

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы

Санкт-Петербург
1998

Составители: Н.Ф. Екимова, Т.В. Колобашкина, Т.А. Пожарова,
С. С. Симонов.

Рецензенты: кафедра технологии приборостроения СПГУАП;
канд. техн. наук доцент А.И. Панферов

Методические указания знакомят студентов с основными параметрами микроклимата производственных помещений, санитарными нормами, особенностями теплообмена организма человека с окружающей средой. Студенты изучают методы и приборы контроля основных параметров микроклимата, выполняют экспериментальные исследования и расчеты с целью определения соответствия параметров микроклимата производственного помещения требованиям санитарных норм. работа рассчитана на студентов всех специальностей университета.

С Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического
приборостроения
1998

Подписано к печати
Усл. печ. л.
Заказ №

Формат 60x84 1/16
Уч.-изд. л.

Бумага тип № 3
Тираж 250 экз.

Редакционно-издательский отдел
Отдел оперативной полиграфии
СПГУАП
190000, С.-Петербург, ул. Б. Морская, 67

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Цель работы: ознакомление с особенностями теплового взаимодействия организма человека с внешней средой и санитарными нормами на метеорологические условия в производственных помещениях; изучение методов и приборов, применяемых для контроля параметров микроклимата; ознакомление с методами экспериментального исследования и расчета параметров микроклимата.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Метеорологические условия (микроклимат) в рабочей зоне производственного помещения характеризуется температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха. Рабочей зоной следует считать пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которой находятся рабочие места.

Микроклимат в производственном помещении зависит от технологических процессов. Для некоторых производственных процессов металлургической, машиностроительной, приборостроительной, химической промышленности характерны повышенные температуры воздуха вблизи рабочей зоны. Ряд процессов проводится при строго определенных параметрах микроклимата, малейшее изменение которых приводит к браку (например, планарная технология, лазерная сварка и т.п.). В прямой зависимости от технологического процесса может быть и влажность воздуха в производственном помещении, например, в травильных, гальванических цехах машиностроительных заводов.

Различают абсолютную, максимальную и относительную влажность воздуха.

Абсолютная влажность B , г/м³ - это масса водяных паров, находящихся в 1 м³ воздуха в момент измерения. Максимальная влажность B_{\max} , г/м³ - предельное количество водяных паров, которое может содержаться в 1 м³ воздуха при данной температуре. Максимальная влажность воздуха зависит от его температуры и с уменьшением температуры понижается.

Отношение абсолютной влажности к максимально возможной при данной температуре называется относительной влажностью

$$\varphi = \frac{B}{B_{\max}} \Big|_{t=\text{const}} \times 100, \%$$

Поскольку максимальная влажность зависит от температуры, относительная влажность меняется при изменении температуры, даже если абсо-

лутная влажность остается неизменной. При охлаждении воздуха до температуры точки росы относительная влажность достигает 100 %. Точкой росы называется такая температура, при охлаждении до которой начинается конденсация воды, содержащейся во влажном воздухе (образование росы).

Относительную влажность воздуха определяют также как отношение парциального давления водяного пара к давлению насыщенного пара при одном и том же атмосферном давлении и температуре:

$$\varphi = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{н}}} \bigg|_{\substack{t=\text{const} \\ P_{\text{н}}=\text{const}}} \times 100, \%$$

где $P_{\text{п}}$ и $P_{\text{н}}$ - парциальное давление водяного пара, содержащегося в воздухе и насыщенного водяного пара, соответственно, Па.

Парциальным давлением называется давление определенного компонента газовой смеси (или воздуха). Значения давления насыщенного водяного пара в зависимости от температуры приведены в Приложении 6.

Между организмом человека и окружающей средой происходит непрерывный процесс тепло- и влагообмена, состоящий в передаче вырабатываемого организмом тепла и влаги в окружающую среду. При этом, независимо от условий среды, температура тела сохраняется постоянной на уровне $36,5 - 37,0$ °C, средневзвешенная температура поверхности кожи - на уровне $31,0 - 31,5$ °C.

Совокупность процессов, обуславливающих теплообмен между организмом и средой, в результате которого температура тела человека остается постоянной, называется терморегуляцией.

Высокая относительная влажность воздуха при его высокой температуре способствует перегреву организма. Низкая влажность вызывает сухость слизистых оболочек дыхательных путей. Подвижность воздуха способствует повышению теплоотдачи организма в окружающую среду, что играет положительную роль при повышенных температурах воздуха, но отрицательную - при пониженных.

Теплоотдача организма человека во внешнюю среду происходит преимущественно через кожу, в меньшей степени через легкие и осуществляется путем излучения, конвекции и испарения. В покое человек отдает в окружающую среду приблизительно 10^4 кДж тепла в сутки. При физической работе теплопродукция увеличивается в несколько раз.

Отдача тепла излучением подчиняется закону Стефана-Больцмана и происходит в направлении поверхностей с более низкой температурой. Количество отдаваемого тепла $Q_{\text{изл}}$ зависит от площади излучающей поверхности тела человека $F_{\text{изл}}$ и разности четвертых степеней температуры тела $T_{\text{т}}$ и температуры поверхностей $T_{\text{п}}$. Однако при разности температур, не превышающей 40 °C, можно считать, что за 1 час организм излучает

$$Q_{\text{изл}} = K_{\text{изл}} \times F_{\text{изл}} \times (T_{\text{т}} - T_{\text{п}}), \quad (1)$$

где $K_{\text{изл}}$ - приведенный коэффициент взаимноизлучения одежды и окружающих поверхностей, $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$.

Отдача тепла с поверхности тела излучением возможна тогда, когда температура окружающих поверхностей ниже температуры тела человека. В противном случае возможен перегрев организма.

Под конвекцией понимается отдача тепла с поверхности тела человека менее нагретым, обтекающим его слоям воздуха. Количество тепла, передаваемое в единицу времени конвекцией $Q_{\text{к}}$, зависит от площади обдуваемой поверхности тела $F_{\text{к}}$, разности температур тела человека $T_{\text{т}}$ и окружающего воздуха T , а также скорости движения воздуха V

$$Q_{\text{к}} = \alpha \cdot F_{\text{к}} \cdot (T_{\text{т}} - T), \quad (2)$$

где α - коэффициент конвективного теплообмена, $\text{кДж}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$.

При малых скоростях воздуха ($V \leq 4 \text{ м/с}$) значение α может быть определено как

$$\alpha = 6,31 \cdot V^{0,654} + 3,25 \cdot e^{-1,91V} \quad (3)$$

Теплоотдача испарением

$$Q_{\text{исп}} = K_{\text{исп}} \cdot F_{\text{исп}} \cdot (P_{\text{т}} - P_{\text{п}}), \quad (4)$$

где $F_{\text{исп}}$ - площадь поверхности тела, участвующей в испарении; $P_{\text{т}}$ - парциальное давление насыщенного водяного пара при температуре тела человека, кПа ; $P_{\text{п}}$ - парциальное давление водяного пара в окружающем воздухе, кПа ; $K_{\text{исп}}$ - коэффициент испарительного теплообмена, $\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$.

При повышении температуры окружающего воздуха до 30°C и выше основной путь теплоотдачи - испарение. Рефлекторно усиливается работа потовых желез и влага с потом выделяется из организма. При испарении 1 л воды отводится $2,46 \cdot 10^3$ кДж тепловой энергии.

Длительное пребывание человека в воздушной среде при неблагоприятных значениях параметров микроклимата ведет к нарушению терморегуляции, перегреву организма (резкому повышению температуры тела до $38-39^\circ\text{C}$), учащению пульса, обильному потоотделению и способствует возникновению ряда заболеваний.

За сутки вместе с потом из организма удаляется до 5 л воды и примерно 20–50 г солей. Нарушение водно-солевого обмена может привести к возникновению заболеваний почек, нарушений сердечно-сосудистой и нервной системы.

При неблагоприятных метеорологических условиях могут возникать изменения физиологических функций организма человека, вызывающие снижение физической и умственной активности, что приводит к уменьшению производительности труда. Правильный выбор и измерение фактических значений метеорологических условий производственном помещении имеют большое значение как с медицинской, так и с экономической точек зрения.

Основной принцип нормирования микроклимата - создание благоприятных условий для теплообмена тела человека с окружающей средой. Параметры микроклимата на производстве (температура, влажность и скорость движения воздуха) регламентируются в ССБТ ГОСТ 12.1.005-88 (см. Прил. 1). Они зависят от:

- тяжести выполняемой физической работы;
- наличия в производственном помещении источников явного тепла (нагретое оборудование, нагретые материалы), т.е. тепла, увеличивающего температуру воздуха в помещении;
- времени года.

Все выполняемые работы делятся на три категории:

- а) легкие физические работы (категория **I**) – все виды деятельности с расходом энергии не более 150 ккал/ч (174 Вт);
- б) средней тяжести физические работы (категория **II**) – все виды деятельности с расходом энергии в пределах 151-250 ккал/ч (175-290 Вт).
- с) тяжелые физические работы (категория **III**) – все виды деятельности с расходом энергии более 250 ккал/ч (290 Вт или 1044 кДж/ч).

Легкие физические работы подразделяются на две категории:

- **Ia** - энергозатраты до 120 ккал/ч (139 Вт или 500,5 кДж/ч)
- **Iб** - энергозатраты 121-150 ккал/ч (140-174 Вт или 500,5-626,5 кДж/ч).

К категории **Ia** относятся работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях точного приборо- и машиностроения, на часовом, швейном производствах, в сфере управления и т.п.)

К категории **Iб** относятся работы, производимые 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.)

Физические работы средней тяжести также подразделяют на две категории:

- **IIa** - энергозатраты от 151 до 200 ккал/ч (175 - 232 Вт или 626,5 - 835 кДж/ч) и
- **IIб** - энергозатраты от 201 до 250 ккал/ч (233 - 290 Вт или 835 - 1044 кДж/ч).

К категории **IIa** относятся работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения (ряд профессий в механо-сборочных цехах, в прядильно-ткацком производстве и т.п.).

К категории **IIб** относятся работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением (ряд профессий в механизированных литейных, прокатных, кузнечных, термических, сварочных цехах и т.п.).

К тяжелым физическим работам относятся все виды деятельности, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий (ряд профессий в кузнечных цехах с ручной ковкой, литейных цехах с ручной набивкой и заливкой опок и т.п.)

На предприятиях приборостроения преобладают, в основном, работы легкие и средней тяжести.

При нормировании параметров микроклимата различают производственные помещения со значительными и с незначительными тепловыделениями (со значительными и незначительными избытками явного тепла). Тепловыделения более $84 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ считаются значительными. К помещениям, характеризующимся значительными избытками явного тепла, относятся участки плавки и разливы металлов литейных цехов, термические цеха и т.п. Тепловыделения менее $84 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ считаются незначительными.

В нормах учитываются сезоны года: холодный и теплый. Холодный период характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха $+10^\circ\text{C}$ и ниже, теплый - выше $+10^\circ\text{C}$.

ГОСТ 12.1.005-88 накладывает определенные ограничения на точность измерения параметров микроклимата. При измерении температуры (по сухому и по мокрому термометру аспирационного психрометра) абсолютная погрешность измерения не должно превышать $\pm 0.2^\circ\text{C}$. При измерении влажности воздуха предельное отклонение должно быть не более ± 5 процентов относительной влажности. Скорость движения воздуха измеряется с относительной погрешностью не более $\pm 10\%$.

В нормах регламентируются допустимые и оптимальные значения параметров микроклимата. Допустимые параметры ограничивают температуру, влажность и подвижность воздуха значениями, которые при длительной работе хотя и могут вызвать напряжение терморегуляторного аппарата человека, но без каких-либо патологических изменений в организме. Оптимальные параметры при работе не вызывают значительного напряжения терморегуляторного аппарата. Оптимальные параметры микроклимата принято также называть комфортными.

В качестве показателя, характеризующего степень нарушения комфортности воздушной среды используется комплексный показатель дискомфорта E_d , определяемый по уравнению теплового баланса организма человека

$$E_d = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{т}} = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{изл}} - Q_{\text{к}} - Q_{\text{исп}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{пр}}$ - энергозатраты организма человека, $\text{кДж}/\text{ч}$; $Q_{\text{т}}$ - теплопотери организма, $\text{кДж}/\text{ч}$.

Получение дополнительного тепла ($+E_d$) приводит к перегреву организма, потеря тепла ($-E_d$) приводит к понижению температуры тела и

ощущению холода. Наиболее оптимальное комфортное состояние, при котором $E_d \approx 0$, что свидетельствует об отсутствии как перегрева, так и охлаждения организма. Величина $Q_{пр}$ обычно принимается в зависимости от характера выполняемой работы. Значения $Q_{изл}$, Q_k , $Q_{исп}$ при известных параметрах поверхности тела человека определяются лишь параметрами микроклимата и могут быть рассчитаны по формулам (1), (2) и (4). Таким образом при $E_d \approx 0$ выражение (5) описывает область комфортных сочетаний параметров микроклимата T , ϕ и V . В зоне изменений любого из параметров микроклимата, допустимых действующими санитарно-гигиеническими нормами (ГОСТ 12.1.005-88), комфортное состояние воздушной среды может достигаться варьированием различных факторов независимо от причин, вызвавших состояние дискомфорта.

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа состоит из экспериментальной и расчетной частей. При выполнении экспериментальных исследований студенты измеряют температуру воздуха снаружи и внутри помещения, определяют относительную влажность и скорость движения воздуха.

Для заданных в варианте характеристик производственного помещения и категории работы в санитарных нормах выбираются допустимые и оптимальные параметры микроклимата, которые затем сравниваются с экспериментальными значениями.

В расчетной части работы рассчитываются суммарная теплоотдача организма человека и делается вывод о том, какую работу наиболее целесообразно выполнять в данном производственном помещении.

Исследования параметров микроклимата проводятся в потоке воздуха, моделирующем условия в производственном помещении. Поток воздуха создается тепловентилятором, установленным на лабораторном столе. Приборы для измерения параметров микроклимата также расположены на лабораторном столе, а их датчики укрепляются на штативе в потоке воздуха на расстоянии 1,5 м от выходного сопла тепловентилятора. Изменение параметров микроклимата осуществляется изменением режима работы тепловентилятора путем нажатия кнопок на его панели управления в соответствии с заданным вариантом.

Приборы для измерения влажности воздуха

Относительная влажность воздуха определяется с помощью аспирационного психрометра и гигрометра "Волна-1М".

Аспирационный психрометр или психрометр Ассмана (рис.1,а) состоит из двух расположенных рядом термометров, резервуар одного из которых обернут увлажненной тканью. При испарении влаги с поверхности резервуара влажного термометра уносится тепло, поэтому показания влажного термометра оказываются ниже показаний сухого термометра. Сухой термометр показывает температуру T окружающего воздуха. Показания влажного термометра T_v зависят от влажности воздуха. Относительная влажность определяется по значениям T и T_v по психрометрической таблице, приведенной в справочных данных к лабораторной работе (см. Прил.2).

Ртутные термометры психрометра заключены в металлическую оправу, резервуары термометров находятся в двойных металлических гильзах, что исключает влияние теплового излучения на показания термометров. Поэтому сухой термометр аспирационного психрометра применяется для измерения температуры воздуха в помещении даже при наличии значительного инфракрасного излучения. В верхней части прибора находится вентилятор с электродвигателем, протягивающий воздух вдоль резервуаров термометров.

Техническая характеристика аспирационного психрометра.

Пределы шкал сухого и влажного термометров от -30 до $+50$ $^{\circ}\text{C}$. Цена деления термометров $- 0,2$ $^{\circ}\text{C}$. Скорость обдува воздухом резервуаров термометров $- 4$ м/с. Время измерения 3–5 мин. Погрешность определения относительной влажности ± 3 %.

Инструкция по работе с аспирационным психрометром.

1. Смочить чистой, желательно дистиллированной водой ткань, которой обернут резервуар правого термометра (влажный термометр)
2. Установить аспирационный психрометр в рабочую зону.
3. Включить электродвигатель вентилятора психрометра.
4. Через 3 –5 мин после запуска вентилятора снять показания сухого и влажного термометров.
5. По таблице (Прил.2), используя полученные значения справочных данных к лабораторной работе T и T_v определить относительную влажность воздуха.

Гигрометр "Волна-1М" предназначен для измерения относительной влажности воздуха и неагрессивных газовых смесей и представляет собой сорбционно-частотный одноканальный переносной цифровой прибор, имеющий выход для информационной связи с другими системами и цифропечатающим устройством.

Принцип действия гигрометра основан на измерении резонансной частоты колебаний пьезоэлемента, покрытого пленкой сорбента. Резонансная частота колебаний пьезоэлемента зависит от массы пленки, изменение которой пропорционально изменению относительной влажности анализируемого воздуха.

$$\Delta f = -b \cdot f_{\text{рез}}^2 \cdot \Delta m,$$

где Δf - изменение резонансной частоты генератора; b - постоянный коэффициент; $f_{\text{рез}}$ - резонансная частота; Δm - изменение массы сорбционной пленки.

Прибор состоит из первичного преобразователя 4 и блока измерения 5 (рис.1,б). На лицевой панели блока измерения расположены кнопки включения питания, обозначенные символами "=" и "≈", и цифровой индикатор относительной влажности.

Техническая характеристика гигрометра "Волна-1М".

Диапазон измерения относительной влажности от 0 до 99,9 % при температуре воздуха от 0 до +60 °С, давлении от 40 до 133 кПа и скорости движения воздуха не более 15 м/с. Основная абсолютная погрешность не превышает $\pm 1,5$ % относительной влажности. Постоянная времени гигрометра 120 с. Электрическое питание осуществляется от сети переменного тока 220 В, 50 Гц или источника постоянного тока напряжением 7 – 12 В.

Инструкция по работе с гигрометром "Волна-1М".

1. Установить первичный преобразователь в исследуемую точку рабочей зоны чувствительным элементом вниз.
2. Подсоединить шнур питания к электрической сети 220 В, 50 Гц и включить гигрометр, нажав кнопку "≈".
3. Через 10-15 мин после включения прибора (прогрев) снять его показания.
4. Выключить прибор по окончании измерений нажатием на ту же кнопку "≈".

а)

б)

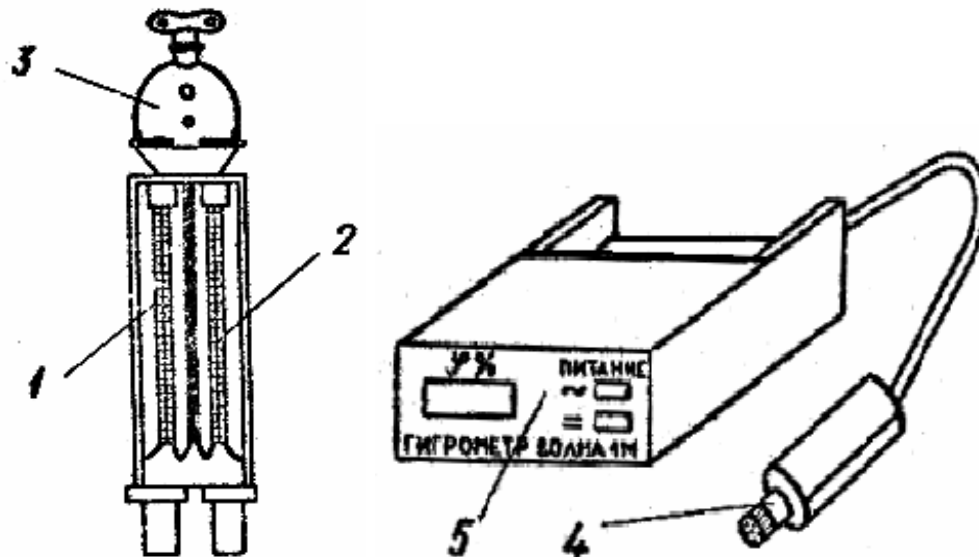


Рис. 1. Приборы для измерения температуры и относительной влажности воздуха: аспирационный психрометр (а): 1 – сухой термометр; 2 – влажный термометр; 3 – электродвигатель с вентилятором; гигрометр "Волна – 1М" (б): 4 – первичный преобразователь; 5 – блок измерения и индикации.

Приборы для измерения скорости движения воздуха

Скорость движения воздуха в производственных помещениях измеряют кататермометрами, анемометрами и термоанемометрами.

Кататермометр представляет собой спиртовой термометр (рис.2,а), шкала которого проградуирована в $^{\circ}\text{C}$. Кататермометр применяется для измерения малых скоростей движения воздуха. Принцип его действия основан на зависимости скорости охлаждения предварительно нагретого резервуара прибора от скорости движения воздуха.

Техническая характеристика кататермометра.

Диапазон измеряемых скоростей от 0,05 до 2 м/с. Пределы шкалы кататермометра от $+33$ до $+40$ $^{\circ}\text{C}$. Постоянная кататермометра равна $B=2700$ мДж/см 2 . Погрешность определения скорости не более ± 10 %.

Инструкция по работе с кататермометром.

1. Нагреть резервуар кататермометра нагревательным элементом так, чтобы спирт заполнил примерно половину верхнего расширения капилляра. При этом необходимо следить за тем, чтобы в капилляре не оставалось пузырьков воздуха.

2. Установить нагретый кататермометр в рабочей зоне, следить за его охлаждением и по секундомеру отметить время, в течение которого столбик

спирта опустится от $T_1=38\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $T_2=35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Измерение времени охлаждения кататермометра в исследуемой точке повторить не менее 3-х раз и вычислить среднее время охлаждения $\tau_{\text{ср.}}$.

3. Определить параметр охлаждения

$$C_{\kappa} = \frac{B}{\tau_{\text{ср}} \times \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T \right)} = \frac{B}{\tau_{\text{ср}} \times (36,5 - T)}, \quad (6)$$

где T - температура воздуха по показаниям сухого термометра аспирационного психрометра.

4. По градуировочной характеристике (см. Прил.3) найти значение скорости движения воздуха V , соответствующее расчетному C_{κ} .

Анемометр крыльчатый (рис.2,б), позволяет измерять скорость движения воздуха от 0,3 до 10 м/с. Прибор имеет крыльчатку, вращающуюся под действием потока воздуха. Вращение крыльчатки через отсчетный механизм передается стрелкам, движущимся по градуированным циферблатам. Включение и выключение отсчетного механизма производится арретиром.

Инструкция по работе с крыльчатым анемометром.

1. Записать начальное показание N_1 стрелок на циферблатах.
2. Установить анемометр в рабочей зоне так, чтобы ось вращения крыльчатки располагалась параллельно направлению воздушного потока.
3. После установления равномерной скорости вращения крыльчатки включить с помощью арретира отсчетный механизм анемометра и одновременно секундомер.
4. Примерно через $t=100$ с после начала измерения выключить отсчетный механизм и секундомер.
5. Записать конечное показание N_2 стрелок анемометра и продолжительность измерения в секундах.
6. Вычислить разность показания анемометра $N = N_2 - N_1$. Повторить измерение не менее 3 раз.
7. Определить среднее значение приращения показаний анемометра, приходящееся на одну секунду $n_{\text{ср}} = N/t$.
8. Определить скорость движения воздуха по градуировочному графику, имеющемуся в справочных данных к лабораторной работе (см. Прил.4).

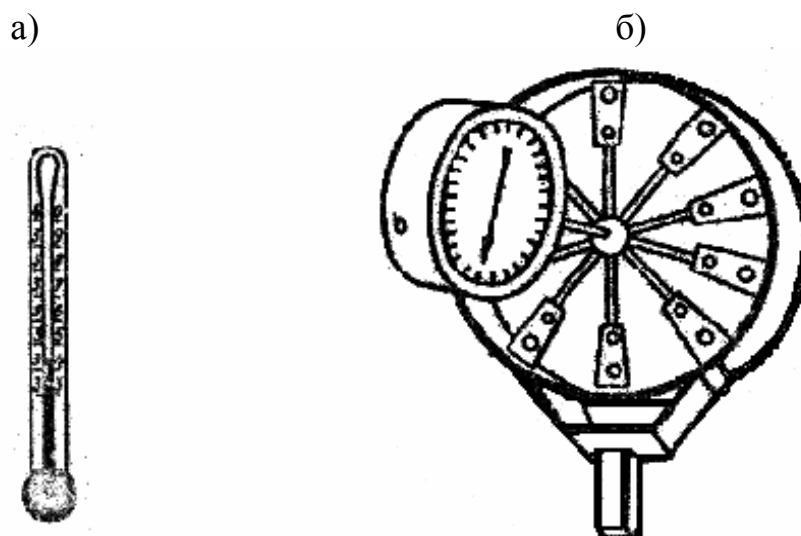


Рис. 2. Приборы для измерения скорости движения воздуха: кататермометр (а), крыльчатый анемометр (б)

Термоанемометр ТАМ-1 - электронный прибор, предназначенный для измерения скорости движения воздуха и его температуры. Принцип действия термоанемометра основан на зависимости электрических параметров чувствительного элемента от скорости обдувающего его воздушного потока и температуры воздуха.

Прибор состоит из блока управления 1 и термопреобразователя 3, соединенных кабелем 2 (рис.3). Термопреобразователь 3 содержит два чувствительных элемента: дифференциальную термопару, используемую при измерении скорости, и терморезистор, включенный в мостовую схему измерения температуры. Термопреобразователь 3 закрыт защитным колпачком 4, который при проведении измерения скорости потока необходимо сдвигать в сторону ручки.

На лицевой панели блока управления 1 установлены: переключатель режима работ 7, потенциометр 6 "Установка нуля" и измерительный прибор 5.

Техническая характеристика термоанемометра ТАМ-1.

Диапазон измеряемых скоростей воздуха от 0,1 до 2 м/с. Диапазон измеряемых температур от 5 до 40 °С. Предел допускаемой основной погрешности измерения скорости V составляет $\pm(10 + 2/V) \%$. Предел допускаемой основной погрешности измерения температуры составляет $\pm(5 + 25/T) \%$. Время непрерывной работы термоанемометра не более 5 мин с перерывом не менее 10 мин. Электрическое питание термоанемометра осуществляется от двух элементов типа 373 "Орион М" или от стабилизированного источника постоянного тока напряжением 3 В.

Инструкция по работе с термоанемометром ТАМ-1.

1. Контроль напряжения источника питания. Переключатель 5 режима работ поставить в положение "М". Стрелка измерительного прибора при этом должна находиться в пределах закрашенного участка шкалы контроля питания.
2. Установить термопреобразователь прибора в исследуемой точке рабочей зоны.
3. Переключатель 5 режима работ установить в положение "V", закрыть термочувствительный элемент колпачком и выставить стрелку прибора в нулевое положение, вращая ручку потенциометра 6.
4. Сдвинуть защитный колпачок с корпуса термопреобразователя и произвести отсчет скорости воздушного потока по шкале прибора.
5. Переключатель 5 установить в положение "t" и произвести отсчет температуры воздуха.
6. По окончании измерений надвинуть защитный колпачок на термочувствительный элемент и выключить прибор, установив переключатель в положение "0".

Приборы для измерения температуры воздуха

При выполнении лабораторной работы температуру воздуха снаружи помещения измеряют с помощью спиртового термометра, а внутри помещения - с помощью сухого термометра аспирационного психрометра и термоанемометра ТАМ-1.

3. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

В лабораторной работе для моделирования и измерения параметров микроклимата применяются различные электрические приборы, поэтому при работе на лабораторной установке следует руководствоваться ГОСТ 12.3.019-80 "Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности".

Характеристика опасных (вредных) факторов, создаваемых лабораторной установкой

При выполнении лабораторной работы установка может создавать следующие опасные факторы:

- опасность поражения электрическим током;
- опасность пожара.

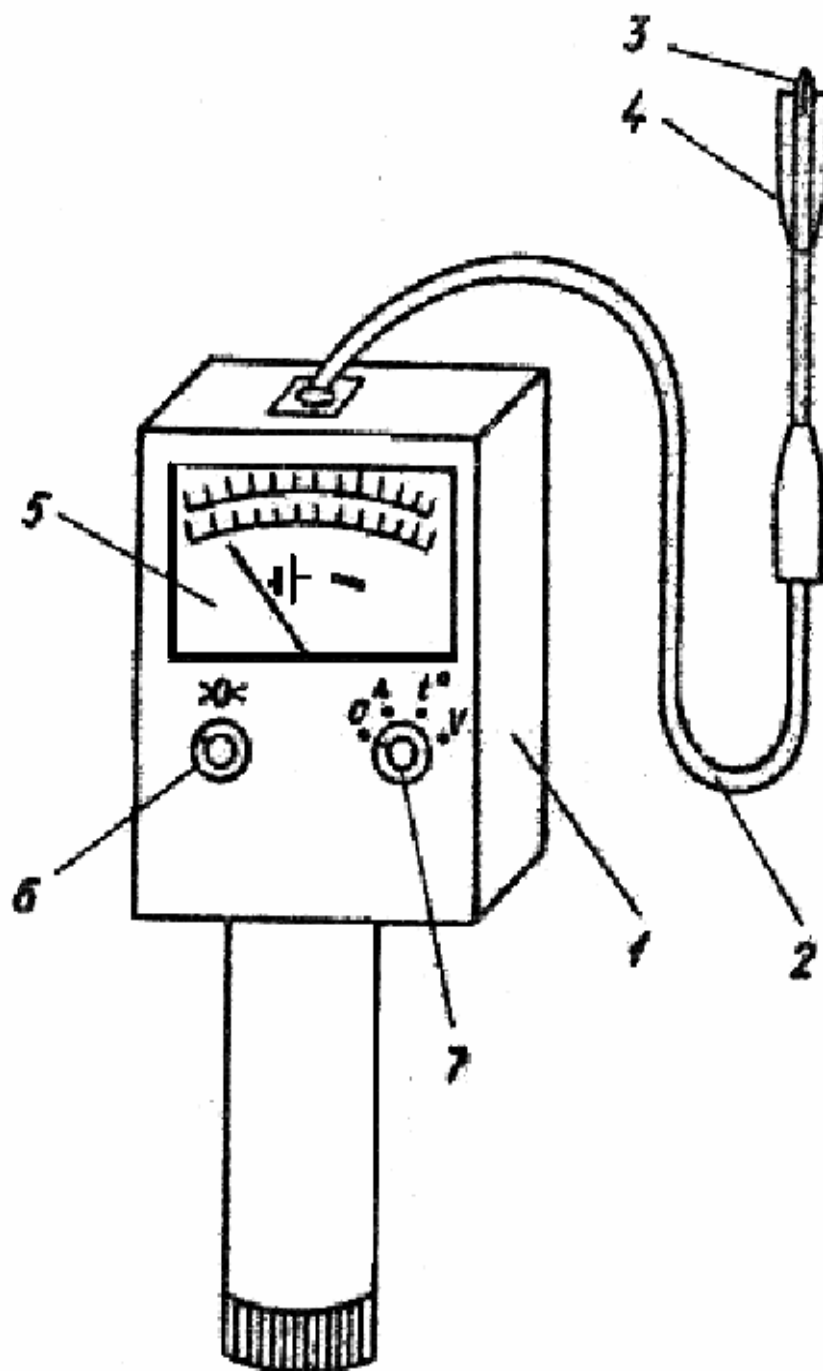


Рис. 3. Термоанемометр ТАМ-1: 1 – блок управления; 2 – соединительный кабель; 3 – термопреобразователь; 4 – защитный колпачек; 5 – измерительный прибор; 6 – потенциометр "Установка нуля"; 7 – переключатель режима работы

Установка для экспериментального исследования параметров метеорологических условий и тепловых излучений использует электрическую энергию для питания моделирующих и измерительных приборов (термоанемометра

ТАМ-1, аспирационного психрометра, гигрометра "Волна-1М", тепловентилятора), а поэтому имеется опасность поражения человека электрическим током. Электропитание приборов, входящих в состав установки, осуществляется от трехфазной сети переменного тока с заземленной нейтралью. Фазное напряжение в такой сети составляет 220 В при частоте 50 Гц. В случае прикосновения одновременно к нулевому и фазному проводам ток, проходящий через человека представляет смертельную опасность.

