воздуха возрастает. В данном случае это происходит вследствие изменения энтальпии водяного пара, масса которого увеличивается. Температура же воздуха остается неизменной.

При температуре влажного воздуха ниже 0°C его энтальпия имеет отрицательное значение.

ЗАДАЧА 2.1. Определить объем, который занимает масса воздуха G , кг, при температуре t , °С и барометрическом давлении B , мм рт. ст. (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Исходные данные к задаче 2.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
М, кг	500	700	100	120	140	150	170	200	220	240	250	280	
t , °С	30	27	25	23	21	19	18	15	12	10	5	3	
В, мм рт. ст.	720	723	725	728	731	735	738	741	745	747	749	752	
Вариант	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
М, кг	300	320	340	350	400	430	450	480	500	550	600	650	700
t , °С	0	-2	-5	-7	-10	-15	-17	-18	-20	-22	-24	-25	-27
В, мм рт. ст.	755	757	762	764	767	770	773	777	780	782	785	787	790

Пример. Задано $M=750$, $t=30$ °С; $B=772$ мм рт. ст.

Решение.

$$R = \frac{8314}{29} = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кгК}}; V = \frac{750 \cdot 287 \cdot (30 + 273)}{772 \cdot 133,322} = 633,7 \text{ м}^3.$$

ЗАДАЧА 2.2 Известна масса 1 м^3 воздуха при определенных условиях (табл. 2.2). Определить плотность и удельный объем при этих условиях.

Таблица 2.2

Исходные данные к задаче 4.2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Масса 1м ³ воздуха, кг	1,3 96	1,3 74	1,3 63	1,3 53	1,3 48	1,3 42	1,3 32	1,3 22	1,3 03	1,2 84	1,2 75	1,2 65	
Вариант	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Масса воздуха 1м ³ , кг	1,2 56	1,2 48	1,2 39	1,2 30	1,2 22	1,2 13	1,2 05	1,1 92	1,1 89	1,1 81	1,1 73	1,1 65	1,1 61

Пример. Масса 1м³ воздуха составляет 1,226 кг.

Решение. При этих условиях плотность воздуха ρ составляет

$$1,226 \text{ кг/м}^3. \text{ Удельный объем: } \nu = \frac{1}{1,226} = 0,816 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}.$$

ЗАДАЧА 2.3 Определить плотность сухого воздуха при нормальном давлении и заданной температуре t . (табл. 2.3)

Таблица 2.3

Исходные данные к задаче 2.3.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$t, ^\circ\text{C}$	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	2	4	
Вариант	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$t, ^\circ\text{C}$	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30

Пример. Задана температура воздуха $t = 23^\circ\text{C}$.

Решение. Плотность сухого воздуха составит:

$$\rho = \frac{353}{273 + 23} = 1,19 \text{ кг/м}^3.$$

ЗАДАЧА 2.4 Определить плотность сухого воздуха при заданных температуре t и давлении P , отличающихся от стандартных (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Исходные данные к задаче 2.4

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$t, ^\circ\text{C}$	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	
P , мм рт.ст.	720	723	725	728	731	735	738	741	745	747	749	752	
Вариант	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$t, ^\circ\text{C}$	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
P , мм рт.ст.	755	757	762	764	767	770	773	777	780	782	785	787	790

Пример. Задана температура воздуха $t = -20^\circ\text{C}$, давление $p = 730$ мм рт. ст.

Решение. Плотность сухого воздуха будет равна:

$$\rho_{с.в.} = 3,5 \cdot 10^{-3} \frac{730 \cdot 133,322}{(273 - 20)} = 1,346 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

ЗАДАЧА 2.5 Определить плотность влажного воздуха при температуре t , если парциальное давление водяных паров равно P_n , мм рт. ст. (табл. 2.5). Определить, на сколько процентов плотность влажного воздуха отличается от плотности сухого воздуха.

Таблица 2.5

Исходные данные к задаче 2.5

Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$t, ^\circ\text{C}$	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	
p_n мм рт.ст.	0,56	0,67	0,78	0,93	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,4	2,7	3,2	
Вар.	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$t, ^\circ\text{C}$	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28

p_n мм рт. ст.	3,7	4,2	4,8	5,5	6,3	7,2	8,2	9,3	10, 6	11, 9	13, 4	15, 1	17, 1
---------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----------	----------	----------	----------	----------

Пример. При заданных условиях: $t = 15^{\circ}C$ и $p_n = 7,7$ мм рт. ст. плотность влажного воздуха составит

$$\rho_e = \frac{353}{273 + 15} - \frac{1,32 \cdot 10^{-3} \cdot 7,7 \cdot 133,322}{273 + 15} = 1,221.$$

Плотность сухого воздуха при этих же условиях $\rho_{с.в.} = 1,226 \frac{кг}{м^3}$.

Расхождение $\frac{1,226 - 1,221}{1,226} \cdot 100\% = 0,4\%$

ЗАДАЧА 2.6 Определить газовую постоянную и плотность водяного пара при температуре t_n (табл. 2.6), барометрическом давлении $B=760$ мм рт. ст.

Таблица 2.6

Исходные данные к задаче 2.6

Ва- риант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$t_n, ^{\circ}C$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	
Ва- риант	1 3	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$t_n, ^{\circ}C$	3 4	36	38	40	42	44	46	48	50	55	60	65	70

Пример. $t_n = 25^{\circ}$; $B=760$ мм рт. ст.; ρ_n – ?

Решение. Газовая постоянная пара: $R_n = \frac{8314}{18} = 461,9$.

Плотность пара составит

$$\rho_n = \frac{219}{273 + 25} = 0,74.$$

ЗАДАЧА 2.7 Определить влагосодержание воздуха при температуре $t, ^\circ\text{C}$, относительной влажности $\varphi, \%$ и барометрическом давлении $B=760$ мм рт. ст. (табл. 2.7)

Таблица 2.7

Исходные данные к задаче 2.7

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$t, ^\circ\text{C}$	30	27	25	23	21	19	18	15	12	10	5	3	
$\varphi, \%$	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	
Вариант	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$t, ^\circ\text{C}$	0	-3	-4	-5	-6	-8	-10	-12	-14	-15	-16	-18	-20
$\varphi, \%$	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	75	80	85

Пример. Заданы $t = 20^\circ\text{C}$, $\varphi = 60\%$.

Решение. По таблице, характеризующей свойства влажного воздуха (приложение И), для $t = 20^\circ\text{C}$ находят величину парциального давления насыщенного пара

$$p_n = 17,53 \text{ мм.рт.ст.} = 2337,13 \text{ Па}$$

Влагосодержание

составит

$$d = 623 \frac{0,6 \cdot 2337,13}{101325 - 0,6 \cdot 2337,13} = 8,74$$

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА НА I-D ДИАГРАММЕ

На основе уравнений:
$$d = 623 \frac{p_n}{B - p_n};$$

$$d = 623 \frac{\varphi \cdot p_n}{B - \varphi \cdot p_n};$$

$$i = 1,005t + \frac{(2,500 + 1,8t)d}{1000}$$

профессор Л.К. Рамзин в 1918 г. составил так называемую $i-d$ – **диаграмму**, широко используемую в расчетах вентиляции, кондиционирования воздуха, осушки и других процессах, связанных с изменением состояния влажного воздуха. В $i-d$ – диаграмме графически связаны все параметры, определяющие тепловлажное состояние воздуха: i, d, t, φ, p_n для заданного барометрического давления. Постоянные значения (const) этих параметров представлены линиями.

В $i-d$ – диаграмме выбраны в качестве координат параметры i и d . Для обеспечения четкого графического изображения параметров влажного воздуха диаграмма построена в косоугольной системе координат, где ось ординат $i, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ проведена вертикально, а ось абсцисс $d, \frac{\text{г}}{\text{кг}}$, под углом 135° к оси i . Это позволяет расширить на $i-d$ – диаграмме область ненасыщенного воздуха (рис. 3.1).

Для удобства ось d на диаграмме не вычерчивается, а вместо нее через начало координат проводится горизонтальная вспомогательная линия, на которой откладываются значения влагосодержаний. Через полученные точки проводятся вертикали, представляющие собой линии постоянного влагосодержания $d - \text{const}$

На поле диаграммы нанесены также линии $i - \text{const}, t - \text{const}$. Изотермы не параллельны между собой и чем выше температура влажного воздуха, тем больше отклоняются вверх его изотермы.

Кроме линий постоянных значений i, d, t на поле $i-d$ – диаграммы нанесены линии постоянных значений относительной влажности воздуха $\varphi - \text{const}$. Кривая, соответствующую

щая $\varphi = 100\%$, является геометрическим местом точек, соответствующих состоянию полного насыщения воздуха водяными парами (кривую $\varphi = 100\%$ иногда называют пограничной кривой). Эта кривая построена по экспериментальным данным зависимости давления водяного пара в насыщенном состоянии от температуры.

Все поле $i-d$ -диаграммы разделено линией $\varphi = 100\%$ на две части. Выше этой линии расположена область **ненасыщенного** влажного воздуха. Линия $\varphi = 100\%$ соответствует состоянию воздуха, насыщенного водяными парами. Ниже этой линии – область **перенасыщенного** воздуха (воздуха в метастабильном состоянии, область тумана).

Если положение изотерм $t = const$ и изоэнтальпий $i = const$ в $i-d$ -диаграмме практически не зависит от барометрического давления B , то положение кривых $\varphi = const$ меняется в зависимости от B . При повышении B линия насыщения на $i-d$ -диаграмме смещается вверх, а при понижении – вниз, но при изменениях B в пределах $\pm 10 \text{ мм.рт.ст.}$ эти изменения незначительны, и их можно не учитывать. Наиболее часто применяется на практике $i-d$ -диаграмма, составленная для $B = 760 \text{ мм.рт.ст.}$ или для $B = 745 \text{ мм.рт.ст.}$, характерном для центральных районов России, расположенных на высоте около 200 м над уровнем моря [6].

В нижней части $i-d$ -диаграммы расположена кривая, имеющая самостоятельную ось ординат. Эта кривая связывает влагосодержание d с парциальным давлением (упругостью) водяных паров P_n . Для любой точки $i-d$ -диаграммы соответствующее P_n определится, если провести вниз линию по $d = const$ до пересечения с линией P_n , т. к. линии постоянного парциального давления совпадают с линиями $d = const$ (рис. 3.1).

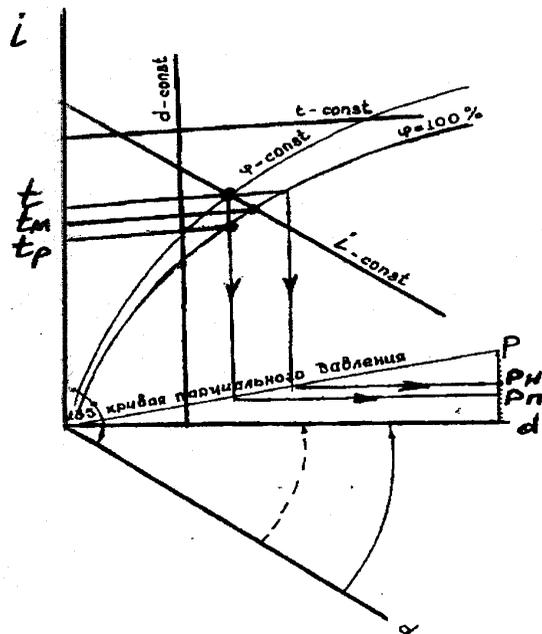


Рис. 3.1. Принципиальная схема $i-d$ – диаграммы

По контуру $i-d$ – диаграммы построена шкала угловых коэффициентов лучей процессов изменения состояния воздуха \mathcal{E} .

На $i-d$ – диаграмме каждая точка обозначает вполне определенное физическое состояние воздуха. Положение точки определяется любыми двумя из пяти

(i, d, t, φ, p_n) параметров состояния. Остальные три могут быть определены по $i-d$ – диаграмме как производные.

Пользуясь $i-d$ – диаграммой, можно получить еще два очень важных параметра тепловлажностного состояния воздуха: температуру точки росы воздуха t_p и температуру мокрого термометра t_m .

Температурой точки росы называется та температура, до которой надо охладить ненасыщенный воздух, чтобы он стал насыщенным при сохранении постоянного влагосодержания.

Для получения этой температуры нужно на $i-d$ – диаграмме от точки, соответствующей данному состоянию воздуха, опустится по линии $d - const$ до пересечения с линией $\varphi = 100\%$. Проходящая через точку пересечения линия $t - const$ будет соответствовать значению t_p (рис. 3.1).

Температура мокрого термометра – это такая температура, которую принимает влажный воздух при достижении насыщенного состояния и сохранении постоянной энтальпии воздуха, равной начальной, т. е. это предельная температура адиабатического охлаждения.

В $i-d$ – диаграмме температуре t_m соответствует линия $t - const$, проходящая через точку пересечения линии $i - const$ заданного состояния воздуха с линией $\varphi = 100\%$ (рис. 3.1).

ЗАДАЧА 3.1. Известна температура внутреннего воздуха в помещении t , °С, и относительная влажность φ % (табл. 3.1) С помощью $i-d$ - диаграммы определить остальные параметры, характеризующие состояние воздуха в помещении.

Таблица 3.1

Исходные данные к задаче 3.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
t , °С	22	23	24	21	22	23	19	20	21	17	18	19	16	17
φ , %	60	45	40	60	50	40	60	55	40	55	50	40	60	55
Вариант	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
t , °С	18	23	24	25	22	23	24	20	21	22	19			
φ , %	40	60	50	40	55	50	40	60	55	40	60			

Пример: $t = 20^\circ\text{C}$, $\varphi = 40\%$.

Решение: По заданным значениям t и φ на $i = d$ диаграмме строим точку, соответствующую состоянию воздуха в помещении. По положению точки находим остальные параметры: $d = 5,8 \text{ г/кг}$;
 $i = 35 \text{ кДж/кг}$; $t_p = 6^\circ \text{C}$; $t_m = 12,5^\circ \text{C}$; $p_n = 0,9 \text{ кПа}$.

ЗАДАЧА 3.2. Состояние влажного воздуха характеризуется параметрами t и d (табл. 3.2). С помощью $i - d$ диаграммы определить φ , i , p_n , t_p и t_m .

Таблица 3.2

Исходные данные к задаче 3.2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$t, ^\circ\text{C}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	20
$d, \text{г/кг}$	6	6,5	8	7	7	8	9	10	11	12	13	10	9	10
Вариант	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
$t, ^\circ\text{C}$	21	22	23	20	19	24	25	26	27	28	29			
$d, \text{г/кг}$	11	12	9	5	9	10	13	12	6	7	8			

Пример: $t = 22^\circ \text{C}$; $d = 7 \text{ г/кг}$.

Решение: По заданным значениям t и d на $i - d$ диаграмме строим точку, соответствующую данному состоянию воздуха.

По положению точки определяем остальные параметры:

$$\varphi = 43\%; \quad i = 40 \text{ кДж/кг}; \quad t_p = 8,9^\circ \text{C}; \quad t_m = 12,5^\circ \text{C};$$

$$p_n = 1,15 \text{ кПа}.$$

ЗАДАЧА 3.3. Известна температура мокрого термометра t_m , $^\circ\text{C}$, температура сухого термометра t_c , $^\circ\text{C}$ (табл. 3.3). Барометрическое давление $B = 760 \text{ мм рт. ст.}$ Определить относительную влажность воздуха φ .

Таблица 3.3

Исходные данные к задаче 3.3

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$t_m, ^\circ\text{C}$	10	11	12	13	14	15	16	17	10	11	12	13	14	15
$t_c, ^\circ\text{C}$	15	16	17	18	19	20	21	22	16	17	18	19	20	21
Вариант	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
$t_m, ^\circ\text{C}$	16	17	18	19	20	21	22	10	11	12	13			

$t_c, ^\circ\text{C}$	22	23	21	22	25	26	27	14	15	16	18
-----------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Пример: $t_m = 20^\circ\text{C}$, $t_c = 30^\circ\text{C}$.

Решение: По изотерме $t_m = 20^\circ$ движемся до пересечения с $\varphi = 100\%$ (рис.3.2).

Получаем точку А. От точки поднимаемся по $i - const$ до пересечения с изотермой $t_c = 30^\circ$, получаем точку Б. Относительная влажность в точке Б $\varphi = 40\%$.

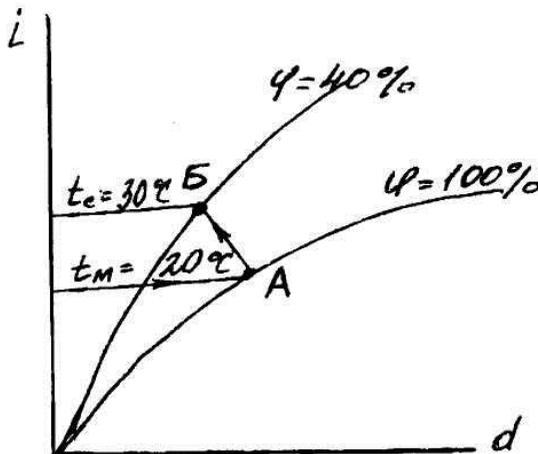


Рис. 3.2. К задаче 3.3.

ЗАДАЧА 3.4. Пользуясь $i - d$ - диаграммой, найти парциальное давление водяных паров p_n в воздухе при относительной влажности $\varphi_1 = 100\%$ и φ_2 , если температура воздуха t (табл. 3.4) $B = 760$ мм. рт. ст.

Таблица 3.4

Исходные данные к задаче 3.4

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$\varphi_2, \%$	40	45	50	55	60	70	75	70	60	55	50	45	
$t, ^\circ\text{C}$	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Вари-	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

ант													
$\varphi_2, \%$	40	45	50	55	60	70	60	55	50	45	40	50	60
$t, ^\circ C$	27	28	29	30	15	16	17	18	19	20	22	24	26

Пример. $\varphi_1 = 100\%$, $\varphi_2 = 60\%$, $t = 17^\circ C$.

Решение. По изотерме $t = 17^\circ C$ движемся до пересечения с $\varphi = 100\%$ (точка А) и с $\varphi = 60\%$ (точка Б) (рис 3.4). Из полученных точек по $d - const$ опускаемся до пересечения с линией парциального давления водяного пара и определяем значения p_n .

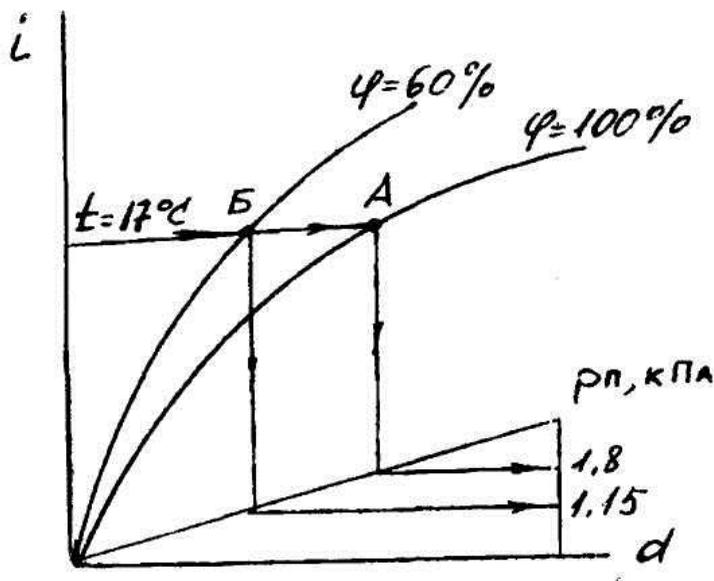


Рис. 3.3. К задаче 3.4.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛУЧА ПРОЦЕССА. ПОСТРОЕНИЕ НА i - d ДИАГРАММЕ ЛУЧА ПРОЦЕССА, ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА

Построение вентиляционного процесса в холодный период и определение воздухообмена по i - d -диаграмме

Прямоточный вентиляционный процесс в холодный период года (рис. 4.1):

– на i - d диаграмму наносят точку H (t_n, i_n), соответствующую расчетным параметрам наружного воздуха для холодного периода; параметры точки H $t_n = -26$ °С, $i_n = -25,5$ кДж/кг.

– строят процесс нагревания наружного воздуха в воздухонагревателе до температуры притока, проводя из точки H прямую по d -const до пересечения с изотермой t_{np} ; получают точку Π , соответствующую параметрам приточного воздуха, подаваемого в зрительный зал; параметры точки Π : $t_{\Pi} = 10$ °С, $d_{\Pi} = 0,27$ г/кг – const; $i_{np} = 10,7$ кДж/кг.

– на пересечении d -const с изотермой на $0,5 - 1$ °С ниже изотермы t_{np} получают точку K , соответствующую параметрам воздуха на выходе из воздухонагревателя; линия K - Π отображает нагрев воздуха на $0,5 - 1$ °С в вентиляторе; параметры точки K : $t_K = 10 - 0,5 = 9,5$ °С, $d_{\Pi} = 0,27$ г/кг – const.

– определяют луч процесса в помещении принимая $Q_{изб}$ равным теплоизбыткам в помещении в холодный период, а W равным влаговыделениям в помещении в холодный период по формуле

$$\varepsilon = \frac{3,6 \cdot Q_{изб}}{W};$$

– через точку П проводят луч процесса в помещении ε до пересечения с изотермой t_{yx} ; получают точку У, соответствующую параметрам воздуха, удаляемого вытяжными системами. Параметры точки У: $t_{yx}=19,4$ 0С, $d_{yx}=1,73$ г/кг, $i_{yx}=23,9$ кДж/кг.

– определяют воздухообмен по борьбе с избыточной теплотой и влагой.

Воздухообмен из условия ассимиляции избыточной теплоты G_Q , кг/ч

$$Q_{изб.}^{полн.} = Q_l + Q_{от.} - Q_{потери} = 350 \cdot 140 + 10018 - 11030 = 47988 \text{ Вт.}$$

$$G_Q = \frac{3,6 \cdot 47988}{23,9 - 10,7} = 13088.$$

Воздухообмен из условия ассимиляции влаговыделений G_W , кг/ч

$$G_W = \frac{11200}{1,73 - 0,27} = 7671.$$

Вентиляционный процесс с рециркуляцией до воздухонагревателя в холодный период года (рис. 4.2).

– на $i-d$ диаграмму наносят точку Н (t_n, i_n), соответствующую расчетным параметрам наружного воздуха для холодного периода; параметры точки Н: $t_{ext} = -26 \text{ }^\circ\text{C}$, $i_{ext} = -25,5 \text{ кДж/кг}$

– на $i-d$ диаграмму наносят точку В (t_b, ϕ_b), соответствующую расчетным параметрам внутреннего воздуха в холодный период; параметры точки В: $t_b = 16 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность 60%, $i_b = 34,7 \text{ кДж/кг}$.

– определяют луч процесса в помещении, принимая $Q_{изб}$ равным теплоизбыткам в помещении в холодный период, а W равным влаговыделениям в помещении в холодный период

$$\varepsilon = \frac{3,6 \cdot 38888}{11,2} = 12500.$$

– через точку В проводят луч процесса в помещении ε до пересечения с изотермой t_{yx} и изотермой t_{Π} получают точку У, соответствующую параметрам воздуха, удаляемого вытяжными системами, и точку П, соответствующую параметрам приточного воздуха; линия П-В процесс ассимиляции тепло- и влагоизбытков из зоны обслуживания помещения, линия В-У – процесс ассимиляции тепло- и влагоизбытков из верхней зоны;

– параметры точки У: $t_{yx} = 19,4 \text{ }^\circ\text{C}$, $d_{yx} = 1,73 \text{ г/кг}$, $i_{yx} = 23,9 \text{ кДж/кг}$;

параметры точки П: $t_{\Pi} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $d_{\Pi} = 0,27 \text{ г/кг} - \text{const}$; $i_{\Pi} = 10,7 \text{ кДж/кг}$;

– наносят процесс смешивания наружного воздуха с вытяжным воздухом, соединяя точку H с точкой $У$ (предполагается, что воздух на рециркуляцию забирается из верхней зоны помещения с параметрами точки $У$);

– из точки $П$ по $d=const$ опускаемся вниз до пересечения с изотермой на $0,5^\circ\text{C}$ ниже изотермы $t_{П}$, получаем точку K , соответствующую параметрам воздуха на выходе из воздухонагревателя (линия $K-П$ – процесс нагрева воздуха в воздуховодах и вентиляторе); параметры точки K :

$$t_K = 10 - 0,5 = 9,5 \text{ }^\circ\text{C}, \quad d_{П} = 0,27 \text{ г/кг} - const;$$

– и на пересечении с линией $H-У$ получаем точку C , соответствующую параметрам смеси наружного воздуха с рециркуляционным (линия $C-K$ – нагрев смеси в воздухонагревателе;

Параметры точки C (смеси наружного воздуха с рециркуляционным): $d_C = 0,76 \text{ г/кг}$; $t_C = -11 \text{ }^\circ\text{C}$, $i_C = -9,2 \text{ кДж/кг}$.

Рис. 4.1. Прямоточный вентиляционный процесс в холодный период

Рис. 4.2. Вентиляционный процесс с рециркуляцией до воздухонагревателя в холодный период года

Построение вентиляционного процесса для переходного периода

В переходный период проверяют, можно ли подавать приточный воздух в зрительный зал без подогрева, т.е. с параметрами наружного воздуха для переходного периода $t_n=10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $i_n=26,5\text{ кДж/кг}$.

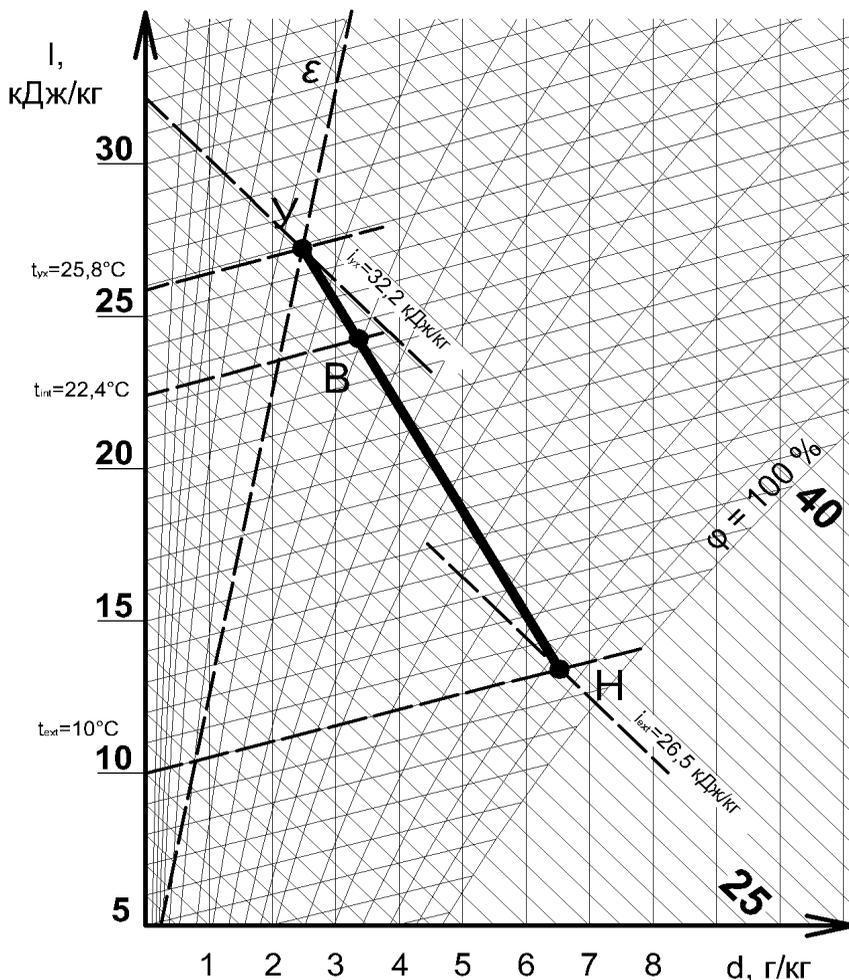


Рис. 4.3 Вентиляционный процесс для переходного периода года

Из полученных ранее воздухообменов к дальнейшему расчету принимают наибольший

$G = G_W = 23722$ кг/ч. Далее расчет ведут в следующей последовательности (рис. 4.3):

– на i - d диаграмму наносят точку $H (t_n, i_n)$ соответствующую параметрам наружного воздуха в переходный период;

– из точки H проводят луч процесса ε для холодного периода ($\varepsilon = 12500$ для холодного периода) до пересечения с изотермой t_{yx} ; получают точку $У$, соответствующую параметрам воздуха, удаляемого вытяжными системами; параметры точки точки $У$, соответствующие параметрам воздуха, удаляемого вытяжными системами: $i_{yx} = 32,2$ кДж/кг, $t_{yx} = 25,8$ °С.

– находим температуру внутреннего воздуха

$$t_e = t_{yx} - \beta(H - 1,5); \quad t_e = 25,8 - 0,5 (8,3 - 1,5) = 22,4$$

°С.

Величина температуры внутреннего воздуха получилась в пределах допустимых значений: 18-28 °С (по [3]), следовательно, подача приточного воздуха возможна без подогрева.

5. ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО И ВНУТРЕННЕГО ВОЗДУХА.

5.1 Расчетные параметры внутреннего воздуха

Расчетные параметры **внутреннего** воздуха принимаются в зависимости от назначения помещения и вида деятельности человека.

В соответствии с [5] параметры микроклимата при отоплении и вентиляции помещений (кроме помещений, для которых метеорологические условия микроклимата установлены другими нормативными документами) следует принимать, как правило, по

ГОСТ 30494, ГОСТ 12.1.005, СанПин 2.2.4.548 [3] для обеспечения параметров воздуха в пределах допустимых норм в обслуживаемой или рабочей зоне помещений (на постоянных и непостоянных рабочих местах):

а) в холодный период года в обслуживаемой зоне **жилых помещений** температуру воздуха — минимальную из оптимальных температур по ГОСТ 30494;

б) в холодный период года в обслуживаемой зоне **жилых зданий (кроме жилых помещений)**, а также **общественных и административно-бытовых** зданий или в рабочей зоне **производственных** помещений температуру воздуха — минимальную из допустимых температур при отсутствии избытков явной теплоты (далее — теплоты) в помещениях; экономически целесообразную температуру воздуха в пределах допустимых норм в помещениях с избытками теплоты. В производственных помещениях площадью более 50 м² на одного работающего допускается обеспечивать расчетную температуру воздуха на постоянных рабочих местах и более низкую (но не ниже 10 °С) температуру воздуха на непостоянных рабочих местах.

в) в **теплый** период года в обслуживаемой или рабочей зоне помещений **при наличии избытков теплоты** - температуру воздуха в пределах допустимых температур, но не более чем на 3 °С для **общественных и административно-бытовых** помещений и не более чем на 4 °С для **производственных** помещений выше расчетной температуры наружного воздуха (параметры А) и не более максимально допустимой температуры по приложению Ж, а **при отсутствии избытков теплоты** — температуру воздуха в пределах допустимых температур.

г) **скорость движения воздуха**— в пределах допустимых норм;

д) **относительную влажность воздуха**—в пределах допустимых норм (при отсутствии специальных требований) по заданию на проектирование;

Параметры микроклимата или один из параметров допускается принимать в пределах оптимальных норм вместо допустимых, если это экономически обосновано, или по заданию на проектирование.

В холодный период года в помещениях отапливаемых зданий, кроме помещений, для которых параметры воздуха установлены другими нормативными документами, когда они не используются и в нерабочее время, можно принимать температуру воздуха ниже нормируемой, но не ниже:

15 °С — в жилых помещениях;

12 °С — в общественных и административно-бытовых помещениях;

5 °С — в производственных помещениях.

Нормируемую температуру следует обеспечить к началу использования помещения или к началу работы.

В **теплый** период года метеорологические условия **не нормируются** в помещениях:

– жилых зданий;

– общественных, административно-бытовых и производственных в периоды, когда они не используются и в нерабочее время при отсутствии технологических требований к температурному режиму помещений;

5.2 Расчетные параметры наружного воздуха

Параметры **наружного** воздуха: температура t_{ext} , °С, удельная энтальпия i_{ext} , кДж/кг, скорость ветра u , м/с, а также другие характеристики наружного климата приводятся для различных городов России в [4] (параметры А и Б).

В соответствии с указаниями [1] заданные параметры микроклимата в жилых, общественных, административно-бытовых и производственных помещений следует обеспечивать в пределах расчетных параметров наружного воздуха для соответствующих районов строительства, принятых, как правило, по [4]:

– параметров **А** – для систем вентиляции, и воздушного душирования в теплый период года;

– параметров **Б** – для систем отопления, вентиляции и воздушного душирования в холодный период года, а также для систем кондиционирования в теплый и холодный периоды года.

Параметры наружного воздуха для переходных условий года следует принимать: температуру $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и удельную энтальпию $26,5\text{ кДж/кг}$.

Параметры наружного воздуха для зданий сельскохозяйственного назначения, если они не установлены специальными строительными или технологическими нормами, следует принимать:

– параметры **А** – для систем вентиляции и кондиционирования в теплый и холодный периоды года.

– параметры **Б** – для систем отопления в холодный период года.

Задача 5.1. Определить расчетные параметры внутреннего воздуха в помещении проектируемого жилого или общественного здания и характеристики наружного климата для расчета систем вентиляции, если задан проектируемый объект и район строительства (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Исходные данные для задачи 5.1

Вариант	Проектируемое здание	Помещение в здании	Район строительства
1	2	3	4
1	Кинотеатр	Зрительный зал	Ростов-на-Дону
2	То же	Фойе	Казань
3	Админ-е здание	Офис	Воронеж
4	То же	Кабинет директора	Астрахань
5	То же	Вестибюль	Волгоград
6	То же	Бухгалтерия	Уфа
7	То же	Зал совещаний	Ставрополь
8	Жилой дом	Жилая комната	Краснодар
9	То же	Кухня	Брянск
10	То же	Ванная комната	Санкт-Петербург
11	То же	Лестничная клетка	Калуга
12	Библиотека	Читальный зал	Владимир
13	То же	Актовый зал	Вологда
14	ВУЗ	Аудитория	Иваново
15	То же	Вестибюль, фойе	Иркутск
16	То же	Читальный зал	Белгород
17	Клуб	Зрительный зал	Кострома
18	То же	Кружковая комната	Сочи



19	Детский сад	Спальная комната	Курск
20	Поликлиника	Кабинет врача	Нижний Новгород
21	То же	Вестибюль	Псков
22	То же	Процедурный кабинет	Пенза
23	То же	Вестибюль	Орел
24	Спорткомплекс	Спортзал	Оренбург
25	То же	Раздевалка	Омск

Пример. Район строительства – г. Москва. Объект строительства – административное здание, офисное помещение.

Решение. В соответствии с [1] офисное помещение можно отнести ко второй категории (прил. А). Т.к. помещение в **холодный период** года не имеет теплоизбытков, то в качестве расчетной температуры внутреннего воздуха принимаем минимальную из допустимых температур $t_{int} = 18^{\circ}\text{C}$, относительную влажность ϕ и подвижность воздуха v в пределах допустимых значений, т.е. $\phi=60\%$, $v=0,3$ м/с – не более (прил. В).

В **теплый период** года в помещении есть избыточные тепловыделения, поэтому расчетную температуру внутреннего воздуха принимаем на 3°C выше расчетной наружной температуры (параметры А), но не более 28°C (максимально допустимой температуры по приложению Ж), т.е. $t_{int} = t_{ext} + 3$;
 $t_{int}=23 + 3 = 26 < 28$. Принимаем $t_{int}=26^{\circ}\text{C}$.

Скорость v и относительную влажность ϕ принимаем в пределах допустимых норм: $\phi=65\%$, $v=0,25$ м/с.

Характеристики наружного климата принимаются по [4]. При проектировании вентиляции в соответствии с [5] в качестве расчетных параметров наружного воздуха принимаем:

– для теплого периода параметры А: $t_{ext}= 23^{\circ}\text{C}$; $v = 1$ м/с;
 $i=52,6-56,8$ кДж/кг;

– для холодного периода параметры Б: $t_{ext} = -25^{\circ}\text{C}$; $v = 2$ м/с; (определяем по $i-d$ -диаграмме при $t_{ext} = -25^{\circ}\text{C}$ и $\phi=82\%$).

Задача 5.2. Определить расчетные параметры внутреннего воздуха в производственном помещении (район строительства принять как в задаче 5.1) для расчета систем вентиляции, если известна категория работ по уровню энергозатрат (табл. 5.2). Решить задачу для двух случаев: если помещение в холодный период без избытков теплоты или в помещении имеются избытки теплоты.

Таблица 5.2

Исходные данные к задаче 5.2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Категория работ	Ia	Iб	IIa	IIб	III	Ia	Iб	IIa	IIб	III	Ia	Iб	IIa
Вариант	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Категория работ	IIб	III	Ia	Iб	IIa	IIб	III	Ia	Iб	IIa	IIб	III	

Пример. В заданном производственном помещении выполняемые работы относятся к IIa категории по уровню энергозатрат. Район строительства – г. Москва.

Решение. Расчетные параметры внутреннего воздуха принимаем по [1] в пределах допустимых значений (прил. Е).

В **холодный период** года для первого случая, когда в помещении нет теплоизбытков, в соответствии с [1] принимаем температуру внутреннего воздуха минимальную из допустимых $t_{int}=17^{\circ}\text{C}$. Для второго случая, при наличии теплоизбытков, принимаем экономически целесообразную температуру $t_{int}=23^{\circ}\text{C}$.

Подвижность воздуха в первом случае, т.е. при внутренней температуре, принятой для диапазона температур ниже оптимальных, не должна превышать 0,1 м/с, принимаем $v = 0,1$ м/с. Во втором случае, когда температура внутреннего воздуха в диапазоне выше оптимальных значений, подвижность воздуха не должна превышать 0,3 м/с, принимаем $v = 0,3$ м/с.

Относительную влажность принимаем в пределах допустимых норм $\phi=15-75\%$.

В **теплый период** года в помещении имеются избытки теплоты, поэтому температуру внутреннего воздуха принимаем на 4°C выше расчетной наружной температуры (параметры А), но не более 27°C (максимально допустимой температуры по приложению Ж), т.е. $t_{int} = t_{ext} + 4$;
 $t_{int}=23 + 4 = 27$. Принимаем $t_{int}=27^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность воздуха при температуре 27°C не должна выходить за пределы 60% . Принимаем $\phi=60\%$.

Подвижность воздуха для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, должна быть не более 0,4 м/с. Принимаем $v=0,4$ м/с.

2.1 Расчет потерь теплоты наружными ограждениями

Расчет выполняется согласно указаниям СП 60.13330.2016 [4].

В соответствии с [6, п.8.2] система отопления и ограждающие конструкции дома должны быть рассчитаны на обеспечение в помещениях дома в течении отопительного периода при расчетных параметрах наружного воздуха для соответствующих районов строительства температуры внутреннего воздуха в допустимых пределах, установленных ГОСТ 30494, но не ниже 20°C для всех помещений с постоянным пребыванием людей (по СП 60.13330), а в кухнях и уборных –18 °С, в ваннных и душевых – 24°C.

В соответствии с [4, п.5.1] параметры микроклимата при отоплении и вентиляции помещений (кроме помещений, для которых параметры микроклимата установлены другими нормативными документами) следует принимать по ГОСТ 30494, ГОСТ 12.1.005, СанПиН 2.1.2.2645 и СанПиН 2.2.4.548 для обеспечения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в пределах допустимых норм в обслуживаемой или рабочей зонах помещений (на постоянных и непостоянных рабочих местах):

а) в холодный период года в обслуживаемой зоне помещений температура воздуха – минимальную из оптимальных температур ГОСТ 30494;

б) в холодный период года в обслуживаемой зоне жилых зданий (кроме жилых помещений) температура воздуха – минимальная из допустимых температур.

Для удобства выполнения расчетов помещения нумеруют на плане этажа, начиная с левого верхнего: 1, 2, 3 и т.д., тогда соответствующие помещения на первом этаже будут 101, 102, 103 и т.д.; на втором этаже 201, 202, 203 и т.д., лестничная клетка обозначается буквами ЛК.

Здание необходимо ориентировать по сторонам света в соответствии с заданием, для чего на эскизе над планом этажа наносится роза ветров с указанием сторон света. Наименование ограждаю-

ших конструкций целесообразно обозначать сокращенно: ДО – двойное остекление; ОО – одинарное остекление, ДД – двойные двери, ПТ – потолок, ПЛ – пол, НС – наружная стена. Линейные размеры и площади ограждающих конструкций определяются с точностью до 0,1 м и 0,1 м² соответственно.

При вычислении площади стен удобнее не вычитать из площади стен площадь окон, а величину коэффициента теплопередачи окна – $K_{ок}$ принимать уменьшенной на величину коэффициента теплопередачи стены – $K_{ст}$.

При наличии в наружной стене входной двери при расчете потерь теплоты через нее следует вычитать из площади стены площадь входной двери.

Согласно [4, п.6.2.2] потери теплоты через внутренние ограждающие конструкции помещений допускается не учитывать, если разность температур воздуха в этих помещениях равна 3 °С и менее.

Трансмиссионные потери теплоты, то есть потери теплоты за счет теплопередачи, через отдельные ограждающие конструкции определяют для одной угловой и одной средней комнат каждого этажа в отдельности, Q_o , Вт, по формуле

$$Q_o = A \cdot (t_{в} - t_{н}) \cdot (1 + \Sigma\beta) \cdot n \cdot K, \quad (10)$$

где A – расчетная площадь ограждающей конструкции, м², в соответствии с правилами обмера площадей ограждающих конструкций;

K – коэффициент теплопередачи, м²·°С/Вт, ограждающей конструкции в соответствии с теплотехническим расчетом;

$t_{в}$ – расчетная температура воздуха в помещении, °С [5];

$t_{н}$ – расчетная температура наружного воздуха для отопления, °С, равная температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 [3];

β – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь; следует принимать: для наружных стен, окон и дверей, обращенных на север, восток, северо-восток и северо-запад – в размере 0,1; на юго-восток и запад – в размере 0,05; для наружных входных дверей при высоте здания h (м): от отметки земли до верха карниза в размере: 0,2 h – для тройных дверей с двумя тамбурами между ними, 0,27 h – для двойных дверей с тамбурами между ними; 0,34 h – для двойных дверей без тамбура и 0,22 h – для одинарных дверей;

n – то же, что в формуле (3).

2.2 Расход теплоты Q_i , Вт, на нагревание инфильтрующегося воздуха

По упрощенной методике следует определять по формуле

$$Q_i = 0,28L_n \cdot \rho \cdot c(t_e - t_n) \cdot k,$$

(11)

где L_n – расход удаляемого воздуха, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, м³/ч, принимаемый равным 3 м³/ч на 1 м² пола жилых помещений;

c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С);

t_e, t_n – расчетные температуры воздуха, °С, соответственно в помещении и наружного воздуха в холодный период года (параметры Б) [3];

ρ – плотность воздуха в помещении, принимается равной 1,2 кг/м³;

k – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный 0,7 окон с тройными переплетами, 0,8 – для окон и балконных дверей с отдельными переплетами и 1,0 – для одинарных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплетами и открытых проемов.

2.3 Суммарные бытовые поступления теплоты

Вт, за счет внутренних источников (электробытовые и осветительные приборы, кухонные плиты и пр.) в жилые комнаты и кухни, следует принимать не менее 10 Вт на 1 м² поверхности пола

$$Q_{\text{быт.}} = 10 \cdot A_{\text{пола}}, \quad (12)$$

где $A_{\text{пола}}$ – площадь поверхности пола жилой комнаты или кухни, м².

