

**ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
МИКРОКЛИМАТ**

(оценка и прогнозирование воздействия)



Издательство ТГТУ

Министерство образования Российской Федерации
Тамбовский государственный технический университет

**ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
МИКРОКЛИМАТ**

(оценка и прогнозирование воздействия)

Часть I

Методические указания и контрольные задания
для студентов дневного и заочного отделений
всех специальностей

Тамбов
Издательство ТГТУ
2003

УДК 644.1
ББК Н113.6
П801

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Рецензент

Доктор технических наук, профессор
С. И. Дворецкий

П801 Производственный микроклимат: (оценка и прогнозирование воздействия): Метод. указ. / Сост.: В. М. Дмитриев, Е. А. Сергеева, Л. С. Тарова, В. Б. Михайлов, А. В. Бояршинов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. Ч. 1. 32 с.

Даны методические указания и контрольные задания по разделу производственный микроклимат, вентиляция и кондиционирование воздуха.

Предназначены для студентов дневного и заочного отделений всех специальностей.

УДК 644.1
ББК Н113.6

© Тамбовский государственный
технический университет
(ТГТУ), 2003

Учебное издание

**ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
МИКРОКЛИМАТ**

(оценка и прогнозирование воздействия)

Часть I

Методические указания и контрольные задания

Составители: **Дмитриев Вячеслав Михайлович,**
Сергеева Елена Анатольевна,
Тарова Людмила Сергеевна,
Михайлов Валерий Борисович,
Бояринов Анатолий Владимирович

Редактор В. Н. Митрофанова
Компьютерное макетирование Е. В. Кораблевой

Подписано к печати 7.10.2003
Формат 60 × 84/16. Бумага газетная. Печать офсетная
Объем: 1,89 усл. печ. л.; 1,8 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз. С. 655

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАГРЕВАЮЩЕГО МИКРОКЛИМАТА

K_{cp} (среды) – критерий относительного воздействия комплекса всех параметров микроклимата, характеризующий изменение теплового потока от человека в конкретных условиях работы. Он выражается в относительной форме по величине теплового потока при предельных возможностях человеческого организма.

$K_{ф}$ – критерий физиологической эффективности, определяющий изменение основных физиологических показателей. Он связан непосредственно с K_{cp} и позволяет оценить изменение физиологических показателей.

ФП – физиологические показатели:

t_k – температура кожи, °С;

t_t – средняя температура тела, °С;

t_p – ректальная температура, °С;

PS – частота сердечных сокращений, уд/мин.

ПОКАЗАТЕЛИ СУБЪЕКТИВНЫХ ОЩУЩЕНИЙ

PMV – условно выражает меру удовлетворенности работающих условиями своего труда.

PPD – процент лиц, неудовлетворенных условиями своего труда.

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

A – эмпирический коэффициент, связанный с категорией тяжести выполняемой работы;

B – то же, связанный со скоростью воздуха;

П – количество выделяемой влаги (пота);

СО – субъективная оценка теплоощущений;

ОД – характеристика одежды;

k – эмпирический коэффициент, связанный со скоростью воздуха видом одежды;

q – расчетная величина теплового потока;

t – температура;

v – скорость воздуха;

F – площадь;

P – масса тела человека;

Q – теплосодержание;

PS – частота пульса;

τ – время;

ϕ – относительная влажность воздуха.

ИНДЕКСЫ ПРИ ОСНОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЯХ

t – тела человека;

k – кожи человека;

p – ректальная (внутренняя);

R – радиационная;

a – воздуха;

cp – среды;

ф – физиологического эффекта;

l – лучистая;

и – испарение;

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывное повышение требований к состоянию воздушной среды производственных помещений связано с совершенствованием систем промвентиляции (СВ) и кондиционирования воздуха, повышением эффективности их работы при одновременном снижении материальных, энергетических и трудовых затрат. Наблюдаются и прогнозируются на перспективу устойчивые тенденции как к росту общего объема затрат на улучшение микроклимата, так и доли в них систем кондиционирования воздуха (СКВ).

СКВ являются достаточно сложными, энергоемкими и дорогостоящими устройствами, поэтому необходимо еще на стадии проектирования для выбора наиболее рационального технического решения и правильной оценки социально-экономической эффективности систем целенаправленно подходить к выбору исходных данных. Такой подход в наибольшей степени будет способствовать повышению работоспособности и сохранению здоровья людей при минимальных энергетических и трудовых затратах. Эти проблемы выдвигаются сегодня в качестве основных в новой строительной науке, базирующейся на достижениях в области теплотехники, строительной физики, физиологии человека и экономики.

1 ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МИКРОКЛИМАТА

Трудовая деятельность человека всегда протекает в определенных метеорологических условиях, которые определяются следующими параметрами: t – температура воздуха, °С; