



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Методические указания
к проведению практических занятий по
дисциплине

**«Основы обеспечения
микроклимата зданий
(включая теплофизику
здания)»**

**Раздел 2 «Основы обеспечения
микроклимата здания»**

Часть 1

Авторы
Глазунова Е.К.,
Скорик Т.А.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

Методические указания к проведению практических занятий предназначены для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» профиля подготовки «Теплогазоснабжение и вентиляция».

В части 1 методических указаний по ряду тем изучаемой дисциплины приводится краткая теоретическая часть, дающая определения основных понятий, основные формулы, пояснение к ним, задачи с примерами решений. Имеются приложения с данными из нормативной и справочной литературы, необходимыми для решения задач. Материалы по темам, не охваченным в данном практикуме, будут представлены в последующих частях.

Авторы

К.Т.Н., доцент кафедры
«Теплогазоснабжение и вентиляция»
Глазунова Е.К.

К.Т.Н., доцент кафедры
«Теплогазоснабжение и вентиляция»
Скорик Т.А.



Оглавление

1 Микроклимат в помещении. Нормирование параметров микроклимата	5
2 Расчетные параметры наружного воздуха	15
3 Расчет теплотерь	18
3.1 Расчет потерь теплоты через ограждающие конструкции [11], [12].	18
3.2 Определение расхода теплоты на нагревание воздуха, инфильтрующегося через наружные ограждения.....	22
4 Влажный воздух	25
Литература	42
Приложение А Классификация помещений (ГОСТ 30494-2011)	43
Приложение Б Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий и общежитий (ГОСТ 30494-2011)	44
Приложение В Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне общественных зданий (ГОСТ 30494-2011)	45
Приложение Г Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96)	46
Приложение Д Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96)	46
Приложение Е Допустимые нормы температуры,	

относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне общественных, административно-бытовых и производственных помещений в теплый период года (СП 60.13330.2012)	47
Приложение Ж.....	48
Приложение И Физические свойства влажного воздуха при давлении 760 мм рт. ст.	49
Приложение К Соотношение между единицами давления	51
Приложение Л Соотношение между единицами энергии.	52
Приложение М Приставки для образования кратных и дольных единиц	53
Условные обозначения	54

1 МИКРОКЛИМАТ В ПОМЕЩЕНИИ. НОРМИРОВАНИЕ 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 $t_{в}$, °С, относительная влажность воздуха ϕ , %, скорость (подвижность) воздуха, u , м/с, температура ограждающих поверхностей, $t_{п.}$, °С.

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.

Показатели микроклимата в помещениях регламентируются нормативными документами, используемыми для проектирования соответствующих зданий и сооружений: сводами правил (СП), санитарными правилами и нормами (СанПиН), межгосударственными стандартами (ГОСТ), отраслевыми документами.

Для **жилых и общественных зданий** ГОСТ 30494-2011 [2] 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 $t_{п}$ определяют по формуле

$$t_n = \frac{t_e + t_R}{2}, \quad (1.1)$$

где t_R – радиационная температура в помещении, °С;
При скорости движения воздуха от 0,2 до 0,6 м/с

$$t_n = 0,6t_e + 0,4t_R \quad (1.2)$$

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

$$t_R = \frac{\sum \tau_i \cdot A_i}{\sum A_i}, \quad (1.3)$$

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 [4] устанавливает следующие показатели, характеризующие микроклимат:

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

Кроме того, для интегральной оценки тепловой нагрузки среды на рабочих местах рекомендуется учитывать индекс тепловой нагрузки среды (ТНС – индекс), под которым понимают сочетанное действие на организм человека параметров микроклимата (температура, относительная влажность, скорость движения воздуха, тепловое облучение), выраженное одночисловым показателем в °С.

Параметры микроклимата устанавливаются для обслуживаемой зоны помещения (зоны обитания) в общественных и жилых зданиях и для рабочих мест производственных помещений.

Обслуживаемая зона помещения (зона обитания) –

пространство в помещении, ограниченное плоскостями, параллельными полу и стенам: на высоте 0,1 и 2,0 м над уровнем пола (но не ближе, чем на 1 м от потолка при потолочном отоплении), на расстоянии 0,5 м от внутренних поверхностей наружных и внутренних стен, окон и отопительных приборов.

Рабочее место – участок помещения, на котором в течение рабочей смены или части ее осуществляется трудовая деятельность. Рабочим местом может являться несколько участков производственного помещения. Если эти участки расположены по всему помещению, то рабочим местом является вся площадь помещения.

Рабочая зона — пространство над уровнем пола или рабочей площадки высотой 2 м при выполнении работы стоя или 1,5 м — при выполнении работы сидя.

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 [4] 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.

Численные значения параметров микроклимата помещений (кроме помещений, для которых метеорологические условия установлены другими нормативными документами) **при отоплении и вентиляции** следует принимать, как правило, по [1,2,4,7], руководствуясь при этом следующими указаниями [7]:

а) в **холодный** период года в обслуживаемой зоне **жилых** помещений температуру воздуха — минимальную из оптимальных температур по [2];

б) в **холодный** период года в обслуживаемой или рабочей 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 следует обеспечивать расчетную температуру воздуха только 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 [7, приложению А] (приложение Е), 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.

е) 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.

ж) 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;

и) параметры микроклимата **при кондиционировании помещений** (кроме помещений, для которых метеорологические условия установлены другими нормативными документами или заданием на проектирование) следует предусматривать для обеспечения параметров воздуха в пределах оптимальных норм:

- в обслуживаемой зоне жилых, общественных и административно-бытовых помещений – по [2] и [5];

- в рабочей зоне производственных помещений или отдельных их участков, а также на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением – по [1] и [4]. Относительную влажность воздуха в кондиционируемых помещениях допускается не обеспечивать по заданию на проектирование.

В местностях с расчетной температурой наружного воздуха в **теплый** период года (по параметрам Б) 30°С и более температуру воздуха **в кондиционируемых помещениях** следует принимать на 0,4 °С выше указанной в [1] и [2] на каждый градус превышения температуры наружного воздуха сверх температуры 30 °С, увеличивая также соответственно скорость движения воздуха на 0,1 м/с на каждый градус превышения температуры наружного воздуха. При этом скорость движения воздуха в помещениях в указанных условиях должна быть не более 0,5 м/с.

Один из параметров микроклимата допускается принимать в пределах допустимых норм вместо оптимальных при согласова-

нии с органом санитарно-эпидемиологического надзора и по заданию на проектирование.

к) Для **производственных помещений с полностью автоматизированным технологическим оборудованием, функционирующим без присутствия людей** (кроме дежурного персонала, находящегося в специальном помещении и выходящего в производственное помещение периодически для осмотра и наладки оборудования не более двух часов непрерывно), при отсутствии технологических требований к температурному режиму помещений температуру воздуха в рабочей зоне следует принимать:

- в холодный период года и переходные условия при отсутствии избытков теплоты — 10°C , а при наличии избытков теплоты — экономически целесообразную температуру;

- в теплый период года при отсутствии избытков теплоты — равную температуре наружного воздуха (параметры А), а при наличии избытков теплоты — на 4°C выше температуры наружного воздуха (параметры А), но не ниже 29°C , если при этом не требуется подогрев наружного воздуха;

В местах производства ремонтных (кроме аварийных) работ (продолжительностью два часа и более непрерывно) следует обеспечивать передвижными установками параметры воздуха:

- минимально допустимые в холодный период года согласно пункту б;

- максимально допустимые в теплый период года согласно пункту в и [7, приложение А] (приложение Е).

Относительная влажность и скорость движения воздуха в производственных помещениях с полностью автоматизированным технологическим оборудованием при отсутствии специальных требований не нормируются.

л) в животноводческих, звероводческих и птицеводческих зданиях, сооружениях для выращивания растений, зданиях для хранения сельскохозяйственной продукции параметры микроклимата следует принимать в соответствии с нормами технологического и строительного проектирования этих зданий.

ПРИМЕРЫ:

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

№ вар.	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 (приложение А) помещение *читального зала* относится к 2 категории.

По таблице 2 ГОСТа 30494 (приложение Б):

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

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

ЗАДАЧА 1.2 Определить оптимальные и допустимые нормы микроклимата на рабочем месте производственного по-

мещения (таблица 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
Категория работ	Ia	Iб	IIa	IIб	III	Ia	Iб	IIa	IIб	III	Ia	Iб	IIa
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 таблице 1 СанПиНа 2.2.4.548-96 (приложение Г), составят: $t = 19-21^{\circ}\text{C}$; $t_n = 18-22^{\circ}\text{C}$; $\varphi = 60-40\%$; $u = 0,2$ м/с.

Допустимые величины показателей микроклимата, определенные по табл. 2 СанПиНа 2.2.4.548-96 (приложение Д), составят:

$$t = 17-23^{\circ}\text{C}; t_n = 16-24^{\circ}\text{C}; \varphi = 15-75\%; u = 0,1-0,3 \text{ м/с.}$$

ЗАДАЧА 1.3 Определить радиационную температуру t_R , результирующую температуру жилого помещения t_n для холодного периода года при заданной температуре наружных стен $t_{с.н.}$, окон $t_{ок}$, потолка $t_{пот}$, пола $t_{пл}$, отопительных приборов $t_{пр}$ (таблица 1.3). Температуры внутренних стен $t_{с.в.}$ принять равной t_b .

Размеры помещения указаны на рисунке.

Площадь окна $A_{ок} = 2,3 \text{ м}^2$; площадь поверхности отопительного прибора $A_{пр} = 1,1 \text{ м}^2$

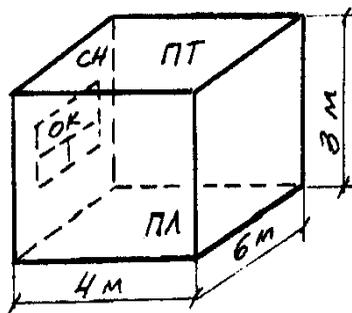


Рисунок 1.1 – К задаче 1.3

Таблица 1.3–Исходные данные к задаче 1.3

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$T_{с.н}, ^\circ\text{C}$	12	13	14	15	16	17	16	15	14	13	12	13	14
$T_{ок}, ^\circ\text{C}$	5	4	3	2	6	2	3	4	5	6	7	6	5
$T_{пт}, ^\circ\text{C}$	14	15	16	17	18	19	18	17	16	15	14	15	16
$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	16	17	18	19	20	21	20	19	18	17	16	17	18
$T_{пр}, ^\circ\text{C}$	40	40	55	50	60	70	65	60	55	50	45	40	50
$t_{в}, ^\circ\text{C}$	18	19	20	18	22	20	22	21	20	18	18	19	20

№ вар	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$T_{с.н}, ^\circ\text{C}$	15	16	17	16	15	14	13	12	13	14	15	16
$T_{ок}, ^\circ\text{C}$	4	3	2	3	4	5	6	7	5	4	3	2
$T_{пт}, ^\circ\text{C}$	17	18	19	18	17	16	15	14	15	16	17	18
$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	19	20	21	20	19	18	17	16	17	18	19	20
$T_{пр}, ^\circ\text{C}$	55	60	70	65	60	55	50	50	60	50	60	70
$t_{в}, ^\circ\text{C}$	21	22	23	22	21	20	19	18	19	20	21	22

Пример. $T_{с.н.} = 12^\circ\text{C}$; $T_{ок} = 5^\circ\text{C}$; $T_{пт} = 14^\circ\text{C}$; $T_{пл} = 16^\circ\text{C}$; $T_{пр} = 40^\circ\text{C}$, $t_{в} = 18^\circ\text{C}$

Решение. Площадь наружной стены $A_{с.н.} = 6 \cdot 3 - 2,3 = 15,7 \text{ м}^2$.

Площадь внутренних стен $A_{с.в.} = 6 \cdot 3 + 2(4 \cdot 3) = 42 \text{ м}^2$;

Площадь пола и потолка $A_{пл} = A_{пт} = 6 \cdot 4 = 24 \text{ м}^2$.

Радиационная температура по формуле (1.3) составит

$$t_R = \frac{12 \cdot 15,7 + 18 \cdot 42 + 16 \cdot 24 + 14 \cdot 24 + 5 \cdot 2,3 + 40 \cdot 1,1}{15,7 + 42 + 24 + 24 + 2,3 + 1,1} = 15,76$$

Т.к. подвижность воздуха в жилом помещении менее 0,2, то результирующую температуру помещения определяем по формуле (1.1)

$$t_n = \frac{18 + 15,76}{2} = 16,88$$

ЗАДАЧА 1.4 Сохраняя условия предыдущей задачи, принять напольное отопление вместо приборного, $t_{пл} = 26$ °С. Сравнить полученное значение t_n с нормируемой ГОСТом. При несоответствии требованиям предложить меры по приведению значения t_n к нормируемому.

2 РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

В зависимости от выбранных расчетных параметров наружного воздуха устанавливается мощность систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Эта мощность в свою очередь определяет возможность поддерживать требуемые параметры воздуха в здании.

Параметры наружного воздуха: температура t_n , °C, удельная энтальпия i_n , кДж/кг, скорость ветра u , м/с, приводятся для различных городов России в теплый и холодный период года в [8] (параметры А и Б).

Расчетными параметрами наружного воздуха для **холодного периода** для всех населенных пунктов приняты:

- параметры **А** – средняя температура наиболее холодного периода и энтальпия (теплосодержание) воздуха, соответствующая этой температуре и средней относительной влажности воздуха самого холодного месяца в 13 часов;

- параметры **Б** – средняя температура наиболее холодной пятидневки и энтальпия (теплосодержание) воздуха, соответствующая этой температуре и средней относительной влажности воздуха самого холодного месяца в 13 часов.

Расчетными параметрами наружного воздуха для **теплого периода** года для всех населенных пунктов приняты:

- параметры **А** – температура и энтальпия (теплосодержание) воздуха, соответствующая средней температуре самого жаркого месяца в 13 часов во всех населенных пунктах, кроме ряда пунктов в северных районах страны, где расчетная температура на 1,5 – 2,5 0C выше средней температуры самого жаркого месяца;

- параметры **Б** – средняя температура воздуха и энтальпия (теплосодержание) воздуха, соответствующая максимальной летней температуре.

Для жилых, общественных, административно-бытовых и производственных помещений следует принимать:

- параметры **А** – для систем вентиляции, и воздушного душирования для теплого периода года;

- параметры **Б** – для систем отопления, вентиляции и воздушного душирования для холодного периода года, а также для систем кондиционирования для теплого и холодного периода года.

Параметры наружного воздуха для переходных условий следует принимать $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 для теплого и холодного периодов года.
- параметры **Б** – для систем отопления для холодного периода года.

ПРИМЕРЫ:

ЗАДАЧА 2.1 Определить расчетные параметры наружного воздуха, если задан проектируемый объект, район строительства, проектируемая система (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Исходные данные к задаче 2.1

№ вар.	Проектируемый объект	Район строительства	Проектируемая система
1	Кинотеатр	Москва	СКВ
2	Больница	Санкт-Петербург	Отопление
3	Административно-бытовой корпус	Воронеж	Вентиляция
4	Деревообрабатывающий цех	Ростов н/Д	Вентиляция
5	Клуб	Волгоград	СКВ
6	Поликлиника	Уфа	Отопление
7	Школа	Ставрополь	Вентиляция
8	Табачная фабрика	Краснодар	Вентиляция
9	Хлебозавод	Брянск	Отопление
10	Развлекательный центр	Астрахань	СКВ
11	Термический цех	Белгород	Воздушное душирование
12	Детский сад	Владимир	Отопление
13	Кинотеатр	Вологда	Вентиляция
14	Клуб	Иваново	Вентиляция
15	Столовая	Иркутск	Вентиляция
16	Боулинг-центр	Калуга	СКВ

Продолжение таблицы 2.1.

17	Машиностроительный завод	Кострома	Вентиляция
18	Школа	Сочи	Отопление
19	Спортклуб	Курск	Вентиляция
20	Сварочный цех	Нижний Новгород	Вентиляция
21	Банк	Омск	СКВ
22	Жилой коттедж	Оренбург	СКВ
23	Поликлиника	Орел	Вентиляция
24	Литейный цех	Пенза	Воздушное душирование
25	Ресторан	Псков	Вентиляция

Пример. Проектируемый объект – кинотеатр. Район строительства г.Ярославль. Проектируется вентиляция.

Решение. Расчетными параметрами наружного воздуха для теплого периода является параметры А, для холодного – Б. Из [8] выписываем численные значения параметров:

- для холодного периода $t_n = -31^{\circ}\text{C}$; $i_n = -30,6$ кДж/кг; $u = 4$ м/с;
- для теплого периода $t_n = 21,6^{\circ}\text{C}$; $i_n = 49,8$ кДж/кг; $u = 3,9$ м/с.

3 РАСЧЕТ ТЕПЛОПOTЕРЬ

3.1 Расчет потерь теплоты через ограждающие конструкции [11], [12].

Потери теплоты через ограждающие конструкции Q , Вт, определяются по формуле

$$Q = \frac{A}{R_0} (t_p - t_n)(1 + \Sigma\beta)n \text{ или } Q = kA(t_p - t_n)(1 + \Sigma\beta)n, \quad (3.1)$$

где A – расчетная площадь ограждающей конструкции, м²;
 R_0 – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м² °C/Вт;
 t_p – расчетная температура воздуха, °C, в помещении с учетом ее повышения в зависимости от высоты помещения более 4 м; (в лестничной клетке изменение температуры по высоте не учитывается);
 t_n – расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года при расчете теплопотерь через наружные ограждения, или температура воздуха более холодного помещения – при расчете потерь теплоты через внутренние ограждения, °C;
 β – добавочные потери теплоты в долях от основных теплопотерь;
 n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающей конструкции к наружному воздуху [6].

Для помещений в общественных или промышленных зданиях высотой более 4 м учитывается повышение t_v по высоте:

- при расчете всех ограждений, попавших в зону высотой до 4 м в формуле расчета теплопотерь принимают $t_p = t_{p.з.}$;
- при расчете теплопотерь через покрытие $t_p = t_{в.з.}$,
- при расчете ограждений, попавших в зону выше 4 м, принимают

$$t_p = (t_{p.з.} + t_{в.з.})/2$$

Температура в верхней зоне помещения, °C:

$$t_{в.з.} = t_{p.з.} + \beta(H - 2),$$

где H – высота всего здания, м;
 β – градиент, учитывающий изменение температуры на каждый метр помещения свыше 4 м.

Виды добавочных теплопотерь

Добавочные потери теплоты β следует принимать в долях от основных потерь:

а) в помещениях любого назначения через наружные вертикальные и наклонные (вертикальная проекция) стены, двери, окна, обращенные на С, В, С-В С-З в размере 0,1; на Ю-В и З – в размере 0,05;

б) добавки на угловые помещения и помещения, имеющие более одной наружной стены (**кроме жилых помещений жилых домов**), принимают равными $\beta 0,05$ к основным теплопотерям вертикальных наружных ограждений (стен, окон, дверей), если хотя бы одно ограждение ориентировано на север, восток, северо-восток и северо-запад, т.е. если есть хотя бы одна добавка на ориентацию, равная 0,1. В противном случае добавку на наличие угла нужно принимать равной 0,1. Таким образом, сумма добавок на ориентацию и наличие угла не может превышать 0,15.

В угловых и имеющих **более одной наружной** стены **жилых помещениях** и других подобных зданий (например, в спальнях детских учреждений) температура внутреннего воздуха принимается на 2 °С выше, а добавка $\beta 0,05$, не вводится. Если в жилом помещении **более двух наружных стен**, температура внутреннего воздуха принимается на 2 °С выше, и вводится добавка $\beta 0,05$ к основным теплопотерям вертикальных наружных ограждений.

в) через необогреваемые полы первого этажа над холодными подпольями зданий в местностях с расчетной температурой наружного воздуха минус 40 °С и ниже (параметры Б) – в размере 0,05;

г) через наружные двери, не оборудованные воздушными или воздушно-тепловыми завесами (ВТЗ), при высоте здания H , м, от средней планировочной отметки земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты в размере:

0,2 H – для тройных дверей с двумя тамбурами между ними;

0,27 H – для двойных дверей с тамбуром между ними;

0,34 H – для двойных дверей без тамбура;

0,22 H – для одинарных дверей.

Вращающиеся двери при определении добавок на врывание холодного воздуха рассматриваются как двойные без тамбу-

ра.

Наружные ворота (в том числе ворота гаражей и загрузочных магазинов и ресторанов) при отсутствии тамбура и воздушно-тепловых завес рассчитывают с добавкой $\beta=3$, при наличии тамбура у ворот – с добавкой $\beta = 1$. Указанные добавки не относятся к летним и запасным (пожарным) наружным дверям и воротам, а также к выходам на кровлю и в подвал.

Вращающиеся двери при определении добавок на врывание холодного воздуха рассматриваются как двойные без тамбура.

Особенности расчета теплопотерь через полы на грунте (утепленные и неутепленные) и полы на лагах.

Всю площадь пола следует разделить на 4 зоны. Первые три зоны – это полосы шириной 2м вдоль наружных стен. Четвертая зоны – вся оставшаяся площадь (рисунок 3.1).

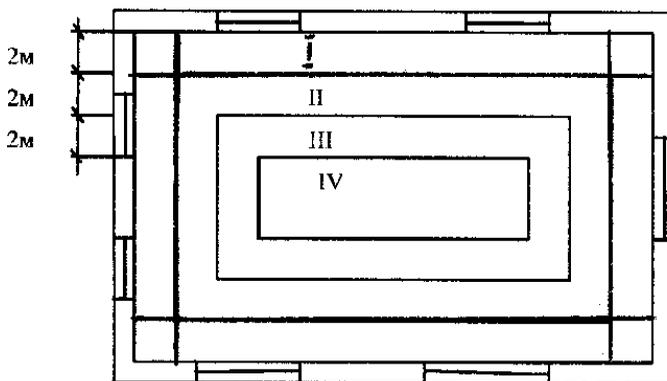


Рисунок 3.1 – Схема деления площади пола на грунте или на лагах на зоны при расчете теплопотерь

Потери теплоты следует определять по формуле

$$Q = (A_I / R_{I \text{ н.п.}} + A_{II} / R_{II \text{ н.п.}} + A_{III} / R_{III \text{ н.п.}} + A_{IV} / R_{IV \text{ н.п.}}) (t_b - t_n), \quad (3.2)$$

где $A_{I...IV}$ – площади зон, м^2 ;

$R_{I \text{ н.п.}} \dots R_{IV \text{ н.п.}}$ – сопротивление теплопередаче соответствующей зоны, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, пола на грунте неутепленного [$\lambda \geq 1,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$], принимаемые, равными: 2,1 – для I зоны; 4,3 – для II зоны; 8,6 – для III зоны; 14,2 – для IV зоны.

Для утепленных полов на грунте, т.е. при наличии слоев с коэффициентом теплопроводности $\lambda < 1,2$ Вт/(м °С), и стен, расположенных ниже уровня земли, термическое сопротивление каждой зоны $R_{ут.п.}$, м² °С/Вт, определяется по формуле

$$R_{ут.п.} = R_{н.п.} + \sum \frac{\delta_{ум.}}{\lambda_{ум.}} \quad (3.3)$$

Для пола на лагах $R_{лаг.ут.}$, м² °С/Вт, следует определять по формуле

$$R_{лаг.ут.} = 1,18(R_{н.п.} + \sum \frac{\delta_{ум.}}{\lambda_{ум.}}), \quad (3.4)$$

где $\delta_{ут.}$ и $\lambda_{ут.}$ – соответственно толщина, м, и коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С), материала утепляющего слоя.

Размеры ограждений для определения их площади следует принимать в соответствии с правилами обмера наружных ограждений (рисунок 3.2).

Расчет теплопотерь ведется в табличной форме (таблица Ж.1 приложения Ж)

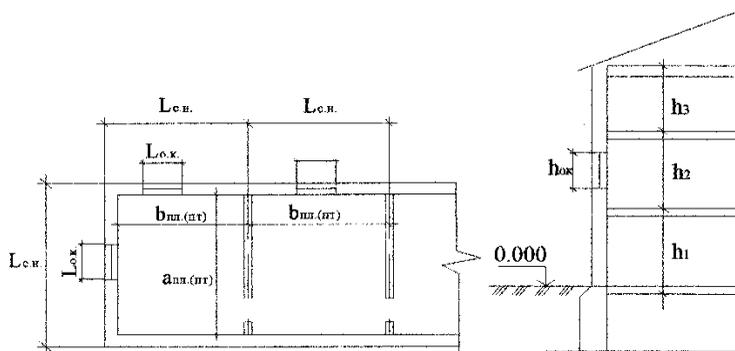


Рисунок 3.2 – Правила обмера наружных ограждений при расчете теплопотерь

3.2 Определение расхода теплоты на нагревание воздуха, инфильтрующегося через наружные ограждения

Расход теплоты Q_i , Вт, на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха следует определять по формуле

$$Q_i = 0,28 \cdot \Sigma G_i c (t_b - t_n) k, \quad (3.5)$$

где G_i – расход инфильтрующегося воздуха, кг/ч, через ограждающие конструкции помещения, определяемый по формуле (3.7);

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

t_b и t_n – расчетные температуры воздуха, °С, соответственно в помещении (средняя, с учетом повышения для помещений высотой более 4 м) и наружного воздуха в холодный период года (параметры Б);

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

Расход теплоты Q_i , Вт, на нагревание инфильтрующегося воздуха в помещениях **жилых и общественных** зданий при естественной вытяжной вентиляции, не компенсируемого подогретым приточным воздухом, следует принимать равным большей из величин полученным по формулам (3.5) и (3.6):

$$Q_i = 0,28 L_n \rho \cdot c (t_b - t_n) k, \quad (3.6)$$

где L_n – расход удаляемого воздуха, м³/ч, не компенсируемый подогретым приточным воздухом; для жилых зданий – удельный нормативный расход 3 м³/ч на 1 м² жилых помещений;

ρ – плотность воздуха в помещение, кг/м³, может быть принята 1,2.

Расход инфильтрующегося воздуха в помещении G_i , кг/ч, через неплотности наружных ограждений следует определять по формуле

$$G_i = 0,216 \sum A_1 \Delta p_i^{0,67} / R_{inf} + \sum A_2 G_n (\Delta p_i / \Delta p_1)^{0,67} + 3456 \sum A_3 \Delta p_i^{0,5} + 0,5 \sum l (\Delta p_i / \Delta p_1), \quad (3.7)$$

- где A_1 – площадь световых проемов (окон, балконных дверей, фонарей), m^2 ;
 A_2 – площадь стен (без площади световых проемов), m^2 ;
 A_3 – площадь щелей, неплотностей и проемов в наружных ограждающих конструкциях;
 l – длина стыков стеновых панелей, m ;
 $\Delta p_i, \Delta p_1$ – расчетная разность между давлениями на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций соответственно на расчетном этаже и на уровне первого этажа при $\Delta p_1 = 10$ Па;
 R_{inf} – сопротивление воздухопроницанию, $m^2 \cdot ч \cdot Па/кг$;
 G_n – нормативная воздухопроницаемость наружных ограждающих конструкций, $кг/(m^2 \cdot ч)$ [6].
 Расчетная разность давлений Δp_i определяется по формуле

$$\Delta p_i = (H - h_i)(\gamma_n - \gamma_v) + 0,5 \rho_n v^2 (C_{e,n} - C_{e,p}) K_1 - p_v, \quad (3.8)$$

- где H – высота здания, m , от уровня средней планировочной отметки земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты;
 h_i – расчетная высота, m , от уровня земли до верха окон, балконных дверей, ворот, проемов или до оси горизонтальных и середины вертикальных стыков стеновых панелей;
 γ_n и γ_v – удельный вес, $Н/м^3$, соответственно наружного воздуха и воздуха в помещении, определяемый по формуле

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t} \quad (3.9)$$

- v – скорость ветра, $м/с$;
 $C_{e,n}, C_{e,p}$ – аэродинамические коэффициенты соответственно для наветренной и подветренной поверхностей ограждений здания (принимаем $C_{e,n} = 0,8$ и $C_{e,p} = -0,6$ по [9]);
 K_1 – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания по [9];
 p_v – условно-постоянное давление воздуха в здании, Па:

$$p_{int} = g(H - h_i)(\rho_{н5} - \rho_v), \quad (3.10)$$

- где $\rho_{н5}$ – плотность наружного воздуха при температуре $+ 5$ °С,

Основы обеспечения микроклимата зданий (включая теплофизику здания). Раздел 2 «Основы обеспечения микроклимата здания»

кг/м³;

ρ_v – плотность воздуха внутри помещения, кг/м³.

H, h_i — то же, что и в формуле (3.8)

4 ВЛАЖНЫЙ ВОЗДУХ

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.

Уравнение состояния идеального газа может быть представлено следующими уравнениями:

$$p\nu = RT \quad \text{– для 1 кг газа;} \quad (4.1)$$

$$pV = MRT \quad \text{– для M кг газа;} \quad (4.2)$$

$$pV_{\mu} = \mu RT \quad \text{– для 1 киломоля газа,} \quad (4.3)$$

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 кмолья газа, м³/кмоль;
 μR – универсальная газовая постоянная 1 кмолья газа, Дж/(кмоль·град)
 $\mu R = 8314$ Дж/(кмоль·град)
 T – температура газа, К
 Газовая постоянная для 1 кг газа определяется из условия

$$R = \frac{8314}{\mu}, \quad (4.4)$$

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

Объем 1 кмолья всех идеальных газов при нормальных условиях (температура 0 °С, барометрическое давление 760 мм рт. ст.) равен 22,4 м³/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:

$$\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2}; \quad (4.5)$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (4.6)$$

Закон Дальтона – сумма парциальных давлений газовых компонентов смеси Σp_i равна полному давлению смеси P:

$$P = \Sigma p_i \quad (4.7)$$

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

$$\mu_{с.в.} = 29 \frac{\text{кг}}{\text{моль}});$$

Тогда барометрическое давление влажного воздуха B , Па будет равно сумме парциальных давлений сухого воздуха

$p_{c.в.}$ и водяного пара p_n ; т. е.

$$B = p_{c.в.} + p_n \quad (4.8)$$

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

$$T = t + 273, \quad (4.9)$$

где T – абсолютная температура, К;
 t – температура по шкале Цельсия, °С.

Удельный объем v , м³/кг, воздуха представляет собой объем единицы его массы. Если V – объем, м³, занимаемый воздухом массой M , кг, то удельный объем

$$v = \frac{V}{M}. \quad (4.10)$$

Величина, обратная удельному объему, представляет собой массу единицы объема и называется **плотностью** ρ , кг/м³, т. е.

$$\rho = \frac{M}{V}. \quad (4.11)$$

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

$$\rho_{c.в.} = \frac{353}{T}. \quad (4.12)$$

Плотность пара

$$\rho_n = \frac{219}{T} \quad (4.13)$$

Зная значение плотности сухого воздуха для определенных условий (например, $\rho_{c.в.} = 1,2 \text{ кг} / \text{м}^3$ при $t=20^0 \text{ C}$ и $V=101325 \text{ Па}$) и используя зависимость (4.5), можно определить плотность сухого воздуха при другом давлении $p_{c.в.}$ и другой температуре T . Уравнение (4.5) может быть записано следующим образом

$$\frac{p_1}{\rho_1 T_1} = \frac{p_2}{\rho_2 T_2}$$

отсюда

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{p_2 T_1}{p_1 T_2}. \quad (4.14)$$

Подставив в (4.14) значения для стандартных условий ($t=20^0 \text{ C}$; $V=101325 \text{ Па}$), получаем значение плотности сухого воздуха для заданных давления и температуры

$$\rho_{c.в.} = 3,5 \cdot 10^{-3} \frac{p_{c.в.}}{T}, \quad (4.15)$$

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

$$\rho_v = \frac{353}{T} - \frac{1.32 \cdot 10^{-3} \cdot p_n}{T}. \quad (4.16)$$

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 (4.16), учитывающего разницу плотности влажного и сухого воздуха, при прочих равных условиях составит всего 0,75% величины $\rho_{c.v.}$. Поэтому в инженерных расчетах в тех случаях, когда качественное различие плотности сухого и влажного воздуха не имеет значения, обычно считают, что $\rho_{c.v.} \approx \rho_v$.

Абсолютная влажность воздуха – это масса водяного пара, содержащегося в 1 м³ 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.

$$\varphi = \frac{\rho_n}{\rho_{\max}}. \quad (4.17)$$

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

Относительная влажность может быть также представлена, как отношение парциального давления водяного пара в ненасы-

щенном влажном воздухе p_n к парциальному давлению водяного пара при той же температуре и полном насыщении P_n , то есть

$$\varphi = \frac{P_n}{p_n}. \quad (4.18)$$

Если $p_n < P_n$, 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)

$$p_n = 479 + (11,52 + 1,62t)^2. \quad (4.19)$$

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. Влагосодержание d , г/кг, может быть определено по формуле

$$d = 623 \frac{P_n}{B - p_n}, \quad (4.20)$$

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

Из уравнения (4.20) следует

$$p_n = B \frac{d}{623 + d}, \quad (4.21)$$

т. е. парциальное давление пара при данном давлении яв-

ляется функцией только влагосодержания.

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

$$d = 623 \frac{\varphi \cdot p_n}{B - \varphi \cdot p_n} \quad (4.22)$$

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.

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

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

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

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 $i_{с.в.}$ при температуре $t=0^0\text{С}$ принимают равной нулю. При произвольном значении температуры

$$i_{с.в.} = c_{с.в.} \cdot t. \quad (4.23)$$

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

$$i_n = 2500 + 1,8t. \quad (4.24)$$

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

$$i = 1,005t + \frac{(2500 + 1,8t)d}{1000}. \quad (4.25)$$

Если ввести характеристику теплоемкости влажного воздуха

$$c_a = 1,005 + \frac{1,8d}{1000}, \text{ тогда } i = c_a t + \frac{rd}{1000}. \quad (4.26)$$

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 0^0 его энтальпия имеет отрицательное значение.

ПРИМЕРЫ:

ЗАДАЧА 4.1. Определить объем, который занимает масса воздуха G , кг, при температуре t , ^0C и барометрическом давлении B , мм рт. ст.(таблица 4.1)

Таблица 4.1 – Исходные данные к задаче 4.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
M , кг	500	700	1000	1200	1400	1500	1700	2000	2200	2400	2500	2800
t ^0C	30	27	25	23	21	19	18	15	12	10	5	3
B , мм рт. ст.	720	723	725	728	731	735	738	741	745	747	749	752

Вариант	13	14	15	16	17	18	19
M, кг	3000	3200	3400	3500	4000	4300	4500
t, °C	0	-2	-5	-7	-10	-15	-17
V, мм рт. ст.	755	757	762	764	767	770	773

Вариант	20	21	22	23	24	25
M, кг	4800	5000	5500	6000	6500	7000
t, °C	-18	-20	-22	-24	-25	-27
V, мм рт. ст.	777	780	782	785	787	790

Пример. Задано M=750, t=30°C; V=772 мм рт. ст.

Решение. По формуле (4.2)

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

ЗАДАЧА 4.2 Известна масса 1 м³ воздуха при определенных условиях (таблица 4.2). Определить плотность и удельный объем при этих условиях.

Таблица 4.2 – Исходные данные к задаче 4.2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Масса 1м ³ воздуха, кг	1,396	1,374	1,363	1,353	1,348	1,342	1,332	1,322

Вариант	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Масса 1м ³ воздуха, кг	1,303	1,284	1,275	1,265	1,256	1,248	1,239	1,230	1,222	1,213

Вариант	19	20	21	22	23	24	25
Масса воздуха 1м ³ , кг	1,205	1,192	1,189	1,181	1,173	1,165	1,161

Пример. Масса 1 м^3 воздуха составляет 1,226 кг.

Решение. При этих условиях плотность воздуха ρ составляет

1,226 кг/м³. Удельный объем по формуле (4.10)

$$v = \frac{1}{1,226} = 0,816 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}.$$

ЗАДАЧА 4.3 Определить плотность сухого воздуха при нормальном давлении и заданной температуре t . (таблица 4.3)

Таблица 4.3 – Исходные данные к задаче 4.3

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 по формуле (4.12) составит:

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

ЗАДАЧА 4.4 Определить плотность сухого воздуха при заданных температуре t и давлении P , отличающихся от стандартных (табл. 4.4).

Таблица 4.4 – Исходные данные к таблице 3.4

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
B , 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
$t, ^\circ C$	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
B , мм рт. ст.	755	757	762	764	767	770	773	777	780	782	785	787	790

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

Решение. По формуле (4.15) плотность сухого воздуха будет равна:

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

ЗАДАЧА 4.5 Определить плотность влажного воздуха при температуре $t, ^\circ C$, если парциальное давление водяных паров равно p_n , мм рт. ст. (табл. 4.5). Определить, на сколько процентов плотность влажного воздуха отличается от плотности сухого воздуха.

Таблица 4.5–Исходные данные к задаче 4.5

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t, ^\circ C$	-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

Вариант	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$t, ^\circ C$	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, определенная по формуле (4.16), составит

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

Плотность сухого воздуха при этих же условиях

$$\rho_{с.в.} = 1,226 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

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

ЗАДАЧА 4.6 Определить газовую постоянную и плотность водяного пара при температуре t_n (табл. 4.6), барометрическом давлении $B=760$ мм рт. ст.

Таблица 4.6 – Исходные данные к задаче 4.6

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_n, ^\circ\text{C}$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32

Вариант	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$t_n, ^\circ\text{C}$	34	36	38	40	42	44	46	48	50	55	60	65	70

Пример. $t_n = 25^\circ$; $B=760$ мм рт. ст.; $\rho_n - ?$

Решение. Газовая постоянная пара в соответствии с (4.4)

$$R_n = \frac{8314}{18} = 461,9$$

Плотность пара определенная по формуле (4.13) составит

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

ЗАДАЧА 4.7 Определить влагосодержание воздуха при температуре $t, ^\circ\text{C}$, относительной влажности $\varphi, \%$ и барометрическом давлении $B=760$ мм рт. ст. (таблица 4.7)

Таблица 4.7 – Исходные данные к задаче 4.7

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t, ^\circ C$	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
$t, ^\circ C$	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 $t = 20^\circ C$, $\varphi = 60\%$

Решение. По таблице, характеризующей свойства влажного воздуха (приложение И), для $t = 20^\circ C$ находят величину парциального давления насыщенного пара $p_n = 17,53 \text{ мм.рт.ст.} = 2337,13 \text{ Па}$

По формуле (4.22) влагосодержание составит

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

ЗАДАЧА 4.8 Определить парциальное давление водяного пара во влажном насыщенном воздухе p_n и влагосодержание d при различных температурах воздуха: t_1 и t_2 (табл. 4.8), $B = 760 \text{ мм.рт.ст.}$, $\varphi = 100\%$. Сделать вывод об изменении этих параметров при изменении температуры воздуха

Таблица 4.8 – Исходные данные к задаче 4.8

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_1, ^\circ C$	4	5	6	7	8	9	10	9	8	7	6	5
$t_2, ^\circ C$	10	12	18	20	22	25	26	28	24	18	20	10

Вариант	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$t_1, ^\circ C$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$t_2, ^\circ C$	18	24	14	15	18	25	21	23	24	26	25	28	30

Пример. $t_1 = 6^\circ C$; $t_2 = 24^\circ C$; $p_{n_1} - ?$; $p_{n_2} - ?$; $d_1 - ?$; $d_2 - ?$.

Решение. Парциальное давление водяного пара в насыщенном влажном воздухе можно определить по приложению И или по формуле (4.19)

При $t_1 = 6^\circ C$ $\rho_{n_1} = 479 + (1,52 + 1,62 \cdot 6)^2 = 930,14$ Па, тогда влагосодержание, определенное по формуле (4.20), составит $d_1 = 623 \frac{1 \cdot 930,14}{101325 - 1 \cdot 930,14} = 5,77 g / kg$

При $t = 24^\circ C$ $\rho_{n_2} = 479 + (1,52 + 1,62 \cdot 24)^2 = 3019,16 Pa$

$$d_2 = 623 \frac{1 \cdot 3019,16}{101325 - 1 \cdot 3019,16} = 19,13 g / kg$$

Вывод: влагосодержание насыщенного воздуха зависит от температуры: повышается с ее увеличением.

ЗАДАЧА 4.9 Определить состояние воздуха при заданной температуре t_e и парциальном давлении в нем p_n (таблица 4.9) В=760 мм рт. ст.

Таблица 4.9 – Исходные данные к задаче 4.9

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_e, ^\circ C$	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2
p_n , мм.рт.ст.	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	2	3	5	7

Вариант	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$t_e, ^\circ C$	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
p_n , мм. рт. ст.	8	10	12	14	16	18	20	25	30	34	36	38	40

Пример. $t_e = -17^{\circ}C; p_n = 0,3 \text{ мм.рт.ст.}$

Решение. По приложению И определяем p_n . Для $t_e = -17^{\circ}C; p_n = 1,207$.

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

ЗАДАЧА 4.10 Состояние влажного воздуха характеризуется температурой $t^{\circ}C$, относительной влажностью $\varphi, \%$.

Барометрическое давление B . Найти парциальное давление пара в воздухе p_n и влагосодержание d .

Таблица 4.10 – Исходные данные к задаче 4.10

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t, ^{\circ}C$	5	7	9	11	12	14	15	16	18	21	22	23
$\varphi, \%$	25	27	29	30	32	34	36	38	40	42	44	46
В мм.рт. ст.	730	740	770	785	782	780	777	773	767	764	762	757

Вариант	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$t, ^{\circ}C$	24	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	38
$\varphi, \%$	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	75
В мм.рт. ст.	757	755	752	749	745	741	738	735	731	728	725	723	720

Пример. $t = 25^{\circ}C; \varphi = 80\%; B = 745 \text{ мм.рт.ст.}$

Решение. По приложению И для $t = 25^{\circ}C; p_n = 23,76 \text{ мм.рт.ст.}$

Из формулы (4.18); $p_n = 0,8 \cdot 23,76 = 19,0 \text{ мм.рт.ст.}$

По формуле (4.20) $d = 623 \frac{19}{745 - 19} = 16,3 \text{ г/кг}$



ЗАДАЧА 4.11 Задано состояние влажного воздуха:

- температура $t; ^\circ C$;
- парциальное давление водяного пара $p_n, Па$;
- барометрическое давление B , мм. рт. ст. (таблица 4.11)

Определить:

- относительную влажность $\varphi; \%$
- влагосодержание $d, г/кг$.
- плотность $\rho, кг/м^3$

Таблица 4.11 – Исходные данные к задаче 4.11

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t, ^\circ C$	30	28	26	24	22	21	18	16	14	12	10	8
p_n , мм. рт. ст.	17,2	16,9	14,9	13,2	11,7	10,5	9,2	8,1	7,1	6,2	5,4	4,7
B , 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
$t, ^\circ C$	6	4	2	-2	-5	-7	-8	-10	-13	-15	-17	-19	-20
p_n , мм. рт. ст.	4,1	3,6	3,1	2,2	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1	0,92	0,77	0,66	0,55
B , мм.рт.ст.	755	757	762	764	767	770	773	777	780	782	785	787	790

Пример. Задано: $t = 33^{\circ}C$; $p_n = 18,5 \text{ мм.рт.ст.}$; $B = 730 \text{ мм.рт.ст.}$

Решение. По приложению И при $t = 33^{\circ}C$ парциальное давление насыщенных водяных паров $p_n = 37,73$ мм. рт. ст. $= 5030 Па$. Относительная влажность воздуха составит

$$\varphi = \frac{18,5}{37,73} \cdot 100\% = 49\%$$

Влагосодержание по формуле (4.20) составит

$$d = 623 \frac{18,5}{730 - 18,5} = 16,2 \text{ г/кг}$$

Плотность воздуха определенная по формуле (4.15),
составит $\rho = 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{97325,1}{273 + 33} = 1,1 \text{ кг/м}^3$

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.1.005-88 (2001) Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
2. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
3. СанПиН 2.1.2.1002 – 00. Санитарно-эпидемиологические требования к жилым зданиям и помещениям.
4. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
5. СанПиН 2.1.2.2645. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях
6. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003
7. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
8. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23- 01-99 (2003).
9. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*
10. АВОК СТАНДАРТ-1-2004. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена.
11. Малявина Е.Г. Теплопотери здания. Справочное пособие. – М.: «АВОК-ПРЕСС», 2007.
12. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – Кн.1. – М.: Стройиздат, 1992. – 320 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, совмещенный санузел	24-26	18-26	23-27	17-26	НН	НН	0,15	0,2
	Помещения для отдыха и учебных занятий	20-22	18-24	19-21	17-23	45-30	60	0,15	0,2
	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
Теплый	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 дошкольных 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
Теплый	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	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
	Iб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
	IIa (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	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1
	Iб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1
	IIa (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 °С и выше максимально допустимые величины относительной влажности воздуха не должны выходить за пределы: 70% – при температуре воздуха 25 °С, 65% – при 26°С, 60% – при 27°С, 55% – при 28°С.
- При температурах воздуха 26 – 28 °С 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 Iб; 0,2-0,4 – при категории IIa; 0,2-0,5 – при категории IIб и III.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
ДОПУСТИМЫЕ НОРМЫ ТЕМПЕРАТУРЫ, ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ И
СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА В ОБСЛУЖИВАЕМОЙ ИЛИ РАБОЧЕЙ ЗОНЕ
ОБЩЕСТВЕННЫХ, АДМИНИСТРАТИВНО-БЫТОВЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ПОМЕЩЕНИЙ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА
(СП 60.13330.2012)

Таблица Е.1

Назначение	Категория работ	Температура, °С			Скорость движения воздуха, м/с, не более	Относительная влажность воздуха, %, не более	
		в обслуживаемой или рабочей зоне	на постоянных рабочих местах	на непостоянных рабочих местах			на постоянных и непостоянных рабочих местах
1	2	3	4	5	6	7	
Общественное, административно-бытовое	—	Не более чем на 3 °С выше расчетной температуры наружного воздуха (параметры А)*			0,5	65**	
Производственное	Легкая	На 4 °С выше расчетной температуры наружного воздуха (параметры А) и не более указанных в гр.4 и 5				75	
	Iа		28/31	30/32	0,2		
	Iб		28/31	30/32	0,3		
	Средней тяжести:						
	IIа		27/30	29/31	0,4		
	IIб		27/30	29/31	0,5		
	Тяжелая:						
	III		26/29	28/30	0,6		

* Но не более 28 °С для общественных и административно-бытовых помещений с постоянным пребыванием людей и не более 33 °С для указанных помещений, расположенных в районах с расчетной температурой наружного воздуха (параметры А) 25 °С и выше.