Расчет выполняется по вариантам, планы которых представлены в прил.Б.

2.4 Тепловой баланс

Каждого помещения рассчитывается с округлением до 10 Вт по формуле

$$Q_n = \sum Q_o + Q_i - Q_{\text{быт.}} \quad (13)$$

Потери теплоты каждого помещения заносят в таблицу расчета потерь теплоты (прил. В).

3 РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА И РАСХОДА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Тепловой поток системы отопления во всех случаях больше расчетных теплотерь отапливаемого здания из-за неизбежного завышения поверхностей принимаемых к установке отопительных приборов (за счет округления их до ближайшего типоразмера или целого числа секций), теплоотдачи трубопроводов в неотапливаемых помещениях и увеличенных теплотерь «радиаторными» участками наружных ограждений.

Тепловой поток системы отопления $Q_{c.o}$, кВт, следует определять по формуле

$$Q_{c.o} = Q_1 + Q_d, \quad (14)$$

где Q_1 – расчетные теплотери отапливаемого здания, кВт;

Q_d – дополнительные потери теплоты, связанные с остыванием теплоносителя в подающих и обратных магистралях, проходящих в неотапливаемых помещениях, кВт. Ориентировочно их можно принять равными 5% от Q_1 .

В соответствии с [4, п.6.2.8], дополнительные потери теплоты через участки наружных ограждений, расположенных за отопительными приборами, а также трубопроводами, прокладываемыми в неотапливаемых помещениях, не должны превышать 7% теплового потока системы отопления здания.

Расход теплоносителя G , кг/ч, в системе, ветви или стояке системы отопления определяется по формуле

$$G = \frac{3,6 \cdot Q_{c.o}}{c \cdot \Delta t} \beta_1 \cdot \beta_2, \quad (15)$$

где $Q_{c.o}$ – расчетный тепловой поток, определенный по формуле (14), Вт, в системе, отдельной ветви или стояке;

Δt – разность температур, °С, теплоносителя на входе и выходе из системы, ветви или стояка. При предварительном расчете Δt рекомендуется принимать на 1°С меньше расчетного перепада температур теплоносителя в системе отопления;

c – удельная теплоемкость воды, равная 4,19 КДж/(кг·°С);

β_1 – коэффициент, учитывающий теплоотдачу дополнительной площади принимаемых к установке отопительных приборов за счет округления сверх расчетной площади, $\beta_1 = 1,03$;

β_2 – коэффициент, учитывающий дополнительные теплотери из-за размещения отопительных приборов у наружных ограждений, $\beta_2 = 1,02$.

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУХООБМЕНОВ ЭЛЕМЕНТОВ ГРАВИТАЦИОННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Проектирование вентиляции многоквартирных жилых домов следует выполнять в соответствии с нормами и рекомендациями [4, 6].

В соответствии с [6, п.8.3] система вентиляции должна поддерживать чистоту (качество) воздуха в помещениях в соответствии с санитарными требованиями и равномерность его поступлений и распространения. Вентиляция может быть:

- с естественным побуждением удаления воздуха через вентиляционные каналы;
- с механическим побуждением притока и удаления воздуха, в том числе совмещенная с воздушным отоплением;
- комбинированная с естественным притоком и удалением воздуха через вентиляционные каналы с частичным использованием механического побуждения.

В соответствии с [4 п. 7.1.10] в жилых зданиях, в том числе коттеджах, рекомендуется проектировать вентиляцию с естественным побуждением. Кратность воздухообмена в помещениях следует принимать в соответствии с данными табл. 12 [8].

Вытяжная общеобменная вентиляция с естественным побуждением жилых комнат осуществляется через вытяжные каналы кухонь и ванных, а приточный воздух поступает в жилые комнаты и кухню за счет инфильтрации.

Объединение вентиляционных каналов из кухонь, уборных, ванных не допускается, также не допускается объединение каналов с разных этажей в зданиях до 5 этажей. Вентиляционные каналы не разрешается устраивать в наружных стенах [9].

Вытяжные вентиляционные каналы чаще всего размещают в кирпичных стенах, расположенных внутри здания. Размеры каналов принимают кратными 1/2 кирпича, минимальная толщина стенок каналов и толщина простенков между ними – 1/2 кирпича. Наиболее часто поперечное сечение каналов принимают равным 140x140 или 140x270 мм, в соответствии с расчетом. При отсутствии примыкания санузлов и кухонь к кирпичным стенам вытяжные каналы выполняют приставными из гипсошлаковых, шлакобетонных плит или других материалов.

В соответствии с [7 п.8.4.3] помещения, в которых устанавливаются теплогенераторы, должны иметь вытяжные вентиляционные решетки, т.к. при работе газовых водогрейных котлов, основанных на сжигании газообразного топлива, происходит выброс

вредных веществ в окружающую среду, таковыми веществами являются дымовые газы, содержащие окислы углерода и азота. Для дополнительного притока воздуха следует предусматривать в нижней части двери решетку или зазор между дверью и полом с живым сечением не менее $0,02 \text{ м}^2$.

Согласно [7, п.7.6.1] отведение дымовых газов от теплогенераторов на мазуте, газе, твердом топливе, следует предусматривать через дымоотводы в дымоход или дымовую трубу.

В соответствии с [6 п.8.4] кратность воздухообмена во всех вентилируемых помещениях в нерабочем режиме должна составлять не менее $0,2$ объема помещения в час, табл. 12.

Воздухообмен, $\text{м}^3/\text{ч}$, в жилых комнатах определяется по формуле

$$L = 3 \cdot A_{пл}, \quad (16)$$

где $A_{пл}$ – площадь пола жилых комнат, м^2 .

Общий воздухообмен в коттедже должен быть не менее суммарного воздухообмена всех жилых комнат данной квартиры.

Так как удаление воздуха из коттеджа происходит посредством вытяжных каналов, расположенных в помещениях кухни и санузла (при совмещенном санузле) или в помещениях кухни, санузла и ванной (при раздельном санузле), то должно выполняться условие

$$L_k + L_b + L_{с.у.} \geq \Sigma L_{ж.к.}, \quad (17)$$

где L_k , L_b , $L_{с.у.}$ – количество удаляемого воздуха соответственно из кухни, ванной, санузла, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Если правая часть неравенства больше левой, т.е. сумма рассчитанных воздухообменов жилых комнат больше суммы нормируемых воздухообменов кухни, ванной и раздельного санузла (или кухни и совмещенного санузла), то следует увеличить расход воздуха, удаляемого посредством вытяжных каналов, до необходимой величины, обычно из кухни [10].

Площадь сечения вентиляционных каналов и живого сечения жалюзийных решеток определяется по формуле

$$F_{в.к.(в.р.)} = \frac{L}{3600 \cdot v}, \quad (18)$$

где v – скорость воздуха в канале или вентиляционной решетке, $\text{м}/\text{с}$, принять в соответствии с табл. 13;

L – расход воздуха в канале, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Размер жалюзийных решеток принимается по прил. Г в зависимости от площади живого сечения.

Пример обозначения: РВ-1-200*400

где: РВ – решетка вентиляционная;

1 – рядность решетки (однорядная);

200*400 – установочный размер решетки (НхЛ), мм.

На чертеже II этажа показывают вентиляционные каналы со всех этажей и их размеры. На чертеже плана I этажа показывают вентиляционные каналы из кухни, ванной и санузла 1-го этажа и выносной указывают сечение каналов, количество и сечение вентиляционных решеток.

Таблица 12

Кратность воздухообмена в помещениях жилых зданий [7]

Помещение	Кратность или величина воздухообмена, м ³ в час, не менее	
	в нерабочем режиме	в режиме обслуживания
1	2	3
Спальная, общая, детская комнаты	0,2	1,0
Кухня с электроплитой	0,5	60 м ³
Помещение с газоиспользующим оборудованием	1,0	1,0 + 100 м ³ на плиту
Ванная, душевая, уборная, совмещенный санузел	0,5	25 м ³

Таблица 13

Ориентировочные скорости движения воздуха в системах естественной вентиляции

Элементы вентиляционной системы	Скорость, v , м/с
1	2
Вертикальные каналы (1-й –3-й этаж)	0,8 – 0,9
Вентиляционные решетки	0,5 – 1,0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – Введ. 2013-01-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 12 с.
2. СанПиН 2.1.2.2645-10. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых помещениях: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 27 с.
3. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Введ. 1996-10.01. – М.: Минздрав России, 1997. – 20 с.
4. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99– Введ. 2013-01-01. М.: Минрегион России, 2012. – 109 с.
5. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.– Введ. 2013-01-01. М.: Минрегион России, 2012. – 76 с.
6. Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1985.- 367 с.
7. Отопление и вентиляция: Учебник для вузов. В 2-х ч. Ч.2. Вентиляция/ Под ред. В.Н. Богословского. – М.: Стройиздат, 1976.-439 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Классификация помещений (ГОСТ 30494-2011)

Помещения 1-й категории – помещения, в которых люди в положении лежа или сидя находятся в состоянии покоя и отдыха.

Помещения 2-й категории – помещения, в которых люди заняты умственным трудом, учебной.

Помещения 3а категории – помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды.

Помещения 3б категории – помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении сидя в уличной одежде.

Помещения 3в категории – помещения с массовым пребыванием людей, в которых люди находятся преимущественно в положении стоя без уличной одежды.

Помещения 4-й категории – помещения для занятий подвижными видами спорта.

Помещения 5-й категории – помещения, в которых люди находятся в полураздетом виде (раздевалки, процедурные кабинеты, кабинеты врачей и т.п.).

Помещения 6-й категории – помещения с временным пребыванием людей (вестибюли, гардеробные, коридоры, лестницы, санузлы, курительные, кладовые).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий и общежитий (ГОСТ 30494-2011)

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая, не более	оптимальная, не более	допустимая, не более
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Холодный	Жилая комната	20-22	18-24 (20-24)	19-20	17-23 (19-23)	45-30	60	0,15	0,2
1	То же, в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31 °С и ниже	21-23	20-24 (22-24)	20-22	19-23 (21-23)	45-30	60	0,15	0,2
	Кухня	19-21	18-26	18-20	17-25	НН*	НН	0,15	0,2
	Туалет	19-21	18-26	18-20	17-25	НН	НН	0,15	0,2
	Ванная, совме-	24-26	18-26	23-27	17-26	НН	НН	0,15	0,2

Техническая теплотехника

	ценный санузел								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Помещения для отдыха и учебных занятий	20-22	18-24	19-21	17-23	45-30	60	0,15	0,2

Техническая теплотехника

Межквартирный коридор	18-20	16-22	17-19	15-21	45-30	60	0,15	0,2
Вестибюль, лестничная клетка	16-18	14-20	15-17	13-19	НН	НН	0,2	0,3
Кладовые	16-18	12-22	15-17	11-21	НН	НН	НН	НН

Теп- лый	Жилая комната	22-25	20-28	22-24	18-27	60-30	65	0,2	0,3
-------------	---------------	-------	-------	-------	-------	-------	----	-----	-----

*НН – не нормируется

Примечание – Значения в скобках относятся к домам для престарелых и инвалидов.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне общественных зданий (ГОСТ 30494-2011)

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая, не более	оптимальная, не более	допустимая, не более
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Холодный	1 категория	20-22	18-24	19-20	17-23	45-30	60	0,2	0,3
	2 категория	19-21	18-23	18-20	17-22	45-30	60	0,2	0,3
	3а категория	20-21	19-23	19-20	19-22	45-30	60	0,2	0,3
	3б категория	14-16	12-17	13-15	13-16	45-30	60	0,2	0,3
	3в категория	18-20	16-22	17-20	15-21	45-30	60	0,2	0,3
	4 категория	17-19	15-21	16-18	14-20	45-30	60	0,2	0,3
	5 категория	20-22	20-24	19-21	19-23	45-30	60	0,15	0,2
	6 категория	16-18	14-20	15-17	13-19	НН*	НН	НН	НН
Ванные, душевые	24-26	18-28	23-25	17-27	НН	НН	0,15	0,2	

Детские дошкольные учреждения									
	Групповая раздевальная и туалет: -для ясельных и младших групп; -для средних и дошколь-ных групп	21-23	20-24	20-22	19-23	45-30	60	0,1	0,15
		19-21	18-25	18-20	17-24	45-30	60	0,1	0,15
	Спальня: -для ясельных и младших групп; -для средних и дошкольных групп	20-22	19-23	19-21	18-22	45-30	60	0,1	0,15
		19-21	18-23	18-22	17-22	45-30	60	0,1	0,15
Теп-лый	Помещения с постоянным пребыванием людей	23-25	18-28	22-24	19-27	60-30	65	0,3	0,5

*НН - не нормируется

Примечание – для детских дошкольных учреждений, расположенных в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31 °С и ниже, допустимую расчетную температуру воздуха в помещении следует принимать на 1 °С выше указанной в таблице.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96)

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iа (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
	Iб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
	IIа (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
	IIб (233-290)	17-19	16-20	60-40	0,2
	III (более 290)	16-18	15-19	60-40	0,3
Теплый	Iа (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1
	Iб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1
	IIа (175-233)	20-22	19-23	60-40	0,2
	IIб (233-290)	19-21	18-22	60-40	0,2
	III (более 290)	18-20	17-21	60-40	0,3

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96)

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75*	0,1	0,1
	Iб (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0	15-75	0,1	0,2
	IIa (175-232)	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0	15-75	0,1	0,3
	IIб (233-290)	15,0-16,9	19,1-22,0	14,0-23,0	15-75	0,2	0,4
	III (более 290)	13,0-15,9	18,1-21,0	12,0-22,0	15-75	0,2	0,4
Теплый	Ia (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75*	0,1	0,2
	Iб (140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0	15-75*	0,1	0,3
	IIa (175-232)	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0	15-75*	0,1	0,4
	IIб (233-290)	16,0-18,9	21,1-27,0	15,0-28,0	15-75*	0,2	0,5
	III (более 290)	15,0-17,9	20,1-26,0	14,0-27,0	15-75*	0,2	0,5

- При температурах воздуха на рабочих местах 25°C и выше максимально допустимые величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы: 70% - при температуре воздуха 25°C , 65% – при 26°C , 60% – при 27°C , 55% – при 28°C .
- При температурах воздуха $26 - 28^{\circ}\text{C}$ допустимая скорость движения воздуха в теплый период года должна соответствовать диапазону: 0,1- 0,2 м/с при категории работ Ia; 0,1-0,3 – при категории Ib; 0,2-0,4 – при категории Pa; 0,2-0,5 – при категории Pb и Ш.