

МОСКОВСКИЙ
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Кафедра инженерной экологии

Утверждаю

Зав. кафедрой профессор

Ю.В. Трофименко Ю.В. Трофименко

"22" июня 2005 г.

Н.А.ЕВСТИГНЕЕВА, Ю.М.КУЗНЕЦОВ,
О.Э.ГОГИБЕРИДЗЕ

МИКРОКЛИМАТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Методические указания
к лабораторной работе по курсу
"Безопасность жизнедеятельности"

МОСКВА 2005

РК
БИБЛИОТЕКИ
МАДИ (ГТУ)

Настоящие методические указания содержат сведения о характере воздействия параметров микроклимата на организм человека, гигиенические требования к микроклимату производственных помещений, а также описание метеорологических и актинометрических контрольно-измерительных приборов. Изложена методика измерения параметров микроклимата в производственных помещениях.

Введение и подглава 1.5 написаны проф., канд. техн. наук Ю.М. Кузнецовым, подглавы 1.1...1.4 – ст. преподавателем, канд. техн. наук О.Э. Гогиберидзе, подглава 1.6, главы 2...5, краткий словарь терминов, приложения 1...3 – доц., канд. техн. наук Н.А. Евстигнеевой.

Методические указания предназначены для студентов всех специальностей МАДИ (ГТУ).

ВВЕДЕНИЕ

Метеорологические условия (микроклимат) производственных помещений существенным образом влияют на состояние человека и его работоспособность. Контроль параметров микроклимата является важным этапом в обеспечении условий нормальной жизнедеятельности человека.

Цель настоящей лабораторной работы – закрепление на практике теоретических знаний, полученных студентами при изучении курса «Безопасность жизнедеятельности», о методах и средствах оценки микроклиматических условий в производственных помещениях (на рабочих местах).

В ходе выполнения работы перед студентами ставятся следующие задачи:

- изучить приборы, используемые для контроля параметров микроклимата;
- исследовать микроклиматические условия в помещении учебной лаборатории;
- дать оценку результатов выполненных измерений на соответствие нормативным требованиям.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Параметры микроклимата

В процессе труда в производственном помещении человек находится под влиянием определенных метеорологических условий, или микроклимата – климата внутренней среды этих помещений. К основным параметрам микроклимата относятся:

- 1) температура воздуха t , °С;
- 2) относительная влажность воздуха f , %;
- 3) скорость движения воздуха v , м/с,
- 4) атмосферное давление P , мм рт. ст.¹.

Существенное влияние на метеорологические условия оказывает также интенсивность теплового излучения (E , Вт/м²) различных нагретых поверхностей, температура ($t_{пов}$, °С) которых превышает температуру воздуха (t , °С) в производственных помещениях.

Важным условием нормальной жизнедеятельности человека является обеспечение определенных метеорологических условий в производственных помещениях, которые оказывают существенное влияние на тепловое самочувствие человека.

1.2. Теплообмен человека с окружающей средой

Жизнедеятельность человека сопровождается непрерывным выделением теплоты в окружающую среду. Ее количество зависит от степени физического напряжения и составляет от 85 (в состоянии покоя) до 500 Вт (при тяжелой работе). Чтобы физиологические процессы в организме протекали нормально, выделяемая организмом теплота должна полностью отводиться в окружающую среду:

$$Q_{ТВ} = Q_{ТО} \quad (1)$$

Нарушение теплового баланса может привести к перегреву либо переохлаждению организма и, как следствие, к потере трудоспособности.

¹ 1 мм рт.ст. = 133,3224 Па = 1,3332 гПа = 1,3332 мбар.

способности, быстрому утомлению, потере сознания и смерти от теплового удара.

Одним из важных интегральных показателей теплового состояния организма является средняя температура тела (внутренних органов) – около 36,5°С. Функционирование организма человека требует протекания в нем химических и биологических процессов в достаточно строгих температурных пределах (табл.1 и рис. 1).

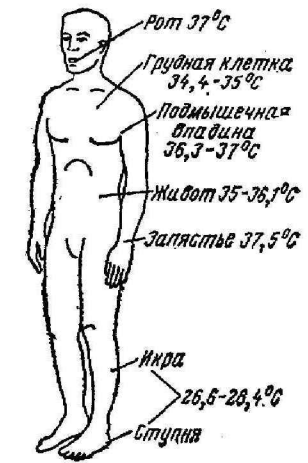


Рис.1. Средние значения температуры поверхности различных участков тела здорового человека в нормальных условиях

Таблица 1
Влияние температуры тела на состояние человека

Температура тела, °С	Характеристика состояния человека
36,3...37	Нормальная температура у 90% людей
Выше 42	Критическая температура, потеря сознания
Выше 43...44	Смертельная температура
Ниже 34	Замедление процессов в мозге
Ниже 30	Критическая температура, потеря сознания
Ниже 27...24	Смертельная температура, возникает фибрилляция сердца, прекращается кровообращение

Примечание. В табл.1 приведены средние значения температуры тела человека (в подмышечной впадине) при нормальном давлении воздуха и его относительной влажности в пределах 30...70%, являющихся комфортными для большинства людей.

В процессе взаимодействия человека с окружающей средой температура его тела может изменяться в зависимости от степени нарушения теплового баланса и уровня энергозатрат при выполнении

нии физической работы. При выполнении работы средней тяжести и тяжелой при высокой температуре воздуха она может повышаться от нескольких десятых градуса до 1...2°C. Наивысшая температура внутренних органов, которую выдерживает человек, составляет +43°C; минимальная +25°C.

Основную роль в теплоотдаче играет температурный режим кожи. Температура кожи меняется в довольно значительных пределах, и при нормальных условиях ее среднее значение под одеждой составляет 30...34°C. При неблагоприятных метеорологических условиях на отдельных участках тела температура может понижаться до 20°C, а иногда и ниже.

Нормальное тепловое самочувствие имеет место, когда тепловыделение $Q_{ТВ}$ человека полностью воспринимается окружающей средой $Q_{ТО}$, т.е. когда имеет место тепловой баланс $Q_{ТВ} = Q_{ТО}$. В этом случае температура внутренних органов остается постоянной.

Если теплопродукция организма не может быть полностью передана окружающей среде ($Q_{ТВ} > Q_{ТО}$), происходит рост температуры внутренних органов и такое тепловое самочувствие характеризуется понятием «жарко». В случае, когда окружающая среда воспринимает больше теплоты, чем ее воспроизводит человек ($Q_{ТВ} < Q_{ТО}$), то происходит охлаждение организма. Такое тепловое самочувствие характеризуется понятием «холодно».

Теплообмен между человеком и окружающей средой осуществляется (рис. 2):

- конвекцией Q_K в результате омывания тела воздухом;
- излучением на окружающие поверхности Q_L ;
- теплопроводностью Q_T ;
- и в процессе тепломассообмена $Q_{ТМ}$ при испарении влаги, выводимой на поверхность кожи потовыми железами $Q_п$ и при дыхании $Q_д$ ($Q_{ТМ} = Q_п + Q_д$).

Нормальное самочувствие человека реализуется при соблюдении равенства $Q_{ТВ} = Q_K + Q_T + Q_L + Q_{ТМ}$. (2)



Рис. 2. Виды теплообмена между человеком и окружающей средой

Основную долю в процессе отвода тепла от организма человека (порядка 90% от общего количества тепла) вносят излучение, конвекция и испарение. Количество теплоты, отдаваемое организмом человека различными путями, зависит от того или иного параметра микроклимата. Так, величина и направление конвективного теплообмена человека с окружающей средой определяются в основном температурой окружающей среды, атмосферным давлением, подвижностью и влажностью воздуха.

Излучение теплоты происходит в направлении окружающих человека поверхностей, имеющих более низкую температуру, чем температура поверхности одежды и открытых частей тела человека. При высоких температурах окружающих поверхностей (свыше 30°C) теплоотдача излучением полностью прекращается, а при более высоких температурах теплоотдача излучением идет в обратном направлении – от горячих поверхностей к человеку.

Отдача теплоты при испарении влаги, выводимой на поверхность кожи потовыми железами, зависит от температуры воздуха; интенсивности работы, выполняемой человеком; от скорости движения окружающего воздуха и его относительной влажности. В состоянии покоя организма при температуре воздуха 15°C потоот-

деление незначительно и составляет примерно 0,03 л/ч. В горячих цехах (температура воздуха 30°C и выше) при усиленной мышечной работе количество выделяемого пота 1...1,5 л/ч.

В процессе дыхания воздух окружающей среды, попадая в легочный аппарат человека (рис. 3), нагревается и одновременно насыщается водяными парами. В технических расчетах можно принимать (с запасом), что выдыхаемый воздух имеет температуру 37°C и полностью насыщен. Количество теплоты, выделяемой человеком с выдыхаемым воздухом, зависит от его физической нагрузки, влажности и температуры окружающего (вдыхаемого) воздуха. Чем больше физическая нагрузка и ниже температура окружающей среды, тем больше выделяется теплоты с выдыхаемым воздухом. С увеличением температуры и влажности окружающего воздуха количество теплоты, отводимой посредством дыхания, уменьшается.

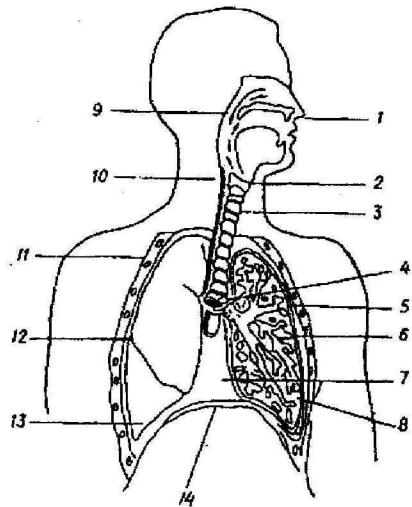


Рис.3. Дыхательная система человека:

- 1 – вход воздуха;
- 2 – гортань;
- 3 – трахея;
- 4 – бронхи;
- 5 – плевра, прикрывающая легкие;
- 6 – альвеолы;
- 7 – область, занятая сердцем;
- 8 – левое легкое (в сечении);
- 9 – глотка;
- 10 – пищевод;
- 11 – грудная клетка;
- 12 – пространство плевры;
- 13 – правое легкое (внешний вид);
- 14 – диафрагма

1.3. Влияние параметров микроклимата на тепловое самочувствие человека

Рассмотрим более подробно влияние отдельных параметров микроклимата на самочувствие и работоспособность человека.

1.3.1. Температура окружающего воздуха

Влияние температуры окружающего воздуха на человеческий организм связано в первую очередь с сужением или расширением кровеносных сосудов кожи. Под действием *низких температур* воздуха кровеносные сосуды кожи сужаются, в результате чего замедляется приток крови к поверхности тела и снижается теплоотдача от поверхности тела за счет конвекции и излучения. При *высоких температурах* окружающего воздуха наблюдается обратная картина: за счет расширения кровеносных сосудов кожи и увеличения притока крови существенно увеличивается теплоотдача в окружающую среду.

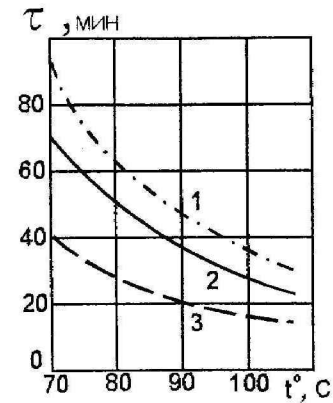


Рис.4. Переносимость высоких температур в зависимости от длительности их воздействия:
1 – верхняя граница выносливости;
2 – среднее время выносливости;
3 – граница появления симптомов перегрева

Установлено, что при температуре воздуха более 25°C работоспособность человека начинает падать. Для человека определены максимальные температуры в зависимости от длительности их воздействия и используемых средств защиты. Предельная температура вдыхаемого воздуха, при которой человек в состоянии дышать в течение нескольких минут без специальных средств защиты, около 116°C. На рис. 4 представлены ориентировочные данные о переносимости температур, превышающих 60°C. Существенное значение имеет равномерность температуры воздуха как по вертикали, так и по горизонтали.

В горячих цехах (в горячих цехах тепловыделения превышают

23,2 Вт/м³) промышленных предприятий большинство технологических процессов протекает при температурах, значительно превышающих температуру воздуха окружающей среды. *Нагретые поверхности излучают* в пространство **потоки лучистой энергии**. По характеру и интенсивности воздействия на организм человека лучистую тепловую энергию подразделяют на три категории:

- I – энергия, исходящая от тел, нагретых до 500°C (преобладают невидимые инфракрасные лучи с тепловым характером действия, $\lambda > 740$ нм);
- II – энергия, излучаемая телами, нагретыми до 3000°C; значительное место занимают световые (видимые) лучи, $\lambda = 400 \dots 740$ нм;
- III – энергия, исходящая от тел, нагретых до температуры свыше 3000°C (преобладают ультрафиолетовые тепловые лучи, $\lambda < 400$ нм).

Инфракрасные лучи оказывают на организм человека в основном тепловое действие, при этом наступает нарушение деятельности сердечно-сосудистой и нервной систем. Они могут вызвать ожог кожи и глаз. Наиболее частым и тяжелым поражением глаз вследствие воздействия инфракрасных лучей является катаракта глаза. *Ультрафиолетовое излучение* даже при кратковременном воздействии вызывает острые заболевания глаз и может привести к ожогам.

Интенсивность воздействия лучистой энергии определяется количеством тепла, получаемым при поглощении этих лучей единицей площади поверхности тела человека за единицу времени.

Переносимость человеком температуры, как и его теплоощущение, в значительной мере зависит от влажности и скорости окружающего воздуха.

1.3.2. Влажность воздуха

Повышенная влажность ($\phi > 85\%$) затрудняет теплообмен между организмом человека и внешней средой из-за уменьшения испарения пота с поверхности кожи. Чем больше влажность, тем меньше испаряется пота в единицу времени и тем быстрее наступает пере-

грев тела. Особенно неблагоприятное воздействие на тепловое самочувствие человека оказывает высокая влажность при температуре окружающей среды выше 30°C, так как при этом почти вся выделяемая теплота отдается в окружающую среду при испарении пота. При повышении влажности пот не испаряется, а стекает каплями с поверхности кожного покрова; возникает так называемое *проливное течение пота*, изнуряющее организм и не обеспечивающее необходимую теплоотдачу.

Недостаточная влажность воздуха ($\phi < 20\%$) также может оказаться неблагоприятной для человека из-за интенсивного испарения влаги с поверхности слизистых оболочек дыхательных путей, их пересыхания и растрескивания, а затем и загрязнения болезнетворными микроорганизмами. Поэтому при длительном пребывании людей в закрытых помещениях рекомендуется ограничиваться относительной влажностью в пределах 30...70%.

Потовыделение мало зависит от недостатка воды в организме или от ее чрезмерного потребления. У человека, работающего в течение 3 часов без питья, образуется только на 8% меньше пота, чем при полном возмещении потерянной влаги. При потреблении воды вдвое больше потерянного количества наблюдается увеличение потовыделения всего на 6% по сравнению со случаем, когда вода возмещалась на 100%.

Считается допустимым для человека снижение его массы на 2...3% путем испарения влаги – обезвоживания организма. Обезвоживание на 6% влечет за собой нарушение умственной деятельности, снижение остроты зрения; испарение влаги на 15...20% приводит к смертельному исходу.

Вместе с потом организм теряет значительное количество минеральных солей (до 1%, в том числе 0,4...0,6 NaCl), микроэлементов и водорастворимых витаминов (С, В₁, В₂). При неблагоприятных условиях потеря жидкости может достигать 8...10 л за смену с содержанием в ней до 60 г поваренной соли (всего в организме около 140 г NaCl). Потеря соли лишает кровь способности удерживать воду и приводит к нарушению деятельности сердечно-сосудистой системы. Потери более 30 г NaCl крайне опасны для организма человека,

так как приводят к нарушению желудочной секреции, мышечным спазмам, судорогам. Компенсация потерь воды в организме человека при высоких температурах происходит за счет распада углеводов, жиров и белков.

Для восстановления водного баланса работающих в горячих цехах установлены пункты подпитки подсоленной (около 0,5% NaCl) газированной питьевой воды из расчета 4...5 л на человека в смену. На ряде заводов для этих целей применяют белково-витаминный напиток. В жарких климатических условиях рекомендуется пить охлажденную питьевую воду или чай.

1.3.3. Скорость движения воздуха

Движение воздуха в производственном помещении улучшает теплообмен между телом человека и окружающей средой, но излишняя скорость движения воздуха (сквозняки) повышает вероятность возникновения простудных заболеваний, а также может привести к обморожению открытых участков тела.

В табл.2 приведены данные, характеризующие охлаждающее действие ветра на открытую часть тела человека, выраженное через эквивалентную температуру воздуха в штиль (т.е. при отсутствии ветра).

Для определения эквивалентной температуры необходимо располагать для интересующего периода значениями температуры воздуха и скорости ветра. Так, при температуре воздуха -12,2°C и скорости ветра 17,6 м/с эквивалентная температура воздуха будет -38,3°C, т.е. открытые участки тела человека будут испытывать охлаждающее действие ветра, аналогичное тому, если бы температура воздуха была -38,3°C при отсутствии ветра. Увеличение скорости ветра свыше 17,6 м/с оказывает незначительный дополнительный охлаждающий эффект.

Опасность обморожения открытых участков тела может иметь место при любой температуре, представленной в табл.2. Наибольшая опасность возникает при условиях, указанных в нижней части таблицы (выделена двойной ломаной линией), повышенная опасность – в средней части и малая – в верхней.

Таблица 2

Охлаждающее действие ветра, выраженное через эквивалентную температуру воздуха

Показания термометра, °С	Эквивалентная температура воздуха в штиль, °С, при скорости ветра, м/с									Опасность обморожения
	0	2,2	4,4	6,6	8,8	11,0	13,3	15,4	17,6	
+10,0	+10	+8,9	+4,4	+2,2	0,0	-1,1	-2,2	-2,8	-3,3	Малая
+4,4	+4,4	+2,8	-2,2	-5,6	-7,8	-8,9	-10,6	-11,7	-12,2	
-1,1	-1,1	-2,8	-8,9	-12,8	-15,6	-17,8	-18,9	-20,0	-21,1	
-6,7	-6,7	-8,9	-15,6	-20,6	-23,3	-26,1	-27,8	-28,9	-29,4	
-12,2	-12,2	-14,4	-22,8	-27,8	-31,7	-33,9	-36,1	-37,2	-38,3	Повышенная
-17,8	-17,8	-20,7	-29,4	-35,6	-39,4	-42,2	-44,5	-46,1	-47,2	
-23,3	-23,3	-26,1	-36,1	-42,8	-47,2	-50,6	-52,8	-55,0	-56,1	
-28,8	-28,8	-32,0	-43,2	-49,5	-55,0	-58,9	-61,7	-63,3	-65,0	Наибольшая
-34,4	-34,4	-37,6	-50,0	-57,8	-63,3	-66,7	-70,0	-72,2	-73,7	
-40,0	-40,0	-44,0	-56,7	-65,0	-71,0	-75,6	-78,3	-80,6	-81,2	
-45,5	-45,5	-49,4	-63,9	-72,8	-78,9	-83,3	-87,2	-89,4	-95,0	
-51,1	-51,1	-55,6	-70,6	-80,0	-86,7	-91,7	-95,6	-98,3	-100	

Встречный поток воздуха при скорости 70 м/с делает дыхание человека практически невозможным; вызывает быстрое охлаждение организма.

1.3.4. Атмосферное давление

Атмосферное давление оказывает существенное влияние на процесс дыхания и самочувствие человека. Без кислорода человек может прожить всего несколько минут. Основным органом дыхания человека, посредством которого осуществляется газообмен с окружающей средой (O₂, CO₂), является трахеобронхиальное дерево и большое количество легочных пузырей (альвеол), стенки которых пронизаны густой сетью капиллярных сосудов (см. рис. 3). Через стенки альвеол кислород поступает в кровь для питания тканей организма.

Наличие кислорода во вдыхаемом воздухе – необходимое, но недостаточное условие для обеспечения жизнедеятельности организма. *Интенсивность диффузии кислорода в кровь определяется парциальным давлением кислорода в альвеолярном воздухе p_{O_2} .*

Экспериментально установлено

$$p_{O_2} = (P - 47) \cdot \frac{V_{O_2}}{100} - p_{CO_2}, \quad (3)$$

где P – атмосферное давление вдыхаемого воздуха, мм рт. ст.;

47 – парциальное давление насыщенных водяных паров в альвеолярном воздухе, мм рт. ст.;

V_{O_2} – объем кислорода, содержащийся в альвеолярном воздухе, %;

p_{CO_2} – парциальное давление углекислого газа в альвеолярном воздухе;
 $p_{CO_2} \approx 40$ мм рт. ст.

Наиболее успешно диффузия кислорода в кровь происходит при парциальном давлении кислорода в пределах 95...120 мм рт. ст. Изменение p_{O_2} вне этих пределов приводит к затруднению дыхания и увеличению нагрузки на сердечно-сосудистую систему.

Пониженное атмосферное давление. На высоте 2...3 км ($p_{O_2} \approx 70$ мм рт. ст.) насыщение крови кислородом снижается до такой степени, что вызывает усиление деятельности сердца и легких. Но даже длительное пребывание человека в этих условиях не сказывается существенно на его здоровье (табл.3).

С высоты 4 км ($p_{O_2} \approx 60$ мм рт. ст.) диффузия кислорода из легких в кровь снижается до такой степени, что несмотря на большое содержание в воздухе кислорода (≈ 21 об.%), может наступить *кислородное голодание – гипоксия.* Основные признаки гипоксии – *головная боль, головокружение, замедленная реакция, нарушение нормальной работы органов зрения, слуха, нарушение обмена веществ.*

Исследования показали, что удовлетворительное самочувствие

человека при дыхании воздухом сохраняется до высоты около 4 км; чистым кислородом – до высоты около 12 км. При длительных полетах на летательных аппаратах на высоте более 4 км применяют либо кислородные маски, либо скафандры, либо герметизацию кабин.

Таблица 3

Зоны переносимости человеком высоты над уровнем моря

Высота над уровнем моря	Зона	Самочувствие человека
До 1,5...2 км	Безопасная или индифферентная	Существенных изменений физиологических функций организма не наблюдается
2...4 км	Зона достаточной компенсации	Наблюдаются некоторые нарушения в деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем, органов чувств и др., которые благодаря мобилизации резервных сил организма быстро исчезают
4...6 км	Зона неполной компенсации	Ухудшение общего самочувствия, снижение работоспособности
6...8 км	Критическая	Наступают весьма серьезные функциональные расстройства жизнедеятельности организма вплоть до летального исхода
Более 8 км	Смертельная	Человек может находиться лишь короткое время – 3 мин на уровне 8 км, 9 с – на уровне 16 км и выше, после чего наступает смерть

Повышенное атмосферное давление. В ряде случаев, например при производстве работ под водой, в водонасыщенных грунтах работающие находятся в условиях повышенного атмосферного давления. При выполнении глубоководных работ обычно различают три периода:

- повышение давления – *компрессия*;
- нахождение в условиях *повышенного давления*;
- понижение давления – *декомпрессия*.

Избыточное давление воздуха приводит к повышению парци-

ального давления кислорода в альвеолярном воздухе, уменьшению объема легких и увеличению силы дыхательной мускулатуры, необходимой для вдоха-выдоха. При этом снижаются показатели вентиляции легких за счет *некоторого урежения дыхания и пульса*. Необходимо использовать специальное снаряжение и оборудование (например, водолазное снаряжение) с тем, чтобы снизить воздействие повышенных давлений.

Длительное пребывание при избыточном давлении приводит к токсическому воздействию некоторых газов, входящих в состав выдыхаемого воздуха. Оно проявляется в *нарушении координации движений, возбуждении или угнетении, галлюцинациях, ослаблении памяти, расстройстве зрения и слуха*.

Наиболее опасен третий период – декомпрессия, во время которой и вскоре после выхода – в условиях нормального атмосферного давления может развиваться декомпрессионная (кессонная) болезнь. Сущность ее состоит в том, что в период компрессии и пребывания при повышенном атмосферном давлении организм через кровь насыщается азотом. Полное насыщение организма азотом наступает через 4 ч пребывания в условиях повышенного давления. В процессе декомпрессии из-за падения парциального давления в альвеолярном воздухе происходит десатурация¹ азота из тканей. Выделение азота осуществляется через кровь и затем легкие. Продолжение десатурации зависит в основном от степени насыщения тканей азотом (легочные альвеолы диффундируют 150 мл азота в минуту). Если декомпрессия производится форсированно, то в крови и других жидких средах образуются пузырьки азота, которые вызывают газовую эмболию (закупорку сосудов) и как ее проявление – декомпрессионную болезнь. Тяжесть декомпрессионной болезни определяется массой закупорки сосудов и их локализацией. Развитие декомпрессионной болезни способствует переохлаждению и перегреванию организма. Понижение температуры приводит к сужению сосудов, замедлению кровотока, что замедляет удаление азота из тканей и процесс десатурации. При высокой температуре наблюдается сгущение крови и замедление ее движения.

¹ Удаление

1.4. Терморегуляция организма человека

В естественных условиях на поверхности Земли (уровень моря) параметры микроклимата изменяются в существенных пределах. Так, температура окружающей среды изменяется от -88 до + 60°С; подвижность воздуха – от 0 до 67 м/с; относительная влажность – от 10 до 100% и атмосферное давление – от 680 до 810 мм рт. ст.

Вместе с изменением параметров микроклимата меняется и самочувствие человека. Условия, нарушающие тепловой баланс, вызывают в организме реакции, способствующие его восстановлению. Процессы регулирования тепловыделений для поддержания постоянной температуры тела человека называются терморегуляцией. Она позволяет сохранять температуру тела постоянной, близкой к 36,5°С.

Терморегуляция осуществляется в основном тремя способами (рис. 5): биохимическим путем; путем изменения интенсивности кровообращения, а также интенсивности потовыделения.



Рис. 5. Способы терморегуляции

Терморегуляция биохимическим путем, называемая химической терморегуляцией, заключается в изменении теплопродукции в организме за счет регулирования скорости окислительных реакций. Изменение интенсивности кровообращения и потовыделения изменяет отдачу теплоты в окружающую среду и поэтому называется физической терморегуляцией.

Терморегуляция организма осуществляется одновременно всеми способами. Так, *при понижении температуры воздуха* увеличению теплоотдачи за счет увеличения разности температур препятствуют такие процессы, как уменьшение влажности кожи и следовательно, уменьшение теплоотдачи путем испарения; снижение температуры кожных покровов за счет уменьшения интенсивности транспортирования крови от внутренних органов и вместе с этим уменьшение разности температур. Экспериментально установлено, что оптимальный обмен веществ в организме и соответственно *максимальная производительность деятельности* имеют место, если *составляющие процесса теплоотдачи* находятся в следующих пределах:

$$Q_k + Q_T \approx 30 \% ; Q_n \approx 45 \% ; Q_p \approx 20 \% \text{ и } Q_d \approx 5 \% .$$

Такой баланс характеризует отсутствие напряженности системы терморегуляции.

Для обеспечения нормальной жизнедеятельности человека важно правильно выбирать параметры микроклимата производственных помещений, обеспечивающие оптимальный обмен веществ в организме, отсутствие неприятных ощущений и напряженности системы терморегуляции его организма.

1.5. Гигиеническое нормирование параметров микроклимата

Нормативные параметры производственного микроклимата установлены ГОСТ 12.1.005 – 88, а также СанПиН 2.2.4.548 – 96.

Эти документы регламентируют параметры микроклимата на рабочих местах всех видов производственных помещений: *температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха, температуру поверхностей¹, интенсивность теплового облучения* в зависимости от способности организма человека к акклиматизации в разное время года, характера одежды, интенсивности произ-

¹ Учитывается температура поверхностей ограждающих конструкций (стены, потолок, пол), устройств (экраны и т.п.), а также технологического оборудования или ограждающих его устройств.

водимой работы и характера тепловыделений в рабочем помещении.

Для оценки характера одежды и акклиматизации организма в разное время года введено понятие периода года. Различают теплый и холодный период года. *Теплый период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха +10°C и выше, холодный – ниже + 10°C.*

При учете интенсивности труда *все виды работ*, исходя из общих энергозатрат организма, *делятся на три категории: легкие, средней тяжести и тяжелые.* Характеристику производственных помещений по категории выполняемых в них работ устанавливают по категории работ, выполняемых половиной (50%) и более работающих в соответствующем помещении.

К *легким работам* (категория I) относятся работы, выполняемые сидя или стоя, не требующие систематического физического напряжения. Легкие работы подразделяют на категорию Ia (затраты энергии до 139 Вт) и категорию Ib (затраты энергии 140...174 Вт). К *категории Ia* относятся работы, проводимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях точного прибор- и машиностроения, на часовом, швейном производствах, в сфере управления и т.п.). К *категории Ib* относятся работы, проводимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (ряд профессий в полиграфической промышленности, на предприятиях связи, контролеры, мастера в различных видах производства и т.п.).

К работам *средней тяжести* (категория II) относят работы с затратой энергии 175...232 (категория IIa) и 233...290 Вт (категория IIб). К *категории IIa* относятся работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенных физического напряжения (ряд профессий в механосборочных цехах машиностроительных предприятий, в прядильно-ткацком производстве и т.п.). К *категории IIб* относятся работы, связанные с ходьбой, перемещением и перенесением тяжестей массой до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий в

механизированных литейных, прокатных, кузнечных, сварочных цехах машиностроительных и металлургических предприятий и т.п.).

К тяжелым работам (категория III) с затратой энергии более 290 Вт относят работы, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (более 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий (ряд профессий в кузнечных цехах с ручной ковкой, литейных цехах с ручной набивкой и заливкой опок машиностроительных и металлургических предприятий и т.п.).

По количеству избыточного тепла производственные помещения делятся на помещения с незначительными избытками явной теплоты¹ ($Q_{я.т.} \leq 23,2 \text{ Вт/м}^3$) и помещения со значительным избытком явной теплоты ($Q_{я.т.} > 23,2 \text{ Вт/м}^3$). Производственные помещения с незначительными избытками явной теплоты относятся к «холодным цехам», а со значительными – к «горячим».

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляций² на постоянных и непостоянных рабочих местах не должна превышать:

- 35 Вт/м² при облучении 50% поверхности человека и более,
- 70 Вт/м² – при облучении 25...50% поверхности тела,
- 100 Вт/м² – при облучении не более 25% поверхности тела.

Интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников (раскаленный или расплавленный металл, стекло, открытое пламя и др.) не должна превышать 140 Вт/м². При этом облучению не должно подвергаться более 25% поверхности тела человека и обязательно должны использоваться средства индивидуальной защиты, в том числе средства защиты лица и глаз.

Согласно нормативным документам в производственных помещениях могут быть установлены оптимальные и допустимые микроклиматические условия.

¹ Явная теплота – это теплота, поступающая в производственное помещение от оборудования, отопительных приборов, солнечного нагрева, людей и других источников воздействия на температуру воздуха.

² Инсоляция – освещение солнечными лучами.

Оптимальные микроклиматические условия – это такое сочетание параметров микроклимата, которое при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивает ощущение теплового комфорта и создает предпосылки для высокой работоспособности.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в табл. 4. При этом перепады температуры воздуха по высоте и по горизонтали, а также изменения температуры воздуха в течение смены не должны превышать 2 °С и выходить за пределы величин, указанных в табл. 4 для отдельных категорий работ. Оптимальные показатели микроклимата обеспечиваются системами кондиционирования воздуха.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Таблица 4

С. А.

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

В случае, если по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам невозможно обеспечить оптимальные нормы, то устанавливаются допустимые показатели микроклимата. Они достигаются обычными системами вентиляции

и отопления.

Допустимые микроклиматические условия характеризуются сочетанием параметров, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать преходящие и быстро нормализующиеся изменения теплового состояния его организма, сопровождающиеся напряжением механизма терморегуляции, не выходящие за пределы физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникает ухудшения или нарушения состояния здоровья, но могут наблюдаться дискомфортные теплоощущения, ухудшение самочувствия и снижение работоспособности к концу рабочей смены. Однако во время полноценного отдыха эти негативные явления полностью проходят без каких-либо вредных последствий для здоровья человека.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 5. При этом перепад температуры воздуха по высоте должен быть не более 3 °С; перепад температуры воздуха по горизонтали, а также ее изменения в течение смены не должны превышать:

- при категориях работ Ia и Ib – 4 °С;
- при категориях работ IIa и IIb – 5 °С;
- при категории работ III – 6 °С.

При этом абсолютные значения температуры воздуха не должны выходить за пределы величин, указанных в табл. 5 для отдельных категорий работ.

В производственных помещениях, в которых допустимые нормативные величины показателей микроклимата невозможно установить из-за технологических требований к производственному процессу или экономически обоснованной нецелесообразности, условия микроклимата следует рассматривать как вредные и опасные. В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия (например, системы местного кондиционирования воздуха, воздушное душирование, компенсация неблагоприятного воздействия одного параметра микроклимата изменением другого, спецодежда и другие средства индивидуальной защиты, помещения для отдыха и обогрева).

Таблица 5

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

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

Примечания к табл. 5.

* При наличии теплового облучения работающих температура воздуха на рабочих местах не должна превышать следующих величин:

- 25°C — при категории работ Ia;
- 24°C — при категории работ Ib;
- 22°C — при категории работ Ia;
- 21°C — при категории работ Ib;
- 20°C — при категории работ II.

** При температуре 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 температуре воздуха 26°C;
- 60% — при температуре воздуха 27°C;
- 55% — при температуре воздуха 28°C.

*** При температуре воздуха 26...28°C скорость движения воздуха, указанная для теплового периода года, должна соответствовать диапазону:

- 0,1...0,2 м/с — при категории работ Ia;
- 0,1...0,3 м/с — при категории работ Ib;
- 0,2...0,4 м/с — при категории работ IIa;
- 0,2...0,5 м/с — при категориях работ Ib и III.

регламентация времени работы, в частности, перерывы в работе, сокращение рабочего дня, увеличение продолжительности отпуска, уменьшение стажа работы и др.).

Для оценки комплексного воздействия параметров микроклимата (температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового облучения) на рабочих местах, где скорость движения воздуха не превышает 0,6 м/с, а интенсивность теплового облучения 1200 Вт/м², в целях осуществления мероприятий по защите работающих от возможного перегревания СанПиН 2.2.4.548 – 96 рекомендует использовать интегральный показатель тепловой нагрузки среды (ТНС)¹, величины которого приведены в табл. 6.

Таблица 6

Рекомендуемые величины интегрального показателя тепловой нагрузки среды (ТНС-индекса) для профилактики перегревания организма

Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Величины интегрального показателя, °С
Ia (до 139)	22,2...26,4
Ib (140...174)	21,5...25,8
IIa (175...232)	20,5...25,1
IIb (233...290)	19,5...23,9
III (более 290)	18...21,8

Для оценки комфортности микроклимата используют также такие условные субъективные параметры, как *эффективная* и *эффективно-эквивалентная температура*.

Эффективной температурой (ЭТ) называется температура, которая ощущается человеком при данной относительной влажности воздуха и отсутствии движения воздуха (штиль). Она учитывает совместное влияние температуры и влажности воздуха и может быть определена по формуле

¹ Методика определения индекса тепловой нагрузки среды (ТНС-индекса) рассмотрена в 1.6.