Опасность пожара может возникнуть при коротком замыкании в электрической схеме приборов, при искрении в контактах.

Конструктивные мероприятия, обеспечивающие повышение безопасности лабораторной установки

Конструкция установки выполнена с учетом ОСТ 40.4-78 "Оборудование учебно-лабораторное. Общие технические требования". В лабораторной установке используются стандартные приборы, которые удовлетворяют требованиям безопасной эксплуатации.

В целях уменьшения электрической и пожарной опасности в конструкции предусмотрены следующие мероприятия:

- для подключения приборов к электрической сети применены кабели с надежной электрической изоляцией;
- металлический корпус гигрометра "Волна-1М" имеет клемму, обозначенную знаком "Земля", которая предназначена для соединения с нулевым проводом электрической сети (зануление);
- в цепях питания приборов применены плавкие предохранители, размещенные в местах, обеспечивающих свободный доступ к ним в процессе эксплуатации.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Применяя методы и приборы, рассмотренные выше, требуется исследовать параметры микроклимата (метеорологические условия) в производственном помещении, сравнить их со значениями, указанными в санитарных нормах (ГОСТ 12.1.005-88), определить суммарные тепловые потери организма и указать, какую работу наиболее целесообразно выполнять при данных метеорологических условиях. Исходные данные (вариант) для исследований (категория работ, режим работы моделирующей установки) задаются преподавателем, справочные данные, необходимые для расчетов, помещены в Приложениях.

Выполнение лабораторной работы разбито на два этапа: экспериментальные исследования параметров метеорологических условий и расчет суммарных тепловых потерь организма при работе в этих условиях.

Экспериментальное определение параметров метеорологических условий

После ознакомления с описанием лабораторной установки (см. разд. 2) студенты подключают тепловентилятор к сети и, нажатием заданных кнопок на его панели управления по варианту, создают поток воздуха, моделирующий метеорологические условия в производственном помещении. Все результаты измерения заносятся в Табл. 1 (см. Приложение 7).

Измерение параметров метеорологических условий производится в точке, расположенной в 1,5 м от пола и в 1,5 м от выходного сопла тепловентилятора. Датчики измерительных приборов закрепляются в штативе, установленном на лабораторном столе.

Вначале измеряется температура воздуха снаружи и внутри помещения. Температура воздуха внутри помещения измеряется по показаниям сухого термометра аспирационного психрометра, а также с помощью термоанометра ТАМ-1.

Далее приступают к измерению влажности воздуха с помощью аспирационного психрометра и гигрометра "Волна-1М". Аспирационный психрометр подготавливают к работе, для чего смачивают водой резервуар влажного термометра, устанавливают в исследуемой точке рабочей зоны, включают вентилятор. Через 3-5 минут после пуска вентилятора снимают показания термометров и записывают их в Табл. 1 (см. Прил. 7). Используя значения T и T_v , по психрометрической таблице находят величину относительной влажности. Пусть по результатам измерения получено $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $T_v=15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тогда $\phi = 59\%$.

При измерении влажности с помощью гигрометра "Волна-1М" значение относительной влажности считывают с его цифрового табло.

Скорость движения воздуха в исследуемой точке рабочей зоны измеряют кататермометром, анемометром и термоанемометром.

При измерении скорости движения воздуха кататермометром определяют среднее время охлаждения от 38 до $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ по результатам 3-х измерений. Пусть в результате измерений у Вас получилось $\tau_{ср} = 65\text{ с.}$ при $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$. По формуле (6) нужно вычислить параметр охлаждения кататермометра

$$C_k = \frac{2700}{65 \times (36,5 - 20)} = 2,52 \text{ мДж/(см}^2\text{ с} \cdot \text{град).}$$

Тогда по таблице Приложения 3 значение скорости равно $V=1\text{ м/с.}$ При измерении скорости движения воздуха анемометром определяют число оборотов стрелки анемометра за 100 секунд (разность между начальным и конечным положениями стрелок анемометра через 100 с после снятия арретира). Измерения повторяют 3 раза. Полученные значения числа оборотов ус-

редняют, затем вычисляют среднее число оборотов за 1 секунду и по градуировочному графику определяют скорость движения воздуха в заданной точке. Скорость движения воздуха с помощью термоанемометра определяют по его показаниям в соответствии с инструкцией по работе с прибором.

В соответствии с исходными данными в зависимости от выполняемой категории работы, характеристики производственного помещения и температуры наружного воздуха в Табл.1 (Прил. 7) вносят значения допустимых и оптимальных параметров микроклимата из ГОСТ 12.1.005-88 (см. Прил.1).

Затем по результатам анализа полученных данных делают выводы о соответствии реальных параметров метеорологических условий требованиям санитарных норм. В выводах следует также указать, какие из измерительных приборов обладают более высокой точностью измерения температуры, влажности и скорости движения воздуха.

Расчет суммарных тепловых потерь организма

Зависимость суммарных тепловых потерь от параметров микроклимата согласно (5) выражается следующим образом:

$$Q_T = Q_{из.л} + Q_k + Q_{ис.п} = K_{из.л} \times F_{из.л} \times (T_T - T_{п}) + \\ + (6,31 \times V^{0,654} + 3,25 \times e^{-1,91V}) \times F_k \times (T_T - T) + K_{ис.п} \times F_{ис.п} \times (P_T - P_{п}).$$

Необходимые для расчета значения студенты выбирают из Прил.5 в соответствии с вариантом, заданным преподавателем. Значение T_T принимается равным средневзвешенной температуре тела человека $31,5^{\circ}\text{C}$. Значение парциального давления насыщенных паров при температуре T_T равно $P_T = 4,61$ кПа.

Значения плотности водяных паров $P_{п}$ при температуре T и относительной влажности ϕ определяется как

$$P_{п} = \frac{\phi}{100} \times P_{нв},$$

где $P_{нв}$ - парциальное давление насыщенных паров воды при температуре $T_{в}$, выбираемое по справочным данным (Прил.6).