** Допускается принимать до 75% в районах с расчетной относительной влажностью воздуха более 75% (параметры А).

Примечания

1 Нормы установлены для людей, находящихся в помещении более 2 ч непрерывно.

2 В таблице в графах 4 и 5 допустимые нормы внутреннего воздуха приведены в виде дроби: в числителе – для районов с расчетной температурой наружного воздуха (параметры А) ниже 25 °С; в знаменателе – для районов с расчетной температурой наружного воздуха (параметры А) 25 °С и выше.

3 Для помещений, расположенных в районах с расчетной температурой наружного воздуха (параметры А) ниже 25 °С, температуру на рабочих местах следует принимать не более указанной в числителе граф 4 и 5, с расчетной температурой 25 °С и выше – не более указанной в знаменателе граф 4 и 5.

4 Для районов с расчетной температурой наружного воздуха (параметры А) 18 °С и ниже вместо 4 °С, указанных в графе 3, допускается принимать 6 °С.

5 Нормативная разность температур между температурой на рабочих местах и температурой наружного воздуха (параметры А) 4 °С или 6 °С может быть увеличена при обосновании расчетом в соответствии с 5.4.

6 В районах с расчетной температурой наружного воздуха (параметры А) t , °С, на постоянных и непостоянных рабочих местах, превышающей:

а) 28 °С – на каждый градус разности температур $(t - 28)$, °С, следует увеличивать скорость движения воздуха на 0,1 м/с, но не более чем на 0,3 м/с выше скорости, указанной в графе 6;

б) 24 °С – на каждый градус разности температур $(t - 24)$, °С, допускается принимать относительную влажность воздуха на 5% ниже относительной влажности, указанной в графе 7.

7 В климатических зонах с высокой относительной влажностью воздуха (вблизи морей, озер и др.), а также при применении адиабатного увлажнения приточного воздуха для обеспечения на рабочих местах температур, указанных в графах 4 и 5, допускается принимать относительную влажность воздуха на 10% выше относительной влажности, определенной в соответствии с примечанием 6 б.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Таблица Ж.1– Форма таблицы для расчета теплотерь помещения

Помещение		Наружные ограждения					Расчетная разность температур $(t_b - t_v)n$, °С	Основные теплотери $Q_{осн.}$, Вт	
Номер	Наименование, температура воздуха t_b , °С	Наименование	Ориентация	Размеры, м		Площадь A , м ²			Коэффициент теплопередачи K , Вт/(м ² °С)
				а	в, h				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Окончание таблицы Ж.1

Добавки β			Теплотери через ограждение $Q_{огр.}$, Вт	Теплотери на инфильтрацию $Q_{инф.}$, Вт	Общие теплотери $Q_{общ.}$, Вт
На ориентацию	Прочие	$1 + \sum \beta$			
11	12	13	14	15	16

ПРИЛОЖЕНИЕ И

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА ПРИ ДАВЛЕНИИ 760 ММ РТ. СТ.

Температура, °С	1 м ³ сухого воздуха			Упругость насыщенных водяных паров, мм рт. ст.	Содержание водяного пара при полном насыщении		
	вес, кг	взятый при 0° даст при t° (1=αt), м ³	взятый при t° даст при 0° $\frac{1}{1+\alpha t} \cdot \text{м}^3$		в 1 м ³ воздуха, г	в 1 кг влажного воздуха, г	на 1 кг сухого воздуха, г
1	2	3	4	5	6	7	8
-20	1,396	0,927	1,079	0,927	1,1	0,80	0,77
-19	1,390	0,930	1,075	1,015	1,2	0,85	0,86
-18	1,385	0,934	1,071	1,116	1,3	0,92	0,93
-17	1,379	0,938	1,066	1,207	1,4*	1,03	1,04
-16	1,374	0,941	1,062	1,308	1,5	1,10	1,11
-15	1,368	0,945	1,058	1,400	1,6	1,19	1,20
-14	1,363	0,949	1,054	1,549	1,7	1,29	1,30
-13	1,358	0,952	1,050	1,680	1,9	1,39	1,40
-12	1,353	0,956	1,046	1,831	2,0	1,49	1,50
-11	1,348	0,959	1,042	1,985	2,2	1,64	1,65
-10	1,342	0,963	1,038	2,140	2,3	1,78	1,79
-9	1,337	0,967	1,034	2,267	2,5	1,91	1,93
-8	1,332	0,971	1,030	2,455	2,7	2,06	2,08
-7	1,327	0,974	1,026	2,658	2,9	2,23	2,25
-6	1,322	0,978	1,023	2,876	3,1	2,38	2,40
-5	1,317	0,982	1,019	3,160	3,4	2,58	2,60
-4	1,312	0,985	1,015	3,368	3,6	2,78	2,80
-3	1,308	0,989	1,011	3,644	3,9	3,09	3,10
-2	1,303	0,993	1,007	3,941	4,2	3,29	3,28
-1	1,298	0,996	1,004	4,263	4,5	3,57	3,58
0	1,293	1,000	1,000	4,580	4,9	3,78	3,80
1	1,288	1,004	0,996	4,940	5,2	4,07	4,15
2	1,284	1,007	0,993	5,302	5,6	4,40	4,48
3	1,279	1,011	0,989	5,687	6,0	4,71	4,77
4	1,275	1,015	0,986	6,097	6,4	5,05	5,10
5	1,270	1,018	0,982	6,534	6,8	5,35	5,40
6	1,265	1,022	0,979	6,998	7,3	5,70	5,78
7	1,261	1,026	0,975	7,492	7,7	6,10	6,21
8	1,256	1,029	0,972	8,017	8,3	6,60	6,65
9	1,252	1,033	0,968	8,574	8,8	7,00	7,13
10	1,248	1,037	0,965	9,210	9,4	7,50	7,63
11	1,243	1,040	0,961	9,840	9,9	8,00	8,15
12	1,239	1,044	0,958	10,520	10,6	8,60	8,75
13	1,235	1,048	0,955	11,222	11,2	9,20	9,35
14	1,230	1,051	0,951	11,988	12,0	9,80	9,97
15	1,226	1,055	0,948	12,79	12,8	10,5	10,6
16	1,222	1,059	0,945	13,63	13,6	11,2	11,4
17	1,217	1,062	0,941	14,53	14,4	11,9	12,1
18	1,213	1,066	0,938	15,48	15,3	12,7	12,9
19	1,209	1,070	0,935	16,48	16,2	13,5	13,8
20	1,205	1,073	0,932	17,53	17,2	14,4	14,7
21	1,201	1,077	0,929	18,65	18,2	15,3	15,6
22	1,197	1,081	0,925	19,83	19,3	16,3	16,8
23	1,193	1,084	0,922	21,07	20,4	17,3	17,7
24	1,189	1,088	0,919	22,38	21,6	18,4	18,8
25	1,185	1,092	0,916	23,76	22,9	19,5	20,0
26	1,181	1,095	0,913	25,21	24,2	20,7	21,4