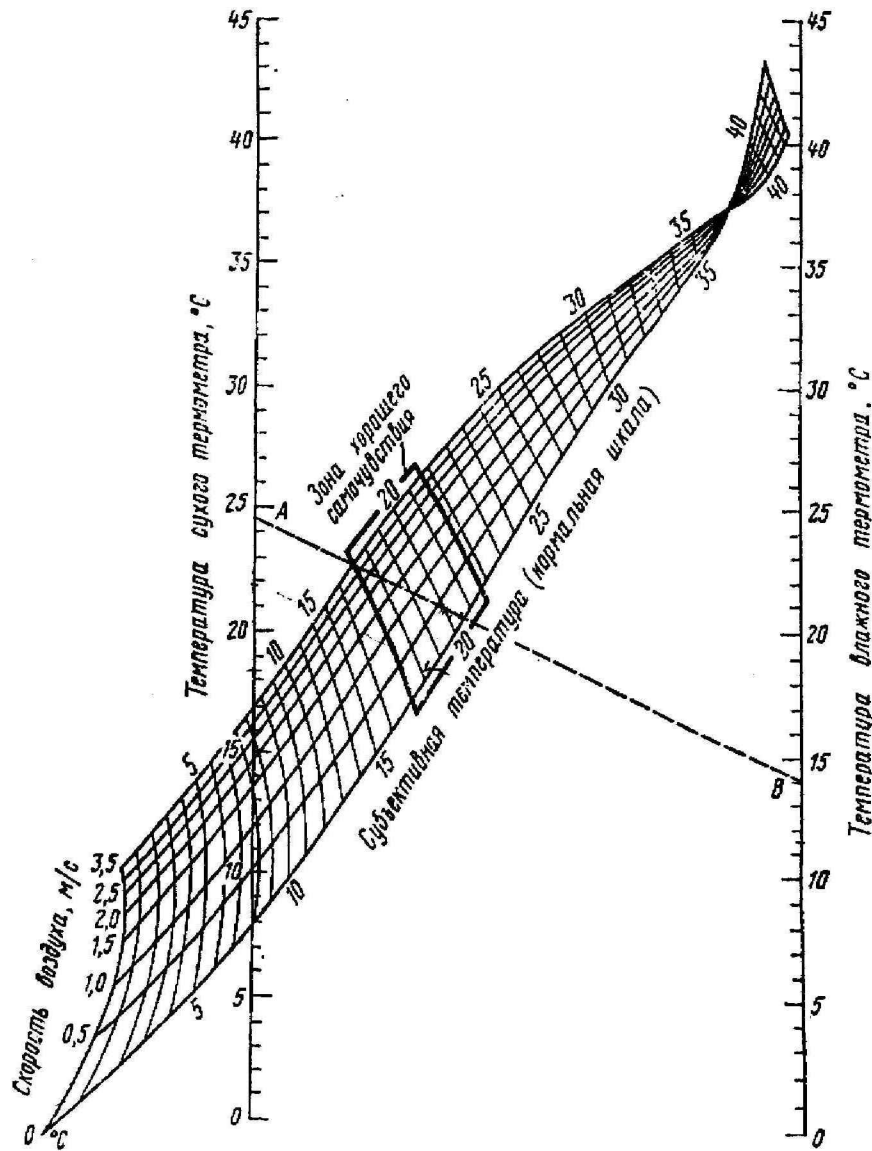


Рис. 6. Номограмма эффективных и эффективно-эквивалентных температур

$$ЭТ = t + 1,57 \cdot e, \quad (4)$$

где t – температура воздуха, °С;
 e – упругость водяного пара, содержащегося в воздухе, гПа.

Эффективно-эквивалентная температура (ЭЭТ) является комплексным показателем теплоощущения человека, которое складывается под влиянием трех метеорологических факторов: температуры воздуха, влажности воздуха и скорости ветра. Эффект теплоощущения такой же, как при действии неподвижного, полностью насыщенного влагой воздуха при определенной температуре.

ЭТ и ЭЭТ могут быть определены с помощью номограммы (рис. 6) по измеренным параметрам микроклимата: температуры сухого термометра (°С), температуры влажного термометра (°С) и скорости ветра (м/с).

Для регламентации *времени работы* (непрерывно или суммарно) в пределах рабочей смены в условиях микроклимата с температурой воздуха на рабочих местах выше или ниже допустимых величин СанПиН 2.2.4.548 – 96 рекомендует руководствоваться *табл. 7 и 8*. При этом среднесменная температура воздуха, при которой работающие находятся в течение всей смены на рабочих местах и местах отдыха, не должна выходить за пределы допустимых величин температуры воздуха для соответствующих категорий работ, указанных в *табл. 5*. Расчет среднесменной температуры воздуха \bar{t}_B надлежит проводить по формуле

$$\bar{t}_B = \frac{1}{8} \cdot \sum_{i=1}^n t_{Bi} \tau_i, \quad (5)$$

где t_{Bi} – температура воздуха на i -м участке рабочего места, °С;
 τ_i – время выполнения работы на i -м участке рабочего места, ч;
 n – количество участков;
 8 – продолжительность рабочей смены, ч.

При этом все остальные показатели микроклимата (относительная влажность, скорость движения воздуха, температура поверхностей, интенсивность теплового облучения) на рабочих местах должны быть в пределах допустимых величин (*табл. 5*).

Таблица 7

Время пребывания на рабочих местах
при температуре воздуха выше допустимых величин

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания, не более при категориях работ, ч			Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания, не более при категориях работ, ч		
	Ia, Ib	Ia, IIb	III		Ia, Ib	Ia, IIb	III
1	2	3	4	5	6	7	8
32,5	1	-	-	29,0	6	5	3
32,0	2	-	-	28,5	7	5,5	4
31,5	2,5	1	-	28,0	8	6	5
31,0	3	1	-	27,5	-	7	5,5
30,5	4	2,5	1	27,0	-	8	6
30,0	5	3	2	26,5	-	-	7
29,5	5,5	4	2,5	26,0	-	-	8

Таблица 8

Время пребывания на рабочих местах
при температуре воздуха ниже допустимых величин

Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания, не более при категории работ, ч					Температура воздуха на рабочем месте, °С	Время пребывания, не более при категории работ, ч				
	Ia	Ib	IIa	IIb	III		Ia	Ib	IIa	IIb	III
6	-	-	-	-	1	14	2	3	5	7	-
7	-	-	-	-	2	15	3	4	6	8	-
8	-	-	-	1	3	16	4	5	7	-	-
9	-	-	-	2	4	17	5	6	8	-	-
10	-	-	1	3	5	18	6	7	-	-	-
11	-	-	2	4	6	19	7	8	-	-	-
12	-	1	3	5	7	20	8	-	-	-	-
13	1	2	4	6	8						

1.6. Контроль параметров микроклимата

1.6.1. Требования к организации измерений

1. Измерения показателей микроклимата в целях контроля их соответствия гигиеническим требованиям должны проводиться:

- в *холодный период года* – в дни с температурой наружного воздуха, отличающейся от средней температуры наиболее холодного месяца зимы не более чем на 5°С,
- в *теплый период года* – в дни с температурой наружного воздуха, отличающейся от средней максимальной температуры наиболее жаркого месяца не более чем на 5°С.

Частота измерений в оба периода года определяется стабильностью производственного процесса, функционированием технологического и санитарно-технического оборудования.

2. При выборе участков и времени измерения необходимо учитывать все факторы, влияющие на микроклимат рабочих мест (фазы технологического процесса, функционирование систем вентиляции и отопления и др.). Измерения показателей микроклимата следует проводить не менее 3 раз в смену (в начале, середине и конце). При колебаниях показателей микроклимата, связанных с технологическими и другими причинами, необходимо проводить дополнительные измерения при наибольших и наименьших величинах термических нагрузок на работающих.

3. Измерения следует проводить на рабочих местах. Если рабочим местом являются несколько участков производственного помещения, то измерения осуществляются на каждом из них.

4. При наличии источников локального тепловыделения, охлаждения или влаговыведения (нагретых агрегатов, окон, дверных проемов, ворот и т. д.) измерения следует проводить на каждом рабочем месте в точках, минимально и максимально удаленных от источников термического воздействия.

5. В помещениях с большой плотностью рабочих мест, при отсутствии источников локального тепловыделения, охлаждения или влаговыведения участки измерения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха должны распределяться

равномерно по площади помещений в соответствии с табл. 9.

Таблица 9

Минимальное количество участков измерения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха

Площадь помещения, м ²	Количество участков измерений
До 100	4
100...400	8
Свыше 400	Количество участков определяется расстоянием между ними, которое не должно превышать 10 м

6. При работах, выполняемых сидя, температуру и скорость движения воздуха следует измерять на высоте 0,1 и 1,0 м, а относительную влажность воздуха – на высоте 1,0 м от пола или рабочей площадки. При работах, выполняемых стоя, температуру и скорость движения воздуха следует измерять на высоте 0,1 и 1,5 м, а относительную влажность воздуха – на высоте 1,5 м.

7. При наличии источников лучистого тепла *тепловое облучение на рабочем месте* необходимо измерять от каждого источника, располагая приемник прибора перпендикулярно падающему потоку. Измерения следует проводить на высоте 0,5; 1,0 и 1,5 м от пола или рабочей площадки.

8. Температуру поверхностей следует измерять в случаях, когда рабочие места удалены от них на расстояние не более двух метров. Температура каждой поверхности измеряется аналогично измерению температуры воздуха по п. 6.

1.6.2. Приборы для измерения параметров микроклимата

1.6.2.1. Температура

В приборах для измерения температуры измеряются, по существу, свойства тел (или применяемых в них веществ)¹, однозначно связанные с температурой. Используются такие свойства, которые с

¹ Эти выбранные свойства и вещества называют термометрическими.

изменениями температуры меняются непрерывно, монотонно, легко измеряются и могут быть точно воспроизведены, например, объем жидкости, электрическое сопротивление, термоэлектродвижущая сила (термоэдс) и др. Для метеорологических измерений используют главным образом жидкостные термометры.

Жидкостные термометры. Принцип действия жидкостных термометров основан на свойстве тел изменять под действием температуры объем. Широко применяются в технике и лабораторной практике для измерения температур в диапазоне от -200 до +750 °С.

Жидкостный термометр представляет собой наполненный жидкостью прозрачный стеклянный (редко кварцевый) резервуар с припаянным к нему капилляром (из того же материала). При определении температуры не производят измерений объема жидкости; для этого при изготовлении калибруют капилляр термометра в градусах Цельсия (°С). Шкала наносится непосредственно на толстостенный капилляр (так называемый *палочный жидкостный термометр*) или на пластинку, жестко соединенную с ним (*жидкостный термометр с наружной шкалой*, рис.7,а). Термометр с вложенной шкалой (рис.7,б) имеет внешний стеклянный (кварцевый) чехол.

Термометрическая жидкость заполняет весь резервуар и часть капилляра. В зависимости от диапазона измерений жидкостной термометр заполняют пентаном (t° от -200 до +20°С), этиловым спиртом (t° от -80 до +70°С), керосином

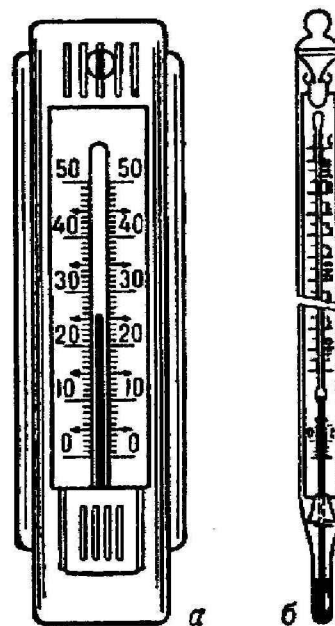


Рис. 7.

Жидкостные термометры:
а – комнатный термометр с наружной шкалой;
б – лабораторный термометр с вложенной шкалой

(t° от -20 до $+300^{\circ}\text{C}$), ртутью (t° от -35 до $+750^{\circ}\text{C}$) и др.

Наиболее распространены *ртутные жидкостные термометры*, так как ртуть остается жидкой в диапазоне температур от -39 до $+357^{\circ}\text{C}$ при нормальном давлении и до 750°C при небольшом повышении давления (для чего капилляр заполняют азотом). Кроме того, ртуть легко поддается очистке, не смачивает стекло, и её пары в капилляре создают малое давление. Термометры изготавливают из определённых сортов стекла и подвергают специальной термической обработке («старению»), устраняющей смещение нулевой точки шкалы, связанное с многократным повторением нагрева и охлаждения термометра.

При температурах ниже -35°C (вблизи точки замерзания ртути) показания ртутного термометра становятся ненадежными, поэтому для измерения более низких температур пользуются *низкоградусным спиртовым*¹.

Точность прибора определяется ценой делений его шкалы. Для обеспечения требуемой точности и удобства используются термометры с укороченной шкалой; наиболее точные из них имеют на шкале точку 0°C независимо от нанесённого на ней температурного интервала. Каждый термометр после его изготовления сравнивается с эталоном. В результате поверки определяют инструментальные поправки, которые помещают в особых поверочных свидетельствах (сертификатах). Погрешности показаний термометров вызываются следующими причинами:

- не вполне строгой цилиндричностью капилляра;
- неравномерным изменением объема жидкости при разных температурах;
- неточностью разбивки шкалы;
- перекристаллизацией стекла (старением).

Важно также помнить, что термометр, помещенный в какую-либо среду для измерения ее температуры, принимает температуры

¹ Спирт этиловый ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) – температура замерзания $-117,3^{\circ}\text{C}$; температура кипения $+78,5^{\circ}\text{C}$. Измерение температуры выше $+25^{\circ}\text{C}$ спиртовыми термометрами не рекомендуется, так как при более высокой температуре спирт частично переходит в парообразное состояние.

среды не мгновенно. Время, необходимое для этого, зависит от интенсивности теплообмена между средой и от параметров термометра.

Для измерения температуры воздуха в метеорологии в качестве основного термометра принят *психрометрический*. Это ртутный термометр с вложенной шкалой из молочного стекла, пространство над ртутью в капилляре заполняется азотом; используется в психрометрах, что и определило его название. Коэффициент термической инерции¹ психрометрического термометра в малоподвижном воздухе ($v < 0,5$ м/с) составляет около 300 с.

Для измерения температуры воздуха в производственных помещениях применяют *ртутные* (для измерения температуры выше 0°C) и *спиртовые* (для измерения температуры ниже 0°C) *термометры*. При работе с ртутным термометром отсчет следует производить по касательной к выпуклой части мениска; со спиртовым термометром – по касательной к вогнутой части мениска. В первую очередь отсчитывают десятые доли градуса, а затем целые градусы. Такая последовательность отсчетов в значительной мере исключает погрешность измерения, вызываемую влиянием наблюдателя. Для исключения инструментальной погрешности в отсчеты по термометрам вводят поправки, взятые из поверочного свидетельства².

При измерениях температуры воздуха производственных помещений предпочтительнее использование *ртутного термометра*, входящего в состав психрометра. А при наличии на рабочем месте источников теплового излучения и воздушных потоков СанПиН 2.2.4.548 – 96 обязывают для измерений применять только аспирационные психрометры, так как они защищены от воздействия теплового излучения и скорости движения воздуха.

В *термометрах сопротивления* используется зависимость электрического сопротивления чистых металлов, сплавов и полупро-

¹ Коэффициент инерции термометра – время, за которое первоначальная разность температур термометра уменьшается в e раз ($e=2,718$ – основание натурального логарифма).

² В соответствии с установленными сроками в зависимости от вида термометра его подвергают контрольным поверкам.

водников от температуры¹

$$R_t = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2 + \gamma \cdot t^3), \quad (6)$$

где R_t – электрическое сопротивление проводника при температуре t , °C;

R_0 – электрическое сопротивление проводника при 0°C;

α , γ , β – температурные коэффициенты, зависящие от материала проводника.

Для определения температуры t по измеренному электрическому сопротивлению R_t пользуются эмпирическими формулами, графиками или таблицами, составленными для каждого термометра.

Широкое распространение получили термометры сопротивления из чистых металлов, особенно *платины* и *меди* (рис. 8).

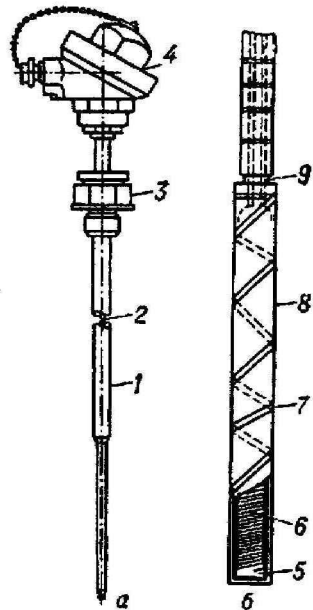


Рис. 8. Общий вид платинового термометра сопротивления (а) и его чувствительного элемента (б):

- 1 – стальной чехол;
- 2 – чувствительный элемент;
- 3 – штуцер для установки термометра;
- 4 – головка для присоединения термометра к электроизмерительному прибору;
- 5 – слюдяной каркас;
- 6 – бифлярная обмотка платиновой проволоки;
- 7 – серебряная лента;
- 8 – слюдяная накладка;
- 9 – серебряные выводы

Конструктивно они представляют собой металлическую прово-

¹ У металлов электрическое сопротивление увеличивается с ростом температуры, у полупроводников зависимость сопротивления от температуры обратная.

локу или ленту, намотанную на жесткий каркас (из кварца, фарфора, слюды), заключенный в защитную оболочку (из металла, кварца, фарфора, стекла) с головкой, через которую проходят 2, 3 или 4 (наиболее точных) вывода, соединяющие термометры с измерительным прибором.

Платиновые термометры сопротивления применяют для измерения температур в пределах от -260 до +1060°C, медные – от -50 до +180°C.

Термометры сопротивления удобны и просты в обращении. Основным их недостатком является значительная тепловая инерция, которая для некоторых конструкций достигает 5 мин. Точность определения температуры зависит от точности измерения электрического сопротивления, которая может быть очень большой. Однако обязательно следует учитывать поправки: на нагрев проволоки термометра измерительным током; на термоэдс, которая может возникать в местах присоединения проводов к измерительной схеме; на отвод тепла вдоль проводов; на тепловую инерцию.

В термоэлектрических пирометрах в качестве чувствительного элемента используется термопара. Она представляет собой электрический контур из двух проводников, изготовленных из различных материалов (хромель – алюмель, медь – константан, серебро – палладий, вольфрам – рений и др.).

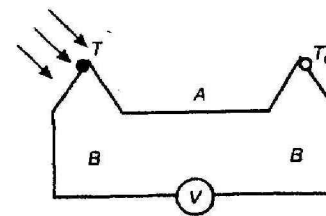


Рис. 9. Схема измерения термоэдс, развиваемой спаем термопары, состоящей из проводников А и В

Две проволоки из различных материалов сваривают или спаивают между собой. На рис.9 представлена электрическая схема термоэлектрического пирометра, состоящего из термопары и электроизмерительного прибора (милливольтметра, потенциометра и т.п.).

Если спаи находятся при разных температурах (T и T_0), то в цепи термопары возникает эдс (термоэдс), величина которой однозначно определяется температурой «горячего» и «холодного» спаев, а также природой материала проводников А и В. Термоэдс в большом

интервале температур прямо пропорциональна разности температур «горячего» и «холодного» спаев

$$E_{AB} = \varepsilon_{AB} \cdot (T - T_0), \quad (7)$$

- где E_{AB} – термоэдс, величина которой измеряется милливольтметром;
 ε_{AB} – коэффициент Зеебека для данной пары металлов;
 T – температура «горячего» спаев;
 T_0 – температура «холодного» спаев.

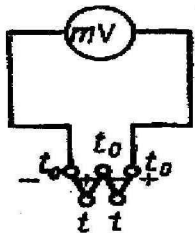


Рис.10. Термоэлектрическая батарея

При измерении температуры один из спаев обязательно термостатируют (обычно при 0°C). Для определения температуры по измеренной термоэдс пользуются эмпирическими формулами или таблицами.

Иногда n термопар соединяют между собой последовательно, получая при этом термоэлектрическую батарею (рис.10). В термобатареях все нечетные спаи располагают так, чтобы они имели одинаковую температуру, отличную от температуры нечетных спаев. Термоэдс и соответственно чувствительность этого прибора в n раз выше, чем у обычной термопары. Применяется для увеличения точности измерения небольших температур.

Для непрерывной регистрации изменения температуры воздуха во времени используют **термографы**. Чувствительным элементом прибора может служить биметаллическая пластинка¹, жидкостный термометр или термометр сопротивления. В метеорологии наиболее распространен термограф (рис.11), чувствительным элементом которого является изогнутая биметаллическая пластинка 1, деформирующаяся при изменении температуры. Один конец пластинки закреп-

¹ Состоит из двух металлических пластинок, обладающих различными коэффициентами расширения. В последнее время для изготовления пластинок используют инвар (магнитный сплав железа с никелем) и немагнитную сталь. Инвар, имеющий меньший коэффициент расширения, расположен наверху. При увеличении температуры пластинка изогнется таким образом, что инвар окажется с вогнутой стороны пластинки; при понижении температуры пластинка изогнется в противоположную сторону.

плен неподвижно, к другому с помощью системы рычагов 2 присоединена стрелка 3, на конце которой насажено перо, наполняемое анилиновыми чернилами с глицерином, предохраняющим от высыхания и замерзания. Перо, прикасаясь к разграфленной ленте на вращающемся барабане 4, вычерчивает на ней кривую, соответствующую изменениям температуры воздуха (цена деления вертикальной шкалы ленты равна 1°C). Барабан приводится в движение с помощью часового механизма.

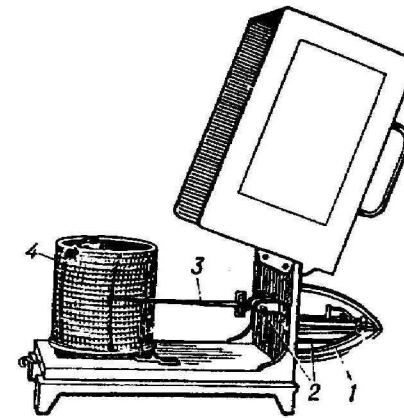


Рис. 11. Термограф:
 1 – биметаллическая пластинка;
 2 – передаточные рычаги;
 3 – стрелка;
 4 – барабан

По времени полного оборота барабана термографы подразделяются на суточные и недельные. Ленты суточных самописцев имеют цену деления по горизонтальной шкале (шкале времени) 15 мин, а недельные – 2 ч.

При тепловых излучениях от оборудования показания обычных термометров не отражают истинной температуры воздуха в помещении. В этих случаях используют **парный термометр**, один резервуар которого зачернен, а другой покрыт слоем серебра. Первый поглощает тепловое излучение, второй – отражает его. Истинную температуру находят исходя из показаний обоих термометров – по таблице, приложенной к прибору.

Для измерения температуры поверхностей следует использовать контактные (типа электротермометров) или дистанционные приборы. К последним относятся **пирометры**. Они позволяют про-

водить измерения равномерно нагретых до высоких температур поверхностей. Важным преимуществом применения пирометров является то, что информация о температуре поверхности передается бесконтактным способом; это устраняет возмущающие факторы, неизбежные при контактных методах измерения. По принципу действия различают оптические (яркостные), радиационные (полного излучения) и цветные пирометры.

В основу принципа работы **оптических (яркостных) пирометров** положена зависимость монохроматической интенсивности излучения абсолютно черного тела $E_{\lambda 0}$ от длины волны и температуры; в соответствии с законом Планка она выражается формулой

$$E_{\lambda 0} = \frac{c_1 \cdot \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda \cdot T}\right) - 1}, \quad (8)$$

где $c_1 = 0,374 \cdot 10^{-15} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$;
 $c_2 = 1,4387 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$;
 λ – длина волны, м;
 T – абсолютная температура, К.

Излучение абсолютно черного тела характеризуется непрерывным спектром с диапазоном длин волн от 0 до ∞ (рис. 12). Кривые спектральной интенсивности излучения характеризуются наличием максимума с резким спадом в сторону коротких волн и более пологим – в сторону длинных.

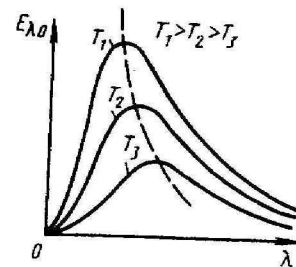


Рис. 12. Спектры излучения абсолютно черного тела

Ввиду трудности измерения абсолютной величины интенсивности излучения в оптических пирометрах производится сравнение в монохроматическом свете (обычно $\lambda = 0,65 \text{ мкм}$; используется фильтр из красного стекла) яркости исследуемого тела с яркостью тела, *предварительно отградуированного по излучению абсолютно черного тела.*

На рис. 13,а приведена принципиальная схема наиболее рас-

пространенного типа оптических пирометров ОППИР. В этом пирометре яркость исследуемого тела сравнивается с переменным эталоном яркости – нитью фотометрической лампы накаливания. Изменяя ток в фотометрической лампе, добиваются совпадения яркости нити и исследуемого тела. На рис. 13,б для примера показаны три изображения нити фотометрической лампы: I – яркость нити меньше яркости исследуемого тела; II – больше; III – равные (определение температуры исследуемого тела производится при этом условии, в этот момент изображение нити исчезает на фоне объекта). По величине тока, потребляемого фотометрической лампой в момент отсчета, и градуировочному графику определяется температура нагретой поверхности T_p . Обычно шкала регистрирующего прибора градуируется непосредственно в единицах измерения температуры.

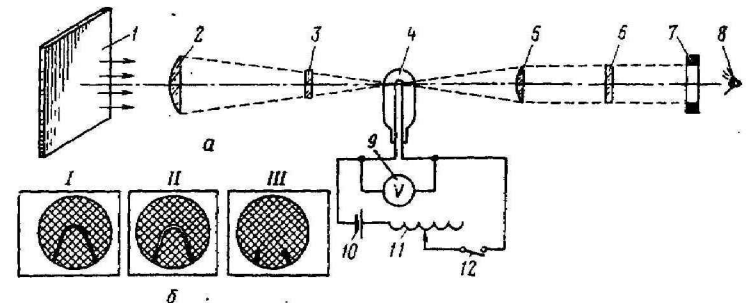


Рис. 13. Оптическая и электрическая схема пирометра ОППИР:

1 – нагретая поверхность; 2 – объектив; 3 – ослабляющий фильтр; 4 – эталонная лампа; 5 – окуляр; 6 – монохроматический светофильтр; 7 – диафрагма; 8 – глаз наблюдателя; 9 – регистрирующий прибор; 10 – аккумулятор; 11 – реостат; 12 – выключатель

Поскольку по абсолютной величине спектральная интенсивность излучения реальных тел E_{λ} всегда меньше спектральной интенсивности излучения абсолютно черного тела $E_{\lambda 0}$, то измеренная яркостная температура T_j не является истинной температурой T нагретой поверхности. Соотношение между яркостной температурой T_j и истинной температурой T нагретой поверхности имеет следующий

вид:

$$\frac{1}{T_{\text{я}}} = \frac{1}{T} + \frac{\lambda}{c_2} \cdot \ln \frac{1}{\varepsilon_{\lambda}}, \quad (9)$$

где $\varepsilon_{\lambda} = \frac{E_{\lambda}}{E_{\lambda 0}}$ — спектральная степень черноты нагретой поверхности, представляет собой отношение спектральной интенсивности излучения абсолютно черного тела при той же длине волны λ и одной и той же температуре T абсолютно черного тела и исследуемой поверхности.

Принцип действия **радиационных пирометров (радиометров)** основан на определении плотности потока излучения *абсолютно черного тела* E_0 при заданной температуре T

$$E_0 = \int_0^{\infty} c_1 \cdot \lambda^{-5} \left(\exp\left(\frac{c_2}{\lambda \cdot T}\right) - 1 \right)^{-1} d\lambda = \sigma_0 \cdot T^4, \quad (10)$$

где $\sigma_0 = 5,668 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

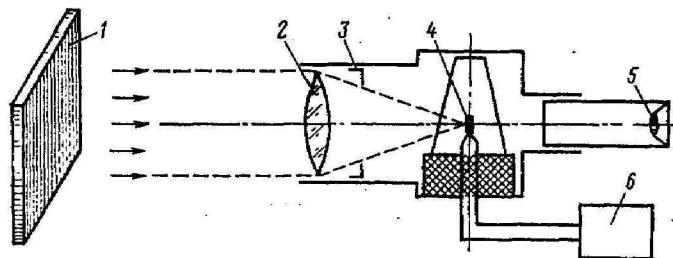


Рис. 14. Схема радиационного пирометра РАПИР:

- 1 — нагретая поверхность; 2 — объектив; 3 — диафрагма;
- 4 — термостолбик; 5 — окуляр; 6 — регистрирующий прибор

Конструктивная схема радиационного пирометра РАПИР приведена на рис.14. Основной частью прибора является рефлекционный телескоп, концентрирующий энергию на поверхность черных платиновых лепестков термостолбика, который вырабатывает электрический сигнал, пропорциональный определяемой температуре. Прибор градуирован по плотности потока абсолютно черного

тела. При измерении температуры реального тела пирометр показывает не истинную температуру T , а так называемую радиационную температуру тела T_p . Соотношение, связывающее значение температуры T_p , измеряемой радиационным пирометром, с истинной температурой T имеет вид

$$T_p = T \cdot \sqrt[4]{\varepsilon}, \quad (11)$$

где $\varepsilon = \frac{E}{E_0}$ — интегральная степень черноты, представляет собой отношение интегральных плотностей потока излучения нагретой поверхности E и абсолютно черного тела E_0 при температуре T .

Недостатком этих пирометров является то, что для определения действительной температуры необходимо знать интегральную степень черноты ε . Точность показаний приборов зависит не только от стабильности ε , но и от поглощения излучения окружающей средой и оптической системой пирометра. Радиационные пирометры удобно использовать не при измерении действительной температуры поверхности, а при измерении разности температур в неизменных условиях наблюдения.

Принцип действия **цветовых фотоэлектрических пирометров** основан на законе смещения Вина

$$T \cdot \lambda_{\text{max}} = b, \quad (12)$$

где $b = 2,896 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$.

Этот закон устанавливает зависимость положения максимума спектральной интенсивности излучения от температуры (рис.12). При повышении температуры T длина волны λ_{max} , соответствующая максимуму спектральной интенсивности излучения абсолютно черного тела, уменьшается. Наглядным качественным подтверждением закона Вина является изменение цвета раскаленного металла при повышении температуры (красный→оранжевый→желтый) в направлении более коротких длин волн в области видимого спектра.

На основании закона Вина можно определить отношение ин-

тенсивностей излучений нагретой поверхности в лучах двух заранее выбранных длин волн (λ_1 и λ_2), например, в красных и синих лучах. Это отношение для каждой температуры будет различным, но вполне определенным и, следовательно, может служить критерием для определения температуры поверхности. Соотношение, связывающее значение истинной температуры T и температуру T_c , измеряемую цветовым пирометром, имеет вид

$$\frac{1}{T_c} = \frac{1}{T} + \frac{\ln \frac{\varepsilon_{\lambda_1}}{\varepsilon_{\lambda_2}}}{c_2 \cdot \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)}. \quad (13)$$

Цветовые пирометры имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с оптическими и радиационными. Во-первых, цветовая и истинная температуры многих тел близки по величине, и для серых тел, какими можно считать большинство материалов, температуры T и T_c совпадают. Для тел, у которых спектральная степень черноты излучения убывает с ростом длины волны $\varepsilon_{\lambda_2} < \varepsilon_{\lambda_1}$ (большинство металлов), $T_c > T$. Для тел, у которых спектральная степень черноты излучения возрастает по мере роста длины волны $\varepsilon_{\lambda_2} > \varepsilon_{\lambda_1}$ (многие неметаллические тела), $T_c < T$. Во-вторых, поправки, вводимые при переходе от цветовой температуры к истинной, определяются отношением $\varepsilon_{\lambda_1} / \varepsilon_{\lambda_2}$ и поэтому в значительно меньшей степени зависят от состояния поверхности источника излучения, чем абсолютные значения ε_{λ_1} и ε_{λ_2} . Кроме того, на результаты измерений, проводимых с помощью цветковых параметров, поглощение окружающей среды влияет очень слабо, так как среда (воздух, содержащий CO , CO_2 , пары воды, частицы пыли и дыма) в одинаковой степени ослабляет монохроматическую интенсивность излучения обеих длин волн. В связи с этим в цветковых пирометрах практически полностью отсутствуют по-

грешности измерения, связанные с изменением расстояния от фотоэлектрического датчика до излучающей поверхности.

Цветовой фотоэлектрический пирометр ЦЭП работает следующим образом. Излучение нагретой поверхности через оптическую систему и обтюратор¹, вращаемый синхронным двигателем, попадает на фотоэлемент. Обтюратор выполнен в виде диска с красным и синим светофильтрами. При вращении обтюратора на фотоэлемент последовательно попадает излучение красной и синей спектральной яркости. Возникающие импульсы фототока предварительно усиливаются и подаются на вход измерительно-вычислительной системы, которая выполняет функции переформирования импульсов, обработки информации и выделения постоянной составляющей тока, пропорциональной величине измеряемой температуры. Регистрация показаний измерительной системы производится автоматически самописцем.

1.6.2.2. Относительная влажность воздуха

Для измерения *относительной влажности* воздуха используют психрометры. На рис. 15 представлен аспирационный² психрометр Ассмана, являющийся самым надежным прибором для определения температуры и влажности воздуха при положительной температуре. При наличии на рабочем месте источников теплового излучения и воздушных потоков температуру и относительную влажность следует измерять именно аспирационным психрометром.

Он состоит из двух термометров 2. У одного из них ртутный резервуар покрыт батистовой тканью, которую увлажняют с помощью пипетки 5. *Сухой термометр показывает температуру воздуха. Показания влажного термометра зависят от относительной влажности воздуха: температура его тем меньше, чем ниже относительная влажность, поскольку с уменьшением влажности возрастает скорость испарения воды с увлажненной ткани и поверхность резер-*

¹ Обтюратор (от лат. *obturo* – закрываю) – заслонка, затвор, периодически перекрывающий световой поток.

² От лат. *aspiro* – дую, обдуваю.

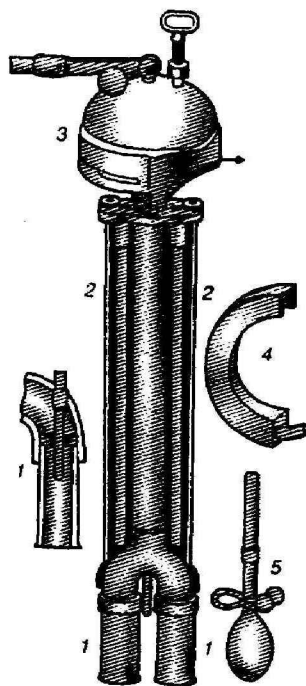


Рис. 15. Психрометр Ассмана:
1 – металлические трубки, в которых помещаются резервуары термометров;
2 – термометры;
3 – аспиратор;
4 – предохранитель от ветра;
5 – пипетка для смачивания влажного термометра

совым механизмом ¹.

Весь прибор никелирован и полирован, благодаря чему его поверхность отражает падающие на него солнечные лучи, исключая чрезмерный нагрев корпуса. Перед измерением в специальную пи-

вуара охлаждается более интенсивно. Чтобы исключить влияние подвижности воздуха в помещении на показания влажного термометра (движение воздуха повышает скорость испарения воды с поверхности увлажненной ткани, что ведет к дополнительному охлаждению ртутного баллона с соответствующим занижением измеряемой величины влажности по сравнению с ее истинным значением), оба термометра помещены в металлические защитные трубки 1. С целью повышения точности и стабильности показаний прибора в процессе измерения температуры сухим и влажным термометрами через обе трубки пропускаются постоянные потоки воздуха (скорость обдува 2 м/с), создаваемые вентилятором, размещенным в верхней части прибора. Это в значительной мере исключает влияние скорости ветра на показания прибора. Вентилятор приводится в действие ча-

¹ Выпускаются аспирационные психрометры, в которых вентилятор приводится в действие электродвигателем, размещенным в головке прибора. Размеры и внешний вид психрометра такие же, как и у обычного аспирационного.

петку набирают воду и увлажняют ею тканевую оболочку влажного термометра. При этом прибор держат вертикально, затем заводят часовую механизм и помещают психрометр в точке измерения.

Через 3...5 мин показания сухого и влажного термометров устанавливаются на определенных уровнях, по которым с помощью специальных психрометрических таблиц рассчитывается относительная влажность воздуха.

При сильном ветре скорость аспирации нарушается вследствие затруднения выброса воздуха из вентилятора. Чтобы исключить это, на аспиратор 3 надевают с наветренной стороны предохранитель от ветра 4. Защиту следует обязательно надевать уже при скоростях ветра более 3 м/с.

В электрических психрометрах в качестве термометров применяют термопары или термометры сопротивления. Достоинством этих приборов является возможность дистанционной передачи показаний.

Внешний вид электрического психрометра фирмы JUMO (Германия) представлен на рис. 16. Прибор состоит из двух независимых термометров сопротивления, изготовленных из платины, один из которых используется как сухой термометр, а другой как влажный. Влажный термодатчик обернут хлопчатобумажной тканью, один конец которой погружен в сосуд с водой, который должен быть постоянно наполнен наполовину. Уровень воды контролируют с помощью водомерного устройства. Условием точного психрометрического измерения влажности является вентиляция влажного термодатчика, скорость движения воздуха должна быть 2...3 м/с.

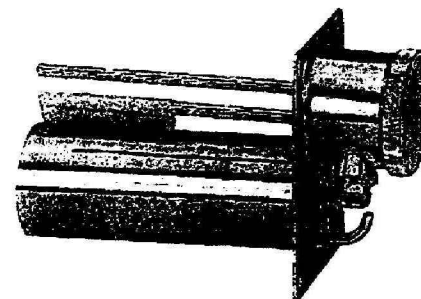


Рис. 16.
Электрический психрометр.
Тип 90.610
Диапазон измерений сухого и влажного термометров 0...100 °С
Масса 700 г

Другим устройством для определения относительной влажности служит гигрометр, принцип действия которого основан на свойстве не-

которых органических веществ удлиняться во влажном воздухе и укорачиваться в сухом.

На рис. 17 представлен **плёночный гигрометр**, чувствительным элементом которого является органическая пленка. Изменение положения центра пленочной мембраны 1 передается стрелке 2, перемещающейся вдоль шкалы 3. Прибор рассчитан на работу в диапазоне температур окружающего воздуха от -60 до +35°C.

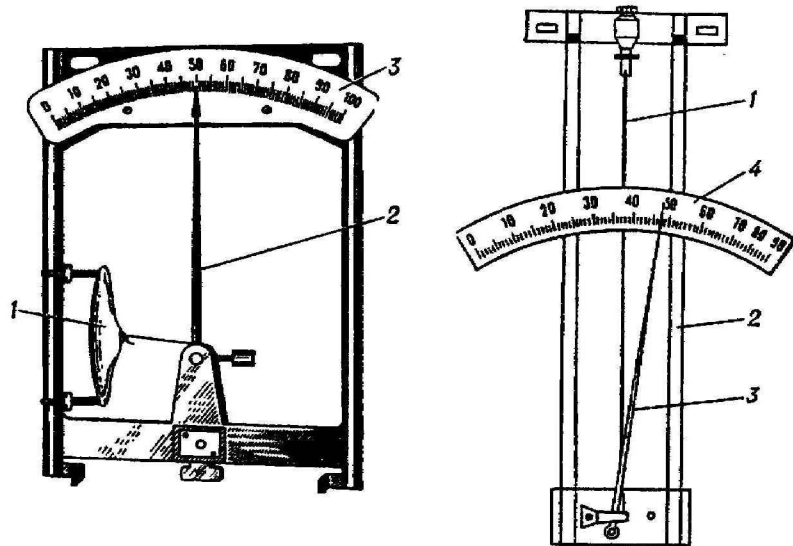


Рис. 17. Пленочный гигрометр:
1 – пленочная мембрана; 2 – стрелка;
3 – шкала

Рис. 18. Волосяной гигрометр:
1 – волос; 2 – рамка;
3 – стрелка; 4 – шкала

Чувствительным элементом **волосяного гигрометра** (рис. 18) служит обезжиренный (обработанный в эфире и спирте) светлый¹ человеческий волос 1, натянутый на металлическую рамку 2. Изменение длины волоса передается стрелке 3. Цена деления прибора – 1% относительной влажности. Деления на шкале неравномерны: при небольших значениях влажности они крупнее, а при больших – мельче (изменение длины волоса происходит быстрее при малых величинах влажности и

¹ Пигмент ухудшает восприимчивость волоса к влаге.

медленнее при ее больших значениях). Гигрометр рассчитан на работу в диапазоне температур окружающего воздуха от -50 до +55°C.

Показания пленочного и волосяного гигрометров периодически сравнивают с показаниями более точного прибора – психрометра. При продолжительном действии гигрометры становятся менее чувствительны к изменению влажности: волос вытягивается и загрязняется, а пленка высыхает. Учитывая это, приходится часто сверять прибор с психрометром и находить его поправки.

Для непрерывной регистрации относительной влажности воздуха во времени используют **гигрографы**. Чувствительным элементом гигрографа служит пучок обезжиренных человеческих волос или органическая пленка. Регистрирующая часть гигрографа устроена так же, как и у других самописцев. Запись производится на разграфленной ленте, надетой на барабан, вращаемый часовым механизмом. В зависимости от времени полного оборота барабана различают суточные и недельные гигрографы.

1.6.2.3. Скорость движения воздуха

Скорость движения воздуха измеряется с помощью **анемометров**. Наиболее распространенный тип анемометров – вертушка (рис. 19). По форме приемного элемента различают **чашечные** (с полушариями) и **крыльчатые** анемометры. Чашечные используют при скоростях движения воздуха от 1 до 20 м/с, крыльчатые – при 0,3...5 м/с. Принцип действия крыльчатого и чашечного анемометров одинаков, различие состоит в приемном элементе прибора: в

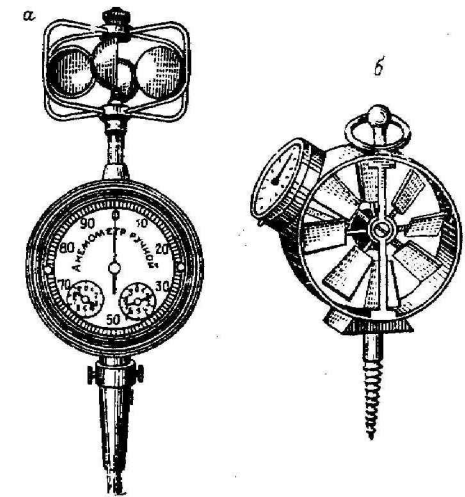


Рис. 19. Анемометры:
а – чашечный; б – крыльчатый

чашечных – полушарие, в крыльчатых – крылышки. Набегающий на приемный элемент поток создает аэродинамическую силу, под воздействием которой вертушка начинает вращаться со скоростью, величина которой соответствует скорости набегающего потока v

$$v = a \cdot n + b, \tag{14}$$

где n – скорость вращения вертушки,
 a и b – постоянные прибора, определяемые тарировкой.

Через систему зубчатых колес ось соединена с подвижными стрелками, которые движутся по циферблатам. Центральная стрелка показывает единицы и десятки, стрелки мелких циферблатов – сотни и тысячи делений. С помощью расположенного сбоку рычага (арретира) можно отключить ось от механизма зубчатых колес или подключить ее.

Перед измерением записывают показания циферблатов при отключенной оси. Прибор устанавливают в точке измерения, и ось с закрепленными на ней крыльями начинает вращаться. По секундомеру засекают время и включают прибор. Через 1 мин движением рычага (арретира) ось отключают и снова записывают показания. Разность показаний прибора делят на 60 (число секунд в минуте) для определения скорости вращения стрелки. По найденной величине с помощью прилагаемого к прибору графика (тарировочного) определяют скорость движения воздуха.



Рис. 20. Термоанемометры Testo-415/425
Габариты (мм): 190x57x42;
масса (г): 300

Диапазон измерений

Testo-415	Testo-425
0...+10 м/с	0...+20 м/с
0...+50°С	-20...+70°С

Для измерения малых скоростей движения воздуха используют термоанемометр, который позволяет также определять и темпе-

ратуру воздуха. Внешний вид современных портативных термоанемометров Testo-415 и Testo-425 с двухстрочными дисплеями представлен на рис. 20. Измерительный зонд в модели 415 встроен в корпус прибора, модель 425 выполнена с телескопическим зондом на кабеле длиной 1 м.

Принцип измерения основан на известном физическом эффекте зависимости электрического сопротивления проводника от его температуры. Тонкую проволочку (диаметром 0,005...0,2 мм и длиной от 3 до 10 мм), нагреваемую электрическим током, помещают в поток (направление потока должно быть перпендикулярно нити). При охлаждении нити потоком ее сопротивление изменяется: чем больше скорость потока, тем больше охлаждение. Скорость движения потока воздуха определяется по величине электрического тока. Проволочный датчик изображен на рис. 21.

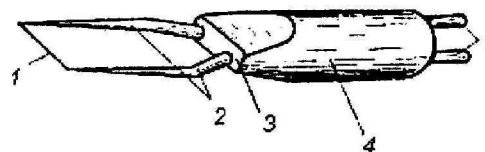


Рис.21. Проволочный датчик термоанемометра:
1 – нагреваемая нить;
2 – поддерживающие стойки;
3 – основание; 4 – корпус;
5 – выводы

1.6.2.4. Интенсивность теплового излучения

Интенсивность теплового излучения измеряют актинометрами, действие которых основано на поглощении лучистой энергии и превращении ее в тепловую, количество которой регистрируется различными способами. Простейший тепловой приемник – термопара.

В основу промышленных актинометров положен принцип термоэлектрической батареи. Чувствительный элемент актинометра состоит из алюминиевой пластинки, на которой в шахматном порядке расположены зачерненные и блестящие секции. Зачерненные полоски интенсивно поглощают тепловое излучение, блестящие отражают его, поэтому первые из них нагреваются значительно быстрее, чем вторые. Нечетные спаи термопар, препарированные к зачерненным полоскам алюминиевой фольги, нагреваются под воздействием

теплового излучения значительно сильнее, чем четные спаи, присоединенные к блестящим полоскам. Термопары соединяются между собой последовательно. Под воздействием разности температур возникает термоэдс, которая измеряется чувствительным прибором, отградуированным в единицах тепловой радиации ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

Для измерения теплового излучения применяют также *радиометры*. Внешний вид радиометра «Аргус-03» представлен на рис. 22. В приборе в качестве преобразователя потока теплового излучения в электрический сигнал используется термоэлемент. Измеренная величина тепловой радиации ($\text{Вт}/\text{м}^2$) индицируется на дисплее.

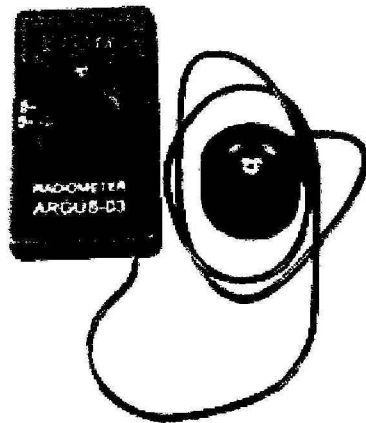


Рис 22. Радиометр неселективный «Аргус-03»

Диапазон измерений $1 \dots 2 \cdot 10^2 \text{ Вт}/\text{м}^2$
 Спектральный диапазон $0,2 \dots 50,0 \text{ мкм}$
 Основная относительная погрешность 6%
 Питание: батарея типа «Крона»
 Потребляемая мощность $0,02 \text{ Вт}$

Параметры	Индикаторный блок	Датчик
Размеры (мм)	125x68x30	диам. 52x50
Масса (г)	150	100

1.6.2.5. Атмосферное давление

Для измерений атмосферного давления применяют **барометры**. Существуют два основных типа барометров – ртутный и металлический (анероид). *Ртутный барометр более точен и надежен*, чем анероид. Анероид более компактен и удобен, его можно сделать карманным.

Ртутный барометр показывает атмосферное давление как высоту ртутного столба, которую можно измерить по прикрепленной рядом шкале. Различают чашечный и сифонный ртутные барометры.

В простейшем виде **чашечный барометр** (рис. 23,а) пред-

ставляет собой наполненную ртутью стеклянную трубку длиной около 90 см, запаянную на одном конце и открытую с другого, погруженную открытым концом в чашку со ртутью.

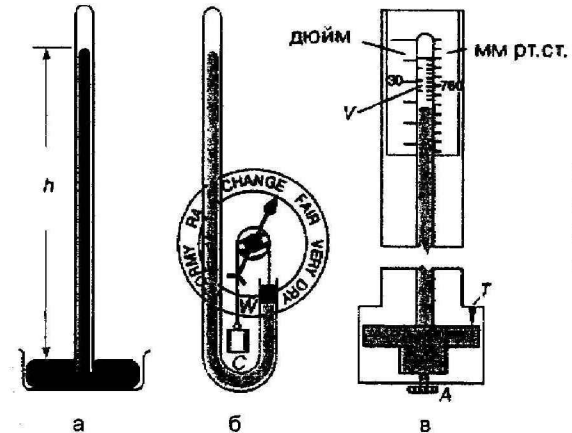


Рис. 23.

Ртутные барометры:
 а – чашечный;
 б – сифонный;
 в – барометр Фортина

В барометрической трубке нет воздуха (из трубки перед заполнением ее ртутью воздух предварительно откачивается, $p_{\text{атм}} \leq 10^{-2} \text{ гПа}$). Сила давления атмосферы, действующая на открытую поверхность ртути в чашке, поднимает ртуть до тех пор, пока атмосферное давление $p_{\text{атм}}$ не уравнивается гидростатическим давлением столба ртути

$$p_{\text{атм}} = \rho \cdot g \cdot h, \quad (15)$$

где ρ – плотность ртути;

g – ускорение свободного падения;

h – высота столба ртути.

Поскольку входящие в формулу (15) величины плотности ртути и ускорения свободного падения не являются постоянными¹, то при определении атмосферного давления необходимо ввести соответствующие поправки, приведя условия к стандартным ($t=0^\circ\text{C}$, g – на широте 45° на уровне моря).

¹ Плотность ртути изменяется в зависимости от температуры. Величина ускорения свободного падения определяется расстоянием от центра Земли.

В **сифонном¹ барометре**, представленном на *рис. 23,б*, изменения уровня ртути в открытом конце трубки посредством грузика *W* с противовесом *C* передаются стрелке, которая указывает на надписи круговой шкалы («дождь», «переменно», «ясно», «очень сухо»), предсказывающие погоду.

На *рис. 23,в* представлен также **барометр Фортина**. Это чашечный барометр, в котором нуль шкалы устанавливается путем вращения винта *A* до соприкосновения костяного острия *T* с поверхностью ртути; для более точного отсчета по шкале предусмотрен **верньер²** (нониус).

Анероид (*рис. 24*). В анероиде жидкости нет (греч. «анероид» - «безводный»). Чувствительным элементом прибора служит гибкая герметическая гофрированная тонкостенная металлическая коробка (*рис.25*), в которой создано разрежение (почти полностью откачан воздух). При понижении атмосферного давления коробка слегка расширяется, а при повышении - сжимается и воздействует на прикрепленную к ней пружину. На практике часто используется несколько (до десяти) анероидных коробок, соединенных последовательно.

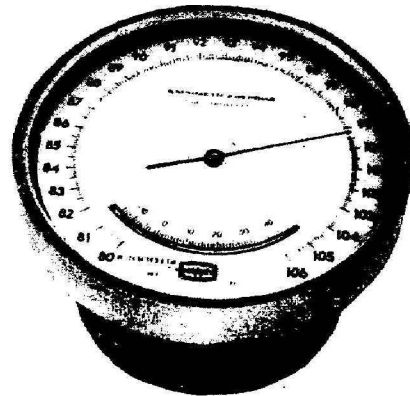


Рис. 24. Внешний вид барометра-анероида БАММ

Суммарная деформация блока анероидных коробок посредством рычажной передаточной системы поворачивает стрелку, движущуюся по круговой шкале, проградуированной по ртутному барометру (*рис. 26*). Показания анероида необходимо периодически сверять с показаниями ртутного барометра.

¹ Сифон - изогнутая трубка с коленами разной длины.

² Верньер (устаревшее название нониуса) - вспомогательная шкала с помощью которой отсчитывают доли делений основной шкалы измерительного прибора.

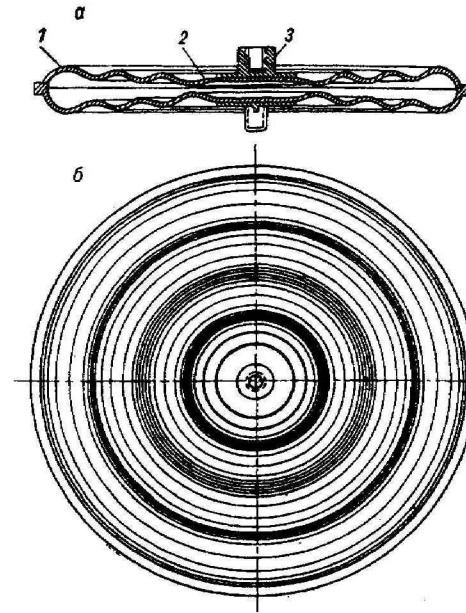


Рис. 25. Анероидная коробка:
а - разрез; б - вид сверху;
1 - мембрана;
2 - жесткий центр мембраны;
3 - крепежная ножка

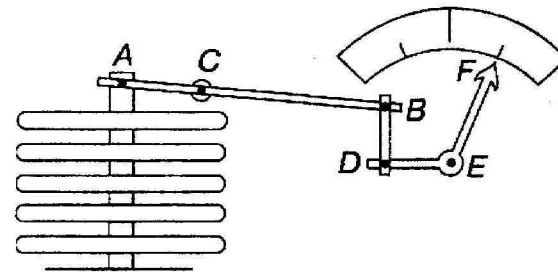


Рис. 26. Схема анероида:
AB - рычаг, поворачивающийся относительно шарнирной опоры *C*,
DEF - коленчатый рычаг с шарнирной опорой *E*

К отсчетам по анероиду вводятся **поправки**: шкаловая, температурная, добавочная. **Шкаловая** поправка связана с инструментальными неточностями и особенностями в передаточном механизме. **Температурная** поправка обусловлена изменением упругих свойств анероидных коробок при изменении температуры окружающей среды. Чтобы исключить влияние температуры, показания анероида приводят к температуре 0°C. В паспорте прибора дается темпера-

турный коэффициент K , позволяющий рассчитать величину поправки X для приведения показания анероида к 0°C :

$$X = K \cdot t, \quad (16)$$

где t – температура прибора, измеряемая вмонтированным в анероид термометром.

Добавочная поправка связана с постепенным изменением внутренней структуры металла коробки, следствием чего является изменение его упругости. Поправка меняется со временем, в связи с чем анероиды периодически должны проверяться на предмет уточнения добавочной поправки путем сравнения показаний анероида с ртутным барометром.

Если к стрелке анероида прикрепить перо, то он будет записывать показания прибора на движущейся ленте. Такие **барографы**, т.е. анероиды, регистрирующие барометрическое давление в течение заданного интервала времени, широко используются при метеорологических наблюдениях. Запись изменений атмосферного давления производится на диаграммном бланке, укрепленном на барабане. Барабан приводится во вращение часовым механизмом. Барографы выпускаются в двух модификациях: суточные, недельные. Внешний вид

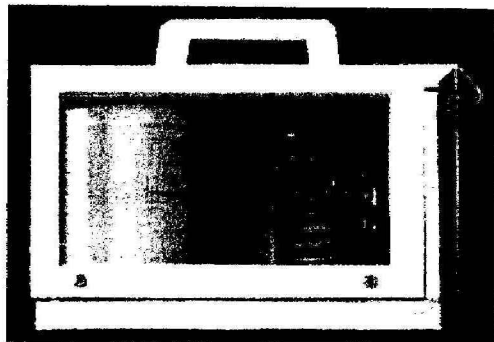


Рис. 27. Барограф метеорологический М-22А. Габариты (мм) 325х145х255; масса (кг) 2,5. Условия эксплуатации от -10 до $+50^{\circ}\text{C}$

прибора показан на рис. 27.

1.6.2.6. Индекс тепловой нагрузки среды ТНС-индекс

ТНС-индекс определяется на основе величин температуры влажного термометра аспирационного психрометра $t_{\text{вл}}$ и тем-

пературы внутри зачерненного шара $t_{\text{ш}}$.

Температура внутри зачерненного шара $t_{\text{ш}}$ измеряется термометром (рис.28), резервуар которого помещен в центр зачерненного полого шара; $t_{\text{ш}}$ отражает влияние температуры воздуха, температуры поверхностей и скорости движения воздуха. Зачерненный шар должен иметь диаметр 90 мм, минимально возможную толщину стенок и коэффициент поглощения 0,95. Точность измерения температуры внутри шара $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

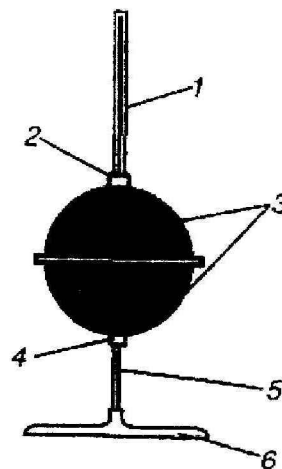


Рис. 28. Шаровой зачерненный термометр:

- 1 – ртутный термометр;
- 2 – верхнее отверстие;
- 3 – две зачерненные полусферы;
- 4 – отверстие с резьбой;
- 5 – штанга штатива;
- 6 – опора штатива

ТНС-индекс рассчитывается по формуле

$$\text{ТНС} = 0,7 \cdot t_{\text{вл}} + 0,3 \cdot t_{\text{ш}} \quad (17)$$

Метод измерения и контроля ТНС-индекса аналогичен методу измерения и контроля температуры воздуха (см. 1.6.1).

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Контрольно-измерительные приборы

Для проведения работы по оценке параметров микроклимата помещения учебной лаборатории используют следующие приборы:

- аспирационный психрометр Ассмана;
- барометр-анероид БАММ;
- радиометр «Аргус-03»;
- анемометр крыльчатый АСО-3;
- секундомер.

Приборы соответствуют требованиям по диапазону измерения и допустимой погрешности, предъявляемым ГОСТ 12.1.005 – 88 и СанПиН 2.2.4.548 – 96 (табл. 10)

Таблица 10

Требования к измерительным приборам

Наименование показателя	Диапазон измерения	Предельное отклонение
Температура воздуха по сухому термометру, °С	30...50	±0,2
Температура воздуха по влажному термометру, °С	0...50	±0,2
Температура поверхности, °С	0...50	±0,5
Относительная влажность воздуха, %	0...90	±5,0
Скорость движения воздуха, м/с	0...0,5	±0,05
	более 0,5	±0,1
Интенсивность теплового облучения, Вт/м ²	10...350	±5,0
	более 350	±50,0

2.2. Порядок выполнения работы

Определение метеорологических условий в помещении учебной лаборатории проводить последовательно. Результаты измерений и расчетов параметров микроклимата должны быть сведены в табл. 11 и сопоставлены с гигиеническими нормами.

Таблица 11

Определение микроклиматических условий в учебной лаборатории

Параметры микроклимата	Температура, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Относительная влажность, %	Интенсивность теплового излучения, Вт/м ²	Скорость движения воздуха, м/с
Участок измерения № ... (для работ сидя)					
Измеренные					
Гигиенические нормы		—			
Превышение норм		—			
Участок измерения № ... (для работ стоя)					
Измеренные					
Гигиенические нормы		—			
Превышение норм		—			

2.2.1. Определение температуры воздуха

Прибор для измерений: сухой термометр аспирационного психрометра Ассмана.

1. Выбрать на плане помещения четыре участка измерения, которые отстоят от нагревательных приборов и стен на расстоянии не менее 2,0 м.
2. Нанести выбранные участки измерения на план помещения (рис.29), пронумеровав их.

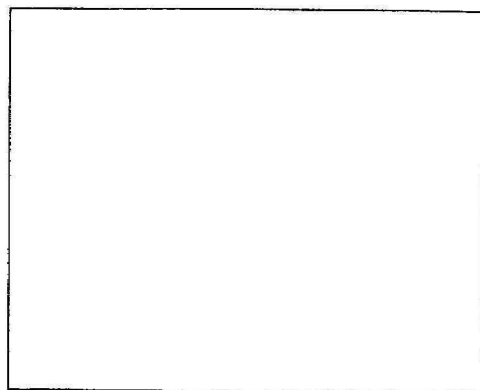


Рис. 29. План учебной лаборатории

3. На каждом выбранном участке измерения надлежит проводить на следующих высотах от пола:

- 0,1 м,
- 1,0 м,
- 1,5 м.

При отсчете показаний термометра глаз наблюдателя должен находиться на уровне линии отсчета.

4. Установить термометр (резервуар термометра) в заданной в пространстве точке измерения. С этой целью подвесить термометр на шнурке, используя выдвижной шток специального штатива.
5. Произвести отсчет показаний термометра. При этом глаз наблюдателя должен находиться на уровне линии отсчета. Сам отсчет следует производить по касательной к выпуклой части мениска, при этом сначала следует быстро отсчитать доли градуса и только после этого уже отсчитывать и записывать целые градусы.
6. Результаты измерений (с учетом введенной поправки, взятой из поверочного свидетельства) занести в *табл. 12*.
7. Данные измерений занести в *табл. 12*.
8. Результаты вычислений занести в *табл. 11, 12*.

Таблица 12

Определение температуры воздуха

№ участка измерения	Температура (°С) на различных уровнях от пола		
	0,1 м	1,0 м	1,5 м
1			
2			
3			
4			

2.2.2. Измерение атмосферного давления¹

Прибор для измерений: барометр-анероид БАММ.

Снять показания с термометра анероида с точностью 0,1°С.

1. Проверить на глаз положение анероида (его шкальная пластина должна быть расположена горизонтально).
2. Постучав пальцем по стеклу прибора (что уменьшает трение в отдельных звеньях передаточного механизма), снять отсчет по положению конца стрелки относительно шкалы с точностью до десятой доли деления (0,1 гПа.).
3. Ввести к снятому показанию анероида соответствующие поправки (температурную, шкаловую и добавочную), взятые из паспорта прибора и поверочного свидетельства к анероиду.
4. Результаты измерений (с учетом поправок) занести в *табл. 11*.

2.2.3. Определение относительной влажности воздуха

Прибор для измерений: аспирационный психрометр Ассмана.

1. Измерение относительной влажности проводить на каждом выбранном участке помещения на следующих уровнях:
 - 1) 1,0 м от пола,
 - 2) 1,5 м от пола.
2. Поместить психрометр, держа его вертикально (головкой вверх) в место измерения (необходимо использовать крюк-подвес).

¹ Измерение проводится только один раз, в месте расположения прибора.

3. Набрать в резиновую грушу пипетки дистиллированную воду, затем легким нажимом на резиновую грушу ввести воду в пипетку до указанной на ее стекле метки (если метка отсутствует, то подвести воду не ближе чем на 1 см от края пипетки) и удерживать на этом уровне с помощью надетого на пипетку зажима.
4. Ввести пипетку в трубку, где находится резервуар термометра, обвязанного батистом. Выждать 3...5 с, чтобы батист пропитался водой, открыть зажим (при этом вода опустится в резиновую грушу) и вынуть пипетку из трубки. При этом *необходимо исключить возможность нажима на грушу*, так как вода из груши может попасть по соединительной трубке на сухой термометр, что приведет к дополнительным погрешностям.
5. Включить вентилятор, приводимый в действие часовым механизмом.
6. Произвести отсчет показаний влажного и сухого термометров прибора:
 - при температуре воздуха более 15°C – через 4 мин,
 - при более низкой температуре – через 20...30 мин (пока не установится постоянная температура влажного термометра).
 При снятии показаний прибора сначала следует быстро отсчитать доли градуса по сухому и влажному термометрам и только после этого уже отсчитывать и записывать целые градусы.
7. Результаты измерений (с учетом введенных поправок, взятых из поверочных свидетельств) занести в *табл. 13*.
8. Определить по формуле Шпрунга упругость водяного пара, содержащегося в воздухе

$$e = E' - 0,5 \cdot (t - t') \cdot \frac{H}{755}, \quad (18)$$

- где e – упругость водяного пара (парциальное давление), мм рт. ст.;
 E' – упругость насыщения при температуре влажного термометра, мм рт.ст. (*табл. 1 прил. 1*);
 0,5 – психрометрический коэффициент;
 t – показания сухого термометра, °C;
 t' – показания влажного термометра, °C;
 H – барометрическое давление в момент наблюдения, мм рт. ст.

- Результаты вычислений занести в *табл. 13*.
9. Рассчитать относительную влажность воздуха f по формуле

$$f = \frac{e}{E} \cdot 100\%, \quad (19)$$

- где f – относительная влажность, %;
 E – упругость насыщения при температуре сухого термометра, мм рт.ст. (*табл. 1 прил. 1*).

- Результаты вычислений занести в *табл. 11, 13*.
10. Определить величину относительной влажности воздуха с помощью психрометрических таблиц. Правила пользования таблицами изложены в *прил. 1*. Результаты вычислений занести в *табл. 11, 14*.

Таблица 13

Определение относительной влажности воздуха в помещении с использованием формулы Шпрунга

Температура (°C)		Давление насыщенного пара (мм рт. ст) при температуре		Атмосферное давление (мм рт. ст.)	Упругость водяного пара (мм рт. ст.)	Относительная влажность (%)
сухого термометра	влажного термометра	сухого термометра	влажного термометра			
t	t'	E	E'	H	e	f
1	2	3	4	5	6	7
Участок измерения № 1, высота от пола 1,0 м						
21,6	13,3	19,35	11,45			
Участок измерения № 1, высота от пола 1,5 м						
21,8	13,1	19,59	11,20			
Участок измерения № 2, высота от пола 1,0 м						
21	13					
Участок измерения № 2, высота от пола 1,5 м						
21,1	13,9					
Участок измерения № 3, высота от пола 1,0 м						
21	13,3					

Продолжение табл. 13

1	2	3	4	5	6	7
Участок измерения № 3, высота от пола 1,5 м						
21,5	14					
Участок измерения № 4, высота от пола 1,0 м						
21,1	13,3					
Участок измерения № 4, высота от пола 1,5 м						
21,3	13,9					

Таблица 14

Определение относительной влажности воздуха в помещении с использованием психрометрических таблиц

Температура (°C)		Психрометрическая разность (°C)	Атмосферное давление (гПа)	Упругость водяного пара (гПа)		Относительная влажность (%)
сухого термометра	влажного термометра			e	e _{испр}	
t	t'	(t-t')	p	e	e _{испр}	f
Участок измерения № 1, высота от пола 1,0 м						
Участок измерения № 1, высота от пола 1,5 м						
Участок измерения № 2, высота от пола 1,0 м						
Участок измерения № 2, высота от пола 1,5 м						
Участок измерения № 3, высота от пола 1,0 м						
Участок измерения № 3, высота от пола 1,5 м						
Участок измерения № 4, высота от пола 1,0 м						
Участок измерения № 4, высота от пола 1,5 м						

2.2.4. Измерение интенсивности теплового излучения

Прибор для измерений: радиометр «Аргус-03».

- Измерения провести на всех выбранных участках измерения, указанных на плане помещения (рис.29), на высотах:
 - 0,5 м от пола,
 - 1,0 м от пола,
 - 1,5 м от пола.
- Датчик прибора установить поочередно в каждой точке измерения, при этом теплоприемник должен быть обращен в сторону источника излучения – застекленной поверхности окна.
- Закрывать теплоприемник прибора крышкой.
- Включить прибор (переключатель, находящийся на корпусе прибора, установить в положение «Вт/м²»).
- Занести показания E₁, считанные с индикатора прибора, в табл.15.
- Выключить радиометр (привести переключатель в положение «OFF»).
- Снять крышку с теплоприемника радиометра.
- Включить прибор (переключатель, находящийся на корпусе прибора, установить в положение «Вт/м²»).
- Занести показания E₂, считанные с индикатора прибора, в табл.15.
- Рассчитать интенсивность теплового излучения E_T = E₂ - E₁, полученное значение внести в табл. 11, 15.

Таблица 15

Определение интенсивности теплового излучения

№ участка измерения	Интенсивность теплового излучения (Вт/м ²), измеренная на различной высоте от пола								
	0,5 м			1,0 м			1,5 м		
	E ₁	E ₂	E _T	E ₁	E ₂	E _T	E ₁	E ₂	E _T
1	0,15			0,54			0,53		
2	0,47			0,48			0,48		
3	0,48			0,50			0,52		
4	0,47			0,48			0,5		

2.2.5. Определение скорости движения воздуха

Приборы для измерений: • анемометр ручной крыльчатый АСО-3;
• секундомер.

- Измерения провести на всех выбранных участках измерения, указанных на плане помещения (рис. 29), на высотах:
 - 0,1 м от пола,
 - 1,0 м от пола,
 - 1,5 м от пола.
- Внести начальные значения счетчика прибора C_0 (по всем трем шкалам – единицы, сотни и тысячи) в табл. 16.
- Установить анемометр вертикально таким образом, чтобы ветроприемная часть прибора (крылышки) находилась на заданной высоте. Снизу под корпусом имеется полая трубка для установки анемометра на деревянном шесте. При установке анемометра шкала прибора должна быть обращена в подветренную сторону (к наблюдателю).
- Включить одновременно анемометр (поворотом арретира против часовой стрелки) и секундомер. Если анемометр находится высоко, то включение счетчика прибора производится с помощью шнура. Шнурок привязывают центральной частью за кольцо арретира, а концы шнура продевают через неподвижные кольца, расположенные на корпусе прибора по обе стороны от арретира.
- Выключить прибор (поворотом арретира по часовой стрелке) через 60 с.
- Занести показания C_k , считанные с циферблата счетчика прибора, в табл. 16.
- Рассчитать скорость вращения V оси прибора (делен./с).
- Определить скорость ветра по графикам прил. 2.
- Внести результаты в табл. 11 и 16.

Таблица 16

Определение скорости движения воздуха

№ участка измерения	Высота от пола (м)	Показания счетчика (делен.)		$C_k - C_0$ (делен.)	$V = \frac{C_k - C_0}{60}$ (делен./с)	Скорость движения воздуха (м/с)
		начальные C_0	конечные C_k			
1	0,1					
	1,0					
	1,5					
2	0,1					
	1,0					
3	0,1					
	1,0					
	1,5					
4	0,1					
	1,0					
	1,5					

2.2.6. Определение эффективной и эффективно-эквивалентной температур

- На номограмме, представленной на рис. 6, на соответствующих вертикальных осях отметить значения температур, измеренных с помощью сухого и влажного термометров (см. табл. 13).
- Соединить отмеченные на номограмме точки пунктирной линией (на рис. 6 такая линия проведена для показаний сухого термометра +24,5°C; влажного +14°C.)
- По пересечению пунктирной линии с нижней изогнутой линией скорости движения воздуха (соответствует $v=0$ м/с) определить эффективную температуру. Результаты внести в табл. 17.
- По пересечению пунктирной линии с изогнутой линией скорости движения воздуха v , соответствующей реальной в исследуемом помещении (см. табл. 16), определить эффективно-эквивалентную температуру. Результаты внести в табл. 17.

5. Сопоставить полученные значения эффективной и эффективно-эквивалентной температур с отмеченной на номограмме зоной хорошего самочувствия.

Таблица 17

Определение эффективной и эффективно-эквивалентной температур

Показания термометров, °С		Скорость движения воздуха, м/с	Эффективная температура, °С	Скорость движения воздуха v, м/с	Эффективно-эквивалентная температура, °С
сухого	влажного				
Участок измерения № 1, высота от пола 0,1 м					
		0			
Участок измерения № 1, высота от пола 1,0 м					
		0			
Участок измерения № 1, высота от пола 1,5 м					
Участок измерения № 2, высота от пола 0,1 м					
		0			
Участок измерения № 2, высота от пола 1,0 м					
		0			
Участок измерения № 2, высота от пола 1,5 м					
Участок измерения № 3, высота от пола 0,1 м					
		0			
Участок измерения № 3, высота от пола 1,0 м					
		0			
Участок измерения № 3, высота от пола 1,5 м					
Участок измерения № 4, высота от пола 0,1 м					
		0			
Участок измерения № 4, высота от пола 1,0 м					
		0			
Участок измерения № 4, высота от пола 1,5 м					
		0			

3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет выполняется в тетради или на отдельных листах и должен содержать:

- 1) титульный лист по форме 1 (рис.30);
- 2) изложение цели работы;
- 3) порядок выполнения работы (в виде блок-схемы);
- 4) шаблоны *табл.11...17*;
- 5) результаты измерений, сведенные в *табл.11...17*. Все необходимые расчеты должны быть проведены в соответствии с правилами приближенных вычислений (см. *прил. 3*);
- 6) выводы.

Форма 1

Московский автомобильно-дорожный институт (государственный технический университет)	
Кафедра инженерной экологии	
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА по курсу «Безопасность жизнедеятельности»	
Микроклимат производственных помещений	
Студент:	<u>Ф.И.О.</u> <u>группа</u>
Преподаватель:	<u>Ф.И.О.</u>
Отметка о допуске	_____ дата <u>подпись преподавателя</u>
Отметка о выполнении	_____ дата <u>подпись преподавателя</u>
Отметка о защите	_____ дата <u>подпись преподавателя</u>
Москва 20__ год	

Рис. 30

4. УСЛОВИЯ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Наличие оформленных п. 1...4 отчета.
2. Успешное прохождение теста, определяющего подготовленность к выполнению работы.

5. УСЛОВИЕ ДОПУСКА К ЗАЩИТЕ РАБОТЫ

Наличие полностью оформленного отчета с отметками преподавателя о допуске и выполнении работы.

КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Абсолютная влажность воздуха a , или плотность водяного пара – количество водяного пара в 1 м^3 воздуха, выраженное в граммах. Абсолютная влажность характеризуется *упругостью водяного пара (парциальным давлением) e*

$$a = 106 \cdot \frac{e}{1 + 0,00366 \cdot t} \quad (\text{где } a[\text{г/м}^3], e[\text{мм рт. ст.}], t[^\circ\text{C}] - \text{температура воздуха}).$$

Абсолютно черное тело – тело, которое целиком поглощает всю падающую на него лучистую энергию.

Ветер – горизонтальное перемещение воздуха относительно земной поверхности; *скоростью ветра* называют горизонтальную составляющую скорости перемещения воздуха относительно неподвижной точки земной поверхности.

Гипоксия – кислородное голодание. Основные признаки – головная боль, головокружение, замедленная реакция, нарушение нормальной работы органов зрения, слуха, нарушение обмена веществ.

Градус температурной шкалы Цельсия $^\circ\text{C}$ – составляет $1/100$ интервала между точками таяния льда и кипения воды, которым присвоены значения соответственно 0°C и 100°C . Все шкалы этого типа зависят от рода применявшегося термометрического вещества.

Декомпрессионное заболевание – группа заболеваний, обусловленных резким снижением давления окружающей среды (например, *кессонная болезнь*).

Дефицит упругости водяного пара (влажности) d – разность между максимально возможной упругостью водяного пара при данной температуре и упругостью водяного пара, находящегося в воздухе: $d = E - e$.

Интегральное излучение – это суммарное излучение во всем диапазоне длин волн от 0 до ∞ .

Катаракта – помутнение хрусталика глаза в результате старческого нарушения питания тканей, диабета, повреждения глаза и дру-

гих причин. Резко ухудшает зрение.

Кессон (от франц. caisson – ящик) – ограждающая конструкция в виде бетонной (или железобетонной) камеры для создания под водой или в водонасыщенном грунте рабочего пространства, свободного от воды. Используется при устройстве мостовых опор и фундаментов глубокого заложения.

Кессонная болезнь – декомпрессионное заболевание, возникающее большей частью после кессонных и водолазных работ при нарушении правил декомпрессии (постепенного перехода от высокого к нормальному атмосферному давлению). Признаки: зуд, боли в суставах и мышцах, головокружение, расстройство речи, помрачение сознания, параличи.

Конвекция – процесс переноса тепла вследствие движения и перемешивания макроскопических объемов газа или жидкости.

Непостоянное рабочее место – место, на котором работающий находится меньшую часть (менее 50% или менее 2 ч непрерывно) своего рабочего времени.

Относительная влажность воздуха – отношение фактического количества паров воды в воздухе при данной температуре к количеству водяного пара, насыщающего воздух при этой же температуре.

Паскаль – единица измерения давления в системе СИ, названа в честь Б.Паскаля, обозначается Па. $1\text{Па} = 1\text{Н/м}^2 = 7,50 \cdot 10^{-3}\text{ мм рт.ст.}$

Плотность потока излучения E – полное количество лучистой энергии, излучаемой полусферой за единицу времени единицей площади поверхности: $E = dQ/dF$, где dQ – элементарный поток излучения, dF – элементарная площадка.

Производственные помещения – замкнутые пространства в специально предназначенных зданиях и сооружениях, в которых постоянно (по сменам) или периодически (в течение рабочего дня) осуществляется трудовая деятельность людей.

Постоянное рабочее место – место, на котором работающий находится большую часть своего рабочего времени (более 50% или более 2 ч непрерывно).

Рабочая зона – пространство, ограниченное по высоте 2 м над

уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или непостоянного (временного) пребывания работающих.

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 считается вся площадь помещения.

Серое тело – тело, спектр излучения которого непрерывен и полностью подобен спектру абсолютно черного тела при той же температуре (рис. 31), а спектральная степень черноты ϵ_λ постоянна во всем диапазоне длин волн от 0 до ∞ и не зависит от температуры ($\epsilon_\lambda = \epsilon$). Излучение серого тела описывается теми же законами, что и излучение абсолютно черного тела (с поправкой на степень черноты ϵ).

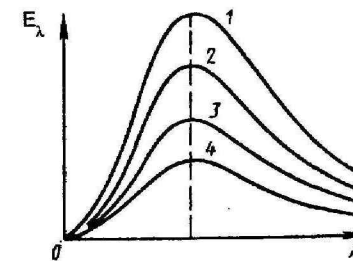


Рис. 31. Спектры излучения серых тел:

- 1 – $\epsilon = 1$ (абсолютно черное тело);
- 2 – $\epsilon = 0,8$;
- 3 – $\epsilon = 0,6$;
- 4 – $\epsilon = 0,4$.

Спектральное (мономатическое) излучение – излучение в узком интервале длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$.

Спектральная интенсивность излучения E_λ – количество энергии, излучаемой единицей поверхности за единицу времени в единичном интервале длин волн по всем направлениям полусферического пространства ($E_\lambda = dE/d\lambda$, где E – плотность потока излучения, $d\lambda$ – элементарный интервал длин волн). E_λ зависит от длины волны, температуры, вида и состояния поверхности.

Среднесуточная температура наружного воздуха – средняя величина температуры наружного воздуха, измеренная в определенные часы суток через одинаковые интервалы времени. Она

принимается по данным метеорологической службы.

Тепловое излучение – процесс передачи тепла с помощью электромагнитных волн, скорость распространения которых в вакууме равна скорости света $3 \cdot 10^8$ м/с.

Телесный угол Ω – мера раствора некоторой конической поверхности. Его можно определить как отношение поверхности шарового сегмента σ к квадрату радиуса сферы r . $\Omega = \sigma / r^2$. Единицей измерения телесного угла является *стерадиан* (ср).

Теплопроводность – процесс переноса тепла вследствие беспорядочного (теплого) движения микрочастиц (атомов, молекул или электронов), непосредственно соприкасающихся друг с другом.

Теплый период года – период года, характеризующийся среднесуточной температурой наружного воздуха выше $+10$ °С.

Термометр сопротивления – прибор для измерения температуры, принцип действия которого основан на изменении сопротивления чистых металлов, сплавов и полупроводников с температурой. Наиболее распространены платиновые и медные термометры сопротивления.

Терморегуляция – процессы регулирования тепловыделений для поддержания постоянной температуры тела человека.

Точка росы t_d – температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, достигает состояния насыщения при неизменном давлении, т. е. $e = E_{t_d}$.

Упругость водяного пара e – основная характеристика влажности воздуха: парциальное давление водяного пара, содержащегося в воздухе; измеряется в мм рт. ст. или Па (1 мм рт. ст. = 133,322 Па).

Упругость насыщения E – упругость водяного пара, максимально возможная при данной температуре. Она тем больше, чем выше температура воздуха. По ее достижении начинается конденсация водяного пара. Предельное значение упругости соответствует максимально возможному насыщению воздуха водяным паром.

a_{max} .

Фибрилляция – хаотическое и разновременное сокращение отдельных волокон сердечной мышцы (фибрилл), в результате чего сердце теряет способность перекачивать кровь, в организме прекращаются процессы кровообращения и дыхания и наступает смерть.

Холодный период года – период года, характеризующийся среднесуточной температурой наружного воздуха, равной $+10$ °С и ниже.

Эмболия – закупорка сосудов эмболом, т.е. принесенной с током крови частицей (оторвавшийся тромб, жир из поврежденных тканей или воздух, газ, попавшие в сосуд, и т.д.), Эмболия легочной артерии, сосудов мозга, сердца может быть причиной смерти.

Яркость излучения B – количество энергии, излучаемое единицей площади поверхности, расположенной перпендикулярно направлению излучения, в единицу времени, в единицу телесного угла $B = dQ_{\phi} / (d\Omega \cdot dF \cdot d\phi)$, где dQ_{ϕ} – элементарный поток излучения в данном направлении, $d\Omega$ – элементарный телесный угол, dF – элементарная площадка, ϕ – угол между направлением излучения и нормалью к площадке dF .

Приложение 1

Правила пользования психрометрическими таблицами

Психрометрические таблицы служат для определения характеристик влажности атмосферного воздуха по измеренным значениям температуры воздуха t (сухой термометр) и температуры влажного термометра t' . Они позволяют определить упругость водяного пара e , точку росы t_d , относительную влажность воздуха f и дефицит упругости водяного пара d .

В основу расчета таблиц положены зависимости упругости насыщения E от температуры, выполненные по результатам работ по определению термодинамических свойств влажного воздуха. Эти зависимости для упругости насыщения воздуха над плоской поверхностью воды имеют вид

$$\begin{aligned} \lg E = & 10,79574 \cdot \left(1 - \frac{T_1}{T}\right) - 5,02800 \cdot \lg \frac{T}{T_1} + \\ & + 1,50475 \cdot 10^{-4} \cdot \left[1 - 10^{-8,2969 \cdot \left(\frac{T}{T_1} - 1\right)} \right] + \\ & + 0,42873 \cdot 10^{-3} \cdot \left[10^{4,76955 \cdot \left(1 - \frac{T_1}{T}\right)} - 1 \right] + 0,78614, \end{aligned} \quad (1)$$

где T_1 – абсолютная температура равновесия между водой, льдом и водяным паром (тройная точка воды); $T_1 = 273,16$ К ($t_1 = 0,01^\circ\text{C}$);

T – абсолютная температура воздуха, К; $T = 273,15 + t$.

Расчет таблиц основан на психрометрической формуле для упругости водяного пара e вида

$$e = E' - A \cdot p \cdot (t - t') \cdot (1 + 0,00115 \cdot t'). \quad (2)$$

Здесь E' – упругость насыщения воздуха над плоской поверхностью чистой воды при температуре t' влажного термометра, рассчитанная по формуле (1) с заменой T на $T' = 273,15 + t'$; A – психрометрический коэффициент, равный $7,947 \cdot 10^{-4} (\text{C}^\circ)^{-1}$; p – давление воздуха. Дополнительный множитель $(1 + 0,00115 \cdot t')$ в формуле (2) учитывает зависимость скрытой теплоты парообразования от температуры.

Таблица 1 служит для определения упругости насыщения воздуха E над плоской поверхностью чистой воды. В таблице для каждого значения температуры (целые и десятые $^\circ\text{C}$) приведены вычисленные по формуле (1) упругости насыщения воздуха E (гПа), которые находятся на пересечении строки, соответствующей целым градусам, и графы, соответствующей десятым долям градуса температуры.

Пример 1. При температуре $15,6^\circ\text{C}$ в табл.1 на пересечении строки «15» и графы «0,6» находим значение 17,7119; в соответствии с этим для температуры $15,6^\circ\text{C}$ значение $E = 17,7119$ гПа.

Таблица 2 служит для определения температуры точки росы t_d ($^\circ\text{C}$), упругости водяного пара e (гПа), относительной влажности воздуха f (%) и дефицита упругости водяного пара d (гПа) по измеренным значениям температуры воздуха t ($^\circ\text{C}$) и температуры влажного термометра t' ($^\circ\text{C}$). Все характеристики влажности вычислены для измерений по стационарному психрометру при атмосферном давлении 1000 гПа. Температура воздуха указана над каждой колонкой, которая состоит из пяти граф (t' , t_d , e , f , d).

При определении влажности аспирационным психрометром со скоростью вентиляции термометров 2 м/с и психрометрическим коэффициентом $A_1 = 6,620 \cdot 10^{-4} (\text{C}^\circ)^{-1}$ при атмосферном давлении, отличном от 1000 гПа, также можно пользоваться табл.2. Однако при этом упругость водяного пара e , а вместе с ней и остальные характеристики влажности нуждаются во введении поправки Δe (суммарной – на давление и психрометрический коэффициент, так как $A_1 \neq A$). Поправки к упругости водяного пара Δe определяются по табл.3, которые рассчитаны по следующей формуле:

$$\Delta e = e - e_{1000} = (A - A_1) \cdot (t - t') \cdot p, \quad (3)$$

где e_{1000} – упругость, полученная из табл.2, гПа;

e – фактическое значение упругости водяного пара, гПа;

A, A_1 – психрометрические коэффициенты:

$A = 7,947 \cdot 10^{-4} \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$;

$A_1 = 6,620 \cdot 10^{-4} \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$;

p – давление воздуха, гПа.

Суммарная поправка Δe при измерениях аспирационным психрометром положительна ($\Delta e > 0$) для всех значений p . Все характеристики влажности находятся по исправленному значению упругости водяного пара

$$e_{\text{испр}} = e_{1000} + \Delta e \quad (4)$$

в табл.2. Если в табл.2 берется не точное значение $e_{\text{испр}}$, а ближайшее к нему значение e^* , то оно указывается во всех дальнейших материалах, поскольку именно e^* соответствуют значения t_d, f, d , полученные из таблиц.

Пример 2. По $t = 15,6^\circ\text{C}$ и $t' = 12,8^\circ\text{C}$, измеренным с помощью аспирационного психрометра при $p = 1013$ гПа, находим в табл.2 колонку с $t = 15,6^\circ\text{C}$ и строку с $t' = 12,8^\circ\text{C}$, в которой $e_{1000} = 12,5$ гПа.

В табл.3 для $p = 1013$ гПа (при округлении до 1010 гПа) и $(t - t') = 15,6 - 12,8 = 2,8^\circ\text{C}$ (при округлении до 3°C), находим $\Delta e = 0,38 \approx 0,4$ гПа, а затем рассчитываем

$$e_{\text{испр}} = e_{1000} + \Delta e = 12,5 + 0,4 = 12,9 \text{ гПа.}$$

В табл.2 в колонке $t = 15,6^\circ\text{C}$, в строке $e = 12,9$ гПа находим $f = 73\%$; $t_d = 10,7^\circ\text{C}$; $d = 4,8$ гПа.