Значения T , ϕ , V выбираются из экспериментальных данных, приведенных в Табл.1(см. Прил. 7), причем при расчете используются результаты измерений, полученные с помощью аспирационного психрометра и кататермометра

Результаты вычислений оформляют в виде таблицы 2.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 1) исходные данные: № варианта, категория работ;
- 2) расчетные формулы с обозначением их элементов;
- 3) результаты исследования параметров микроклимата (табл.1);
- 4) результаты расчета теплотерь организма (табл.2);
- 5) выводы по результатам исследований:

- установить, соответствуют ли параметры микроклимата требованиям санитарных норм;
- определить, являются ли данные условия комфортными для выполнения данной категории работ и какую работу целесообразно выполнять при данных параметрах микроклимата, дать рекомендации по улучшению микроклимата в рабочей зоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буриченко Л.А. Охрана труда в гражданской авиации. М.: Транспорт, 1985. 239 с.
2. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. М.: Энергоатомиздат, 1985. 823 с.
3. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования.
4. Четверухин Б.М. Контроль и управление искусственным микроклиматом. М.: Стройиздат, 1984. 135с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений (по ГОСТ 12.1.005-88)

Период года	Категория работ	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
		оптимальная	допустимая				оптимальная	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных, не более	оптимальная, не более	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных
			верхняя граница		нижняя граница					
			на рабочих местах							
		постоянных	непостоянных	постоянных	непостоянных					
Холодный	Легкая - Ia	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	Не более 0,1
	Легкая - Ib	21-23	24	25	20	17	40-60	75	0,1	Не более 0,2
	Средней тяжести - IIa	18-20	23	24	17	15	40-60	75	0,2	Не более 0,3
	Средней тяжести - IIб	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	Не более 0,4
	Тяжелая - III	16-18	19	20	14	12	40-60	75	0,3	Не более 0,5
Теплый	Легкая - Ia	23-25	28	30	22	20	40-60	55 (при 28 °С)	0,1	0,1-0,2
	Легкая - Ib	22-24	28	30	21	19	40-60	60 (при 27 °С)	0,2	0,1-0,3
	Средней тяжести - IIa	21-23	27	29	18	17	40-60	65 (при 26 °С)	0,3	0,2-0,4
	Средней тяжести - IIб	20-22	27	29	16	15	40-60	70 (при 25 °С)	0,3	0,2-0,5
	Тяжелая - III	18-20	26	28	15	13	40-60	75 (при 24 °С и ниже)	0,4	0,2-0,6

Большая скорость движения воздуха в теплый период года соответствует максимальной температуре воздуха, меньшая - минимальной температуре воздуха. Для промежуточных величин температуры воздуха скорость его движения допускается определять интерполяцией; при минимальной температуре воздуха скорость его движения может приниматься также ниже 0,1 м/с - при легкой работе и ниже 0,2 м/с - при работе средней тяжести и тяжелой.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

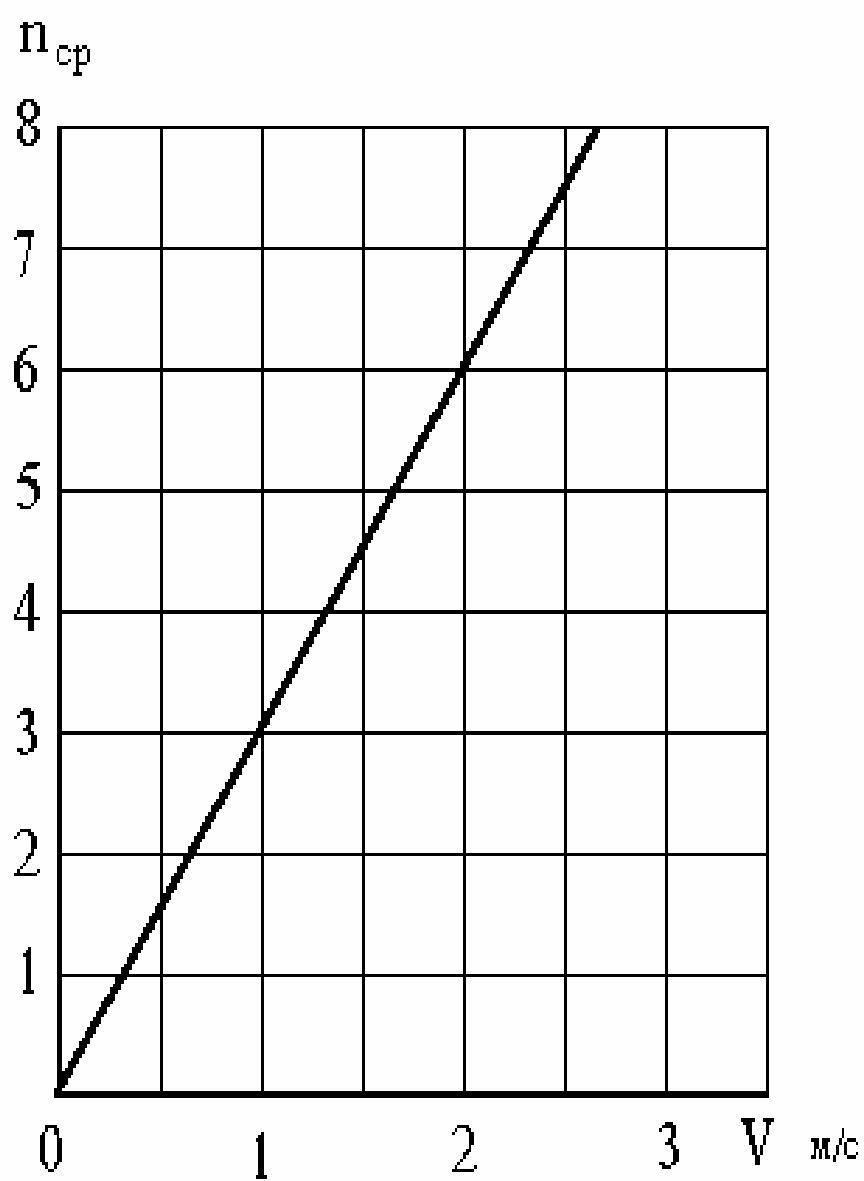
Т а б л и ц а
для определения относительной влажности воздуха по аспирационному психрометру

Показания сухого термометра, °С	Показания влажного термометра, °С																	
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	Относительная влажность, %																	
15	36	44	52	61	71	80	90	100										
16	30	37	46	54	63	71	81	90	100									
17	24	32	39	47	55	64	72	81	90	100								
18	20	27	34	41	49	56	65	73	82	91	100							
19	15	22	29	36	43	50	58	66	74	82	91	100						
20		18	24	30	37	44	52	59	66	74	83	91	100					
21		14	20	26	32	39	46	53	60	67	75	83	91	100				
22			16	22	28	34	40	47	54	61	68	76	84	92	100			
23			13	18	24	30	36	42	48	55	62	69	76	84	92	100		
24				15	20	26	31	37	43	49	56	63	70	77	84	92	100	
25					17	22	27	33	38	44	50	57	63	70	77	84	92	100
26					14	19	24	29	34	40	46	52	57	64	71	77	85	92
27						16	21	25	30	36	41	47	52	58	65	71	78	85

Т а б л и ц а
для определения скорости движения воздуха
по показаниям шарового кататермометра

C_k мДж/см ² ·с·град	V м/с	C_k мДж/см ² ·с·град	V м/с	C_k мДж/см ² ·с·град	V м/с
1,38	0,048	2,1	0,44	2,81	1,27
1,42	0,062	2,14	0,48	2,85	1,31
1,47	0,077	2,16	0,52	2,89	1,35
1,51	0,09	2,22	0,57	2,93	1,39
1,55	0,11	2,26	0,62	2,97	1,43
1,59	0,12	2,3	0,68	3,02	1,48
1,63	0,14	2,35	0,73	3,06	1,52
1,68	0,16	2,39	0,80	3,1	1,57
1,72	0,18	2,43	0,88	3,14	1,60
1,76	0,20	2,47	0,97	3,18	1,65
1,8	0,22	2,51	1,00	3,23	1,70
1,84	0,25	2,55	1,03	3,27	1,75
1,89	0,27	2,6	1,07	3,31	1,79
1,93	0,30	2,64	1,11	3,35	1,84
1,97	0,33	2,68	1,15	3,39	1,89
2,01	0,36	2,72	1,19	3,43	1,94
2,05	0,40	2,77	1,22	3,48	1,98

ПРИЛОЖЕНИЕ 4



Градуировочный график крыльчатого анемометра

ПРИЛОЖЕНИЕ 5**СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ**

для проведения расчетов с целью определения соответствия параметров микроклимата производственного помещения требованиям санитарных норм при выполнении различных работ.

Категория работ	Энергозатраты, кДж/ч
Легкая - Ia	До 500,5
Легкая - Ib	500,5 - 626,5
Средней тяжести - IIa	626,5 - 835
Средней тяжести - IIб	835 - 1044
Тяжелая - III	Свыше 1044

Приведенный коэффициент взаимои- злучения одежды и окружающих поверхно- стей	$K_{изл} = 12,5 - 14,2 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$
Площадь излучающей поверхности тела человека	$F_{изл} = 1,60 - 1,85 \text{ м}^2$
Средневзвешенная температура тела че- ловека	$T_t = 31,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Температура окружающих поверхностей	$T_{п} = T$
Скорость движения воздуха	$V = 0 - 4 \text{ м/с}$
Площадь обдуваемой поверхности тела человека	$F_k = 1,4 - 1,6 \text{ м}^2$
Приведенный коэффициент испаритель- ного теплообмена	$K_{исп} = 15,1 - 16,8 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$
Парциальное давление насыщенного во- дяного пара при температуре тела челове- ка	$P_t = 4,61 \text{ кПа}$
Площадь поверхности тела человека, уча- ствующей в теплоотдаче испарением	$F_{исп} = 1,50 - 1,95 \text{ м}^2$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Парциальное давление насыщенного водяного пара
и максимальная влажность воздуха в зависимости от
температуры при нормальном атмосферном давлении $P_A = 101$ кПа

$T, ^\circ\text{C}$	$P_n, \text{кПа}$	$B_{\text{max}}, \text{г/м}^3$	$T, ^\circ\text{C}$	$P_n, \text{кПа}$	$B_{\text{max}}, \text{г/м}^3$
- 5	0,401	3,25	16	1,817	13,65
- 3	0,463	3,83	17	1,937	14,50
0	0,611	4,85	18	2,062	15,39
1	0,656	5,2	19	2,196	16,32
5	0,872	6,8	20	2,337	17,32
6	0,935	7,27	21	2,486	18,35
7	1,005	7,79	22	2,642	19,44
8	1,072	8,28	23	2,809	20,60
9	1,148	8,83	24	2,984	21,81
10	1,227	9,41	25	3,168	23,07
11	1,312	10,02	26	3,361	24,40
12	1,401	10,67	27	3,565	25,79
13	1,497	11,36	28	3,780	27,26
14	1,597	12,08	29	4,004	28,82
15	1,704	12,84	30	4,241	30,46

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Таблица 1

**РЕЗУЛЬТАТЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА**

Наименование параметра	Измерительный прибор	Измеренные или расчетные параметры		Нормируемые параметры	
		Условное обозначение	Численное значение	Оптимальные	Допустимые
Температура наружного воздуха	Спиртовой термометр	$T_n, ^\circ\text{C}$			
Температура воздуха внутри помещения	Ртутный термометр	$T, ^\circ\text{C}$			
	Термоанемометр ТАМ-1	$T, ^\circ\text{C}$			
Относительная влажность	Аспирационный психрометр	$T, ^\circ\text{C}$ $T_B, ^\circ\text{C}$ $\phi, \%$			
	Гигрометр "Волна-1М"	$\phi, \%$			
Скорость движения воздуха	Кататермометр	$\tau_{\text{ср}}, \text{с}$ $C_k, \text{мДж}/(\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{град})$ $V, \text{м/с}$			
	Анемометр	$N_{\text{ср}}$ $\tau, \text{с}$ $n_{\text{ср}}, \text{с}$ $V, \text{м/с}$			
	Термоанемометр ТАМ-1	$V, \text{м/с}$			

РАСЧЕТ СУММАРНЫХ ТЕПЛОПОТЕРЬ ОРГАНИЗМА

Параметры микроклимата и их производные					
$T, ^\circ\text{C}$	$V, \text{м/с}$	$\phi, \%$	$P_{\text{нв}}, \text{кПа}$	$P_{\text{п}}, \text{кПа}$	$T_{\text{п}}, ^\circ\text{C}$

Исходные данные для расчета				
$F_{\text{изл}}, \text{м}^2$	$F_{\text{к}}, \text{м}^2$	$F_{\text{исп}}, \text{м}^2$	$K_{\text{изл}}, \text{кДж/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$	$K_{\text{исп}}, \text{кДж/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$

Теплопотери организма			
$Q_{\text{изл}}, \text{кДж/ч}$	$Q_{\text{к}}, \text{кДж/ч}$	$Q_{\text{исп}}, \text{кДж/ч}$	$Q_{\text{т}}, \text{кДж/ч}$

Далее следует сделать выводы по результатам исследований и расчетов.