27	1,177	1,099	0,910	26,74	25,6	22,0	22,6
28	1,173	1,103	0,907	28,35	27,0	23,4	24,0
29	1,169	1,106	0,904	30,04	28,5	24,8	25,6
30	1,165	1,110	0,901	31,82	30,1	26,3	27,2
31	1,161	1,114	0,898	33,70	31,8	27,8	28,8
32	1,157	1,117	0,895	35,66	33,5	29,5	30,6
33	1,154	1,121	0,892	37,73	35,4	31,2	32,5
34	1,150	1,125	0,889	39,80	37,3	33,1	34,4
35	1,146	1,128	0,889	42,18	39,3	35,0	35,6
36	1,142	1,132	0,884	44,56	41,4	37,0	38,8
37	1,139	1,136	0,881	47,07	43,6	39,2	41,1
38	1,135	1,139	0,878	49,69	45,9	41,4	43,5
39	1,132	1,143	0,875	52,44	48,3	43,8	46,0
40	1,128	1,147	0,872	55,32	50,8	46,3	48,9
41	1,124	1,150	0,869	58,34	53,4	48,9	51,7
42	1,121	1,154	0,867	61,50	56,1	51,6	54,8
43	1,117	1,158	0,864	64,80	58,9	54,5	58,0
44	1,114	1,161	0,861	68,26	61,9	57,5	61,3
45	1,110	1,165	0,858	71,88	65,0	60,7	65,0
46	1,107	1,169	0,856	75,65	68,2	64,0	68,9
47	1,103	1,172	0,853	79,60	71,5	67,5	72,5
48	1,100	1,176	0,850	83,70	75,0	71,1	77,0
49	1,096	1,180	0,848	88,02	78,6	75,0	81,5
50	1,093	1,183	0,845	92,51	83,3	79,0	86,3
51	1,089	1,187	0,843	97,20	86,3	83,2	91,3
52	1,086	1,191	0,840	102,10	90,4	87,8	96,6
53	1,083	1,194	0,837	107,20	94,6	92,3	102,0
54	1,080	1,198	0,835	112,50	99,1	97,2	108,0
55	1,076	1,202	0,832	118,00	103,6	102,3	114,0
56	1,073	1,205	0,830	123,80	108,4	107,6	121,0
57	1,070	1,209	0,827	1293,80	113,3	113,2	128,0
58	1,067	1,213	0,825	136,10	118,5	119,1	136,0
59	1,063	1,216	0,822	142,60	123,8	125,2	144,0
60	1,060	1,220	0,820	149,40	129,3	131,7	152,0

ПРИЛОЖЕНИЕ К

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ЕДИНИЦАМИ ДАВЛЕНИЯ

Единицы	Ньютон на квадратный метр Н/м ²	Бар (10 ⁵ н/м ²)	Техническая атмосфера, ат	Физическая атмосфера, атм
1 Н/м ²	1	10 ⁻⁵	1,01972x10 ⁻⁵	0,98692x10 ⁻⁵
1 бар	10 ⁵	1	1,01972	0,98692
1 кг/см ² (1 ат)	98066,5	0,980665	1	0,96784
1 атм (физ.)	101325	1,01325	1,03323	1
10 ⁴ мм вод. ст.	98066,5	0,980665	1	0,96784
10 ³ мм рт. ст.	133322	1,33322	1,35951	1,31579
10 lbf/in ²	68948	0,68948	0,70307	0,68046
Единицы	Миллиметр водяного столба, мм вод. ст.	Миллиметр ртутного столба, мм рт.ст.	Английский фунт-сила на квадратный дюйм, lbf/in ²	
1 Н/м ²	0,120	7,50 · 10 ⁻³	145 · 10 ⁻⁶	
1 бар	10,2 · 10 ³	750,06	14,503	
1 кг/см ² (1 ат)	10 ⁴	785,56	14,223	
1 атм (физ.)	10332	760	14,696	
10 ⁴ мм вод. ст.	10 ⁴	735,56	14,223	
10 ³ мм рт. ст.	1,35951 · 10 ⁴	10 ³	19,336	
10 lbf/in ²	7030	517,149	10,000	

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ЕДИНИЦАМИ ЭНЕРГИИ

Величины	Единицы, основанные на системе СИ, и единицы, допущенные к применению наряду с ними		Единицы системы МГСС		Соотношения между единицами измерения
	Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	
Количество теплоты, полная внутренняя энергия, полная энтальпия	джоуль	Дж	килокалория	ккал	$1 \text{ Дж} = 0,239 \cdot 10^{-3} \text{ ккал}$ $1 \text{ ккал} = 4187 \text{ Дж}$
Удельная массовая теплота, удельная массовая внутренняя энергия, удельная массовая энтальпия, удельная массовая теплота фазовых превращений	джоуль на килограмм	Дж/кг	-	-	$1 \text{ Дж/кг} = 0,239 \cdot 10^{-3} \text{ ккал/кг}$ (ккал/кг)
Удельная массовая теплоемкость, удельная массовая энтропия	джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг·К)	-	-	$1 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) = 0,239 \cdot 10^{-3} \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot \text{град})$ (ккал/кг·град)
Тепловой поток, тепловая мощность	ватт	Вт	килокалория в час	ккал/ч	$1 \text{ Вт} = 0,86 \text{ ккал/ч}$ $1 \text{ ккал/ч} = 1,163 \text{ Вт}$
Удельный тепловой поток, удельная мощность	ватт на метр в квадрате	Вт/м ²	килокалория на метр в квадрате на час	ккал/м ² ·ч	$1 \text{ Вт}/\text{м}^2 = 0,86 \text{ ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ $1 \text{ ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} = 1,163 \text{ Вт}/\text{м}^2$
Коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи	ватт на метр в квадрате на кельвин	Вт/(м ² ·К)	килокалория на метр в квадрате на час-градус	ккал/м ² ·ч·град	$1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) = 0,86 \text{ ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$ $1 \text{ ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град} = 1,163 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

ПРИЛОЖЕНИЕ М

ПРИСТАВКИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

Приставки для образования кратных и дольных единиц		
Приставка	Обозначение	Множитель, на который умножаются единицы измерения
Тера	Т	10^{12}
Гига	Г	10^9
Мега	М	10^6
Кило	к	10^3
Гекто	г	10^2
Дека	да	10^1
Деци	д	10^{-1}
Санتي	с	10^{-2}
Милли	м	10^{-3}
Микро	мк	10^{-6}
Нано	н	10^{-9}
Пико	п	10^{-12}

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- A** – площадь, м²;
B – барометрическое давление, Па;
c – концентрация вредного вещества в воздухе, мг/м³;
c_{с.в.} – удельная теплоемкость сухого воздуха, кДж/(кг °С);
c_п – удельная теплоемкость водяного пара, кДж/(кг °С);
d – влагосодержание воздуха, г/кг;
G – массовый расход среды, кг/ч;
i – удельная энтальпия влажного воздуха, кДж/кг;
i_{с.в.} – удельная энтальпия сухого воздуха, кДж/кг;
i_п – удельная энтальпия водяного пара, кДж/кг;
M – масса, кг;
p – парциальное давление газа, Па;
p_{с.в.} – парциальное давление сухого воздуха, Па;
p_п – парциальное давление водяного пара, Па;
p_н – парциальное давление водяного пара в состоянии насыщения, Па;
P – давление воздуха, Па;
Q – тепловой поток, кДж/ч, Вт;
q – плотность теплового потока, Вт/м²;
r – удельная теплота парообразования, кДж/кг;
R – удельная газовая постоянная, Дж/(кг К);
t_в – температура внутреннего воздуха, °С;
t_м – температура мокрого термометра, °С;
t_н – температура наружного воздуха, °С;
t_р – температура точки росы, °С;
t_х – температура холодоносителя, °С;
t_{нас} – температура насыщения водяного пара, °С;
t_п – результирующая температура помещения, °С;
T – абсолютная температура, К;
u – удельный объем, м³/кг;
V – объем, м³;
V_μ – объем 1 кмоль газа, м³/кмоль;
W – влагопоступления, кг/ч;
ρ_{с.в.} – плотность сухого воздуха, кг/м³;
ρ_{в.} – плотность влажного воздуха, кг/м³;
ρ_п – плотность пара, кг/м³;
ρ_{мах}, ρ_{нас} – плотность насыщенного пара, кг/м³;
μ – масса 1 кмоль газа, кг/моль;
μR – универсальная газовая постоянная, Дж/кмоль К;
φ – относительная влажность воздуха, %;
t – температура поверхности, °С.