Таблица 1
Упругость насыщения воздуха Е над плоской поверхностью чистой воды при различных температурах, гПа

Целье лье °C	Десятые доли °C										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0	6,1070	6,1515	6,1963	6,2414	6,2868	6,3324	6,3784	6,4247	6,4712	6,5181	
1	6,5653	6,6127	6,6605	6,7086	6,7570	6,8057	6,8547	6,9040	6,9536	7,0036	
2	7,0538	7,1044	7,1553	7,2065	7,2581	7,3099	7,3621	7,4147	7,4675	7,5207	
3	7,5743	7,6281	7,6823	7,7369	7,7918	7,8470	7,9026	7,9585	8,0148	8,0714	
4	8,1284	8,1858	8,2435	8,3015	8,3599	8,4187	8,4779	8,5374	8,5972	8,6575	
5	8,7181	8,7791	8,8405	8,9023	8,9644	9,0269	9,0898	9,1531	9,2168	9,2809	
6	9,3453	9,4102	9,4754	9,5411	9,6071	9,6736	9,7405	9,8077	9,8754	9,9435	
7	10,0120	10,0810	10,1503	10,2201	10,2903	10,3609	10,4319	10,5034	10,5753	10,6476	
8	10,7204	10,7936	10,8672	10,9413	11,0159	11,0908	11,1663	11,2422	11,3185	11,3953	
9	11,4726	11,5503	11,6285	11,7071	11,7862	11,8658	11,9459	12,0264	12,1074	12,1889	
10	12,2709	12,3534	12,4363	12,5197	12,6037	12,6881	12,7730	12,8584	12,9444	13,0308	
11	13,1178	13,2052	13,2932	13,3816	13,4706	13,5602	13,6502	13,7408	13,8319	13,9235	
12	14,0156	14,1083	14,2016	14,2953	14,3897	14,4845	14,5800	14,6759	14,7724	14,8695	
13	14,9672	15,0654	15,1641	15,2635	15,3634	15,4639	15,5649	15,6666	15,7688	15,8716	
14	15,9750	16,0790	16,1836	16,2888	16,3946	16,5010	16,6080	16,7156	16,8238	16,9326	
15	17,0420	17,1521	17,2628	17,3741	17,4861	17,5986	17,7119	17,8257	17,9402	18,0553	
16	18,1711	18,2876	18,4047	18,5224	18,6408	18,7599	18,8796	19,0000	19,1211	19,2429	

Таблица 2

Упругость водяного пара e (гПа) и относительная влажность воздуха ϕ (%) при температуре воздуха $t = 15,6^\circ\text{C}$

t'	t_d	e	f	d
15,6				
15,6	15,6	17,7	100	0,0
15,5	15,4	17,5	99	0,2
15,4	15,2	17,3	98	0,4
15,3	15,1	17,1	97	0,6
15,2	14,9	16,9	95	0,8
15,1	14,7	16,7	94	1,0
15,0	14,6	16,6	94	1,1
14,9	14,4	16,4	93	1,3
14,8	14,2	16,2	92	1,5
14,7	14,0	16,0	90	1,7
14,6	13,8	15,8	89	1,9
14,5	13,6	15,6	88	2,1
14,4	13,4	15,4	87	2,3
14,3	13,2	15,2	86	2,5
14,2	13,1	15,1	85	2,6
14,1	12,9	14,9	84	2,8
14,0	12,7	14,7	83	3,0
13,9	12,5	14,5	82	3,2
13,8	12,3	14,3	81	3,4
13,7	12,1	14,1	80	3,6
13,6	12,0	14,0	79	3,7
13,5	11,8	13,8	78	3,9
13,4	11,5	13,6	77	4,1
13,3	11,3	13,4	76	4,3
13,2	11,1	13,2	75	4,5
13,1	10,9	13,0	74	4,7
13,0	10,7	12,9	73	4,8
12,9	10,5	12,7	72	5,0
12,8	10,3	12,5	71	5,2
12,7	10,0	12,3	69	5,4

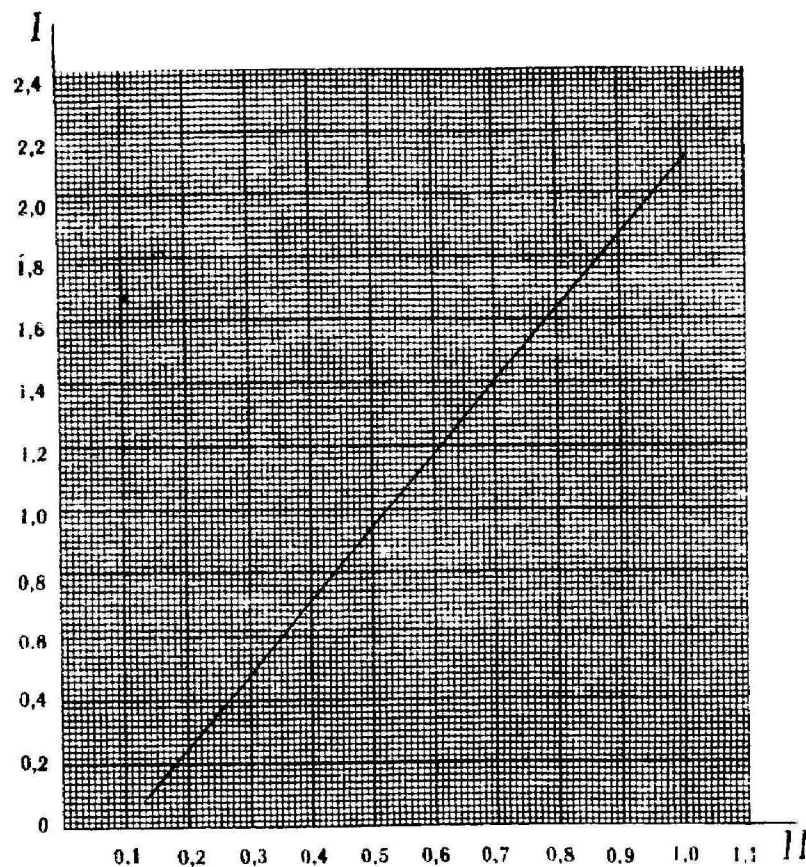
Таблица 3

Поправки Δe (гПа) к упругости водяного пара при определении влажности аспирационным психрометром

p, гПа	$(t - t')$, $^\circ\text{C}$									
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
1100	0,00	0,03	0,07	0,10	0,13	0,17	0,20	0,23	0,27	0,30
1090	0,00	0,04	0,07	0,11	0,15	0,18	0,22	0,26	0,29	0,33
1080	0,00	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36
1070	0,00	0,04	0,09	0,13	0,17	0,22	0,26	0,30	0,35	0,39
1060	0,00	0,005	0,09	0,14	0,19	0,23	0,28	0,33	0,37	0,42
1050	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
1040	0,00	0,05	0,11	0,16	0,21	0,27	0,32	0,37	0,42	0,48
1030	0,00	0,06	0,11	0,17	0,23	0,28	0,34	0,39	0,45	0,51
1020	0,00	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54
1010	0,00	0,06	0,13	0,19	0,25	0,32	0,38	0,44	0,50	0,57
1000	0,00	0,07	0,13	0,20	0,27	0,33	0,40	0,46	0,53	0,60
990	0,00	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,56	0,63
980	0,00	0,07	0,15	0,22	0,29	0,36	0,44	0,51	0,58	0,66
970	0,00	0,08	0,15	0,23	0,31	0,38	0,46	0,53	0,61	0,69
960	0,00	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64	0,72
950	0,00	0,08	0,17	0,25	0,33	0,41	0,50	0,58	0,66	0,75
940	0,00	0,09	0,17	0,26	0,34	0,43	0,52	0,60	0,69	0,78
930	0,00	0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54	0,63	0,72	0,81
920	0,00	0,09	0,19	0,28	0,37	0,46	0,56	0,65	0,74	0,84
910	0,00	0,10	0,19	0,29	0,38	0,48	0,58	0,67	0,77	0,87

Приложение 2

График зависимости скорости вращения оси анемометра от скорости направленного воздушного потока



I – скорость вращения оси анемометра, число делений счетчика/с;
II – скорость воздушного потока, м/с

Приложение 3

Правила приближенных вычислений

Запись приближенных чисел

Результат измерений представляет собой приближенное число, точность которого определяется ошибкой. *Приближенное число* записывают так, чтобы ошибка последней цифры не превышала десяти единиц соответствующего разряда. При такой записи все цифры числа, кроме последней, будут *верными*. Последняя цифра называется *сомнительной*, все цифры правее сомнительной – *неверными*.

При записи окончательного результата все неверные цифры «отбрасываются» с соблюдением правил округления. Если приближенное число входит в расчетную формулу (в вычисления), в нем сохраняют одну неверную цифру – *запасную*. Например, если результат измерения равен $1,2763$, а ошибка – $0,02$, то окончательный результат – $1,28 \pm 0,02$ (отброшены две неверные цифры, оставлены две верные и одна сомнительная), если же результат измерения входит в вычисления, то используется число $1,276$, где цифра 6 – *запасная*.

В таблицах математических и физических величин приводятся числа только с верными и одной сомнительной цифрой, за максимальную (т.е. предельную) ошибку округления принимается половина единицы сомнительной цифры.

Пример 1. Из тригонометрических таблиц можно найти значение $\sin 48^\circ = 0,7431$. Ошибка округления принимается равной $\pm 0,00005$.

Пример 2. Из физических таблиц плотность ртути при 20°C равна $19,5458 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Ошибка округления равна $\pm 0,00005 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Правила округления

1. Если первая отбрасываемая цифра больше пяти, то последняя сохраняемая цифра увеличивается на единицу; если отбрасы-

ваемая цифра меньше пяти, то последняя цифра оставляется без изменений.

2. Когда отбрасывается только цифра 5, а последующих цифр младших разрядов нет или они неизвестны, то сохраняемая четная цифра увеличивается на единицу.
3. При округлении целых чисел все цифры, отброшенные при округлении, заменяются множителем 10^n , где n – количество отброшенных цифр.

Пример округления целого числа: $x = 30367 \approx 30 \cdot 10^3$.

Пример округления дроби: $x = 9,8066 \approx 9,81$.

Вычисления с приближенными числами

Точность результата математических операций с приближенными числами определяется количеством значащих цифр в этих числах. *Значащими* цифрами числа называются все верные и сомнительная цифры. Незначащими считаются все нули, стоящие левее первой значащей цифры.

Результат любого арифметического действия с приближенными числами – есть также приближенное число, в котором могут быть и неверные цифры, подлежащие отбрасыванию. Так как сложение и умножение верной цифры и неверной дают неверную, а верной и сомнительной – сомнительную, то результат вычислений, очевидно, не может быть точнее самого неточного числа в исходных данных. Отсюда ясно, что не только окончательные результаты, но и числа в промежуточных выкладках, а также исходные приближенные числа необходимо округлять. Округление производится следующим образом.

1. При сложении и вычитании все слагаемые округляют до сомнительной цифры, стоящей в самом высшем разряде, а затем производят сложение (или вычитание):

$$x = 3,14 + 0,847 + 0,936 + 0,0736 + 0,0383 \approx \\ \approx 3,14 + 0,85 + 0,94 + 0,07 + 0,04 = 5,04.$$

Если округления не делать, то сумма будет равна 5,0359, где две последние цифры не верны, так как в первом слагаемом верных

цифр только две, третья – сомнительная, а далее могут быть неизвестные цифры. Округление существенно облегчило получение результата без потери точности.

При вычитании близких по величине чисел возможна потеря относительной точности. Например, в случае разности

$$x = 5,7256 - 5,7243 = 0,0013$$

исходные данные имеют по пять значащих цифр, а результат – две, причем только одну верную цифру. Увеличение точности в таком случае возможно только путем изменения метода измерений (или вычислений) и, следовательно, использования расчетной формулы, не содержащей разности близких величин.

2. При умножении и делении в полученном результате будет столько значащих цифр, сколько в исходном данном с наименьшим количеством значащих цифр. Аналогично предыдущему следует предварительно округлять все числа, оставляя, если это может повлиять на результат, одну запасную цифру

$$x = 0,035835 \cdot 62,3 \approx 0,0358 \cdot 62,3 \approx 2,23.$$

3. При возведении в степень и извлечении корня приближенного числа должно быть оставлено значащих цифр столько, сколько их в основании:

$$x = 2,84^3 \approx 22,9.$$

В числе, полученном после извлечения корня любой степени, следует оставлять столько же значащих цифр, сколько их было в числе под корнем:

$$x = \sqrt{4,5400} \approx 2,1307.$$

4. При логарифмировании в мантиссе приближенного числа берется столько значащих цифр, сколько их в логарифмируемом числе:

$$x = \ln 10,0 \approx 2,30.$$

Литература

1. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов/ С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.Ф. Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2002. – 357 с.: ил.
2. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие для вузов; Под ред. проф. Л.А.Муравья. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 431с.
3. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (охрана труда): Учеб. пособие / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Е.А. Подгорных, и др. – М.: Высш. шк., 1999. – 318 с.
4. Безопасность жизнедеятельности. Производственная безопасность и охрана труда: Уч. пособие / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев и др. – М.: Высш. шк., 2001. – 431 с.: ил.
5. Богословский В.Н., Кокорин О.Я., Петров Л.В. Кондиционирование воздуха и хладоснабжение: Учеб. для вузов; Под ред. В.Н. Богословского. – М.: Стройиздат, 1985. – 367 с.
6. Руководство к лабораторным занятиям по метрологии и климатологии: Учеб. пособие / А.П.Волошина, Т.В. Еневич, А.И. Земцова, В.Н. Сорокина; Под ред. С.П. Хромова, М.А. Петросянца. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. – 159 с.: ил.
7. ГОСТ 12.1.005-88. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования.
8. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
9. Золотницкий Н.Д., Пчелинцев В.А. Охрана труда в строительстве: Учеб. для вузов; Под ред. Н.Д. Золотницкого. – М.: Высш. шк., 1978. – 408 с.
10. Коваленко П.П., Орлова Л.Н. Городская климатология: Учеб. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1993. – 144с.: ил.
11. Орлов Г.Г. Охрана труда в строительстве: Учеб. для строит. специальностей вузов. – М.: Высш. шк., 1984. – 343 с.
12. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике: Учеб. для авиационных специальностей вузов/ В.С. Авдуевский, Б.М. Галицкий, Г.А. Глебов и др.; Под общ. ред. В.С. Авдуевского, В.К. Кошкина. – 2-е изд., перераб. и доп. –

- М.: Машиностроение, 1992. – 528 с.: ил.
13. Охрана труда в машиностроении: Учебник для машиностроительных вузов / Е.Я. Юдин, С.В. Белов, С.К. Баланцев и др.; Под ред. Е.Я.Юдина, С.В. Белова – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 432 с.
 14. Психрометрические таблицы /Составители Д.П. Беспалов, Л.Т. Матвеев, В.Н. Козлов, Л.И. Наумова. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 271 с. (издание 2-е, исправленное и дополненное).
 15. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Информационно-Издательский центр Минздрава России, 1997. – 20 с.
 16. Стернзат М.С. Метеорологические приборы и измерения: Учеб. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 392 с.
 17. Шталь В.А., Белов Н.Ф., Циценко Г.В. Прикладная климатология: Учеб. пособие. – Л.: Ленинградский гидрометеорологический институт, 1981. – 166 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Основные теоретические положения	4
1.1. Параметры микроклимата	4
1.2. Теплообмен человека с окружающей средой	4
1.3. Влияние параметров микроклимата на тепловое са- мочувствие человека	8
1.3.1. Температура окружающего воздуха	9
1.3.2. Влажность воздуха	10
1.3.3. Скорость движения воздуха	12
1.3.4. Атмосферное давление	13
1.4. Терморегуляция организма человека	17
1.5. Гигиеническое нормирование параметров микрокли- мата	18
1.6. Контроль параметров микроклимата	29
1.6.1. Требования к организации измерений	29
1.6.2. Приборы для измерения параметров микроклима- та	30
1.6.2.1. Температура	30
1.6.2.2. Относительная влажность воздуха	43
1.6.2.3. Скорость движения воздуха.	47
1.6.2.4. Интенсивность теплового излучения	49
1.6.2.5. Атмосферное давление	50
1.6.2.6. Индекс тепловой нагрузки среды ТНС-индекс	54
2. Методика проведения работы	56
2.1. Контрольно-измерительные приборы	56
2.2. Порядок выполнения работы	56
2.2.1. Определение температуры воздуха	57
2.2.2. Измерение атмосферного давления	59
2.2.3. Определение относительной влажности воздуха	59
2.2.4. Измерение интенсивности теплового излучения	63

2.2.5. Определение скорости движения воздуха	64
2.2.6. Определение эффективной и эффективно-эквива- лентной температур	65
3. Требования к оформлению отчета	67
4. Условия допуска к выполнению работы	68
5. Условия допуска к защите работы.	68
Краткий словарь терминов	69
Приложение 1	74
Приложение 2	80
Приложение 3	81
Литература	84

Редактор Н.П. Лапина
Технический редактор Н.Е. Знаменская
Компьютерный набор и верстка Н.А. Евстигнеевой

Подписано в печать 22.06.2005 г.	Формат 60x84/16	
Печать офсетная	Усл. печ. л. 5,5	Уч.-изд. л. 4,4
Тираж 300 экз.	Заказ 289	Цена 35 руб.

Ротапринт МАДИ (ГТУ). 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64

**Учебно-методическая литература
по курсу «Безопасность жизнедеятельности»,
подготовленная преподавателями
кафедры инженерной экологии МАДИ (ГТУ)
и изданная в 2004 – 2005 годах**

1. *Кузнецов Ю.М.* Нормативное правовое обеспечение охраны труда: Учеб. пособие / МАДИ (ГТУ). – М., 2004. – 36 с.
2. *Евстигнеева Н.А.* Методы очистки атмосферного воздуха от загрязнителей (паро- и газообразных): Методические указания к лабораторной работе по курсу «Безопасность жизнедеятельности» / МАДИ (ГТУ). – М., 2004. – 36 с.
3. *Евстигнеева Н.А.* Эколого-экономическая оценка мероприятий по совершенствованию дорожной сети: Методические указания к расчетно-практическим работам по курсу «Безопасность жизнедеятельности» / МАДИ (ГТУ). – М., 2004. – 79 с.
4. *Евстигнеева Н.А.* Анализ электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В: Методические указания к лабораторной работе по курсу «Безопасность жизнедеятельности» / МАДИ (ГТУ). – М., 2005. – 51 с.
5. *Евстигнеева Н.А., Кузнецов Ю.М., Гогиберидзе О.Э.* Микроклимат производственных помещений: Методические указания к лабораторной работе по курсу «Безопасность жизнедеятельности» / МАДИ (ГТУ). – М., 2005. – 87 с.

По вопросу приобретения литературы обращаться
по тел. 155-07-29 и 155-07-41.



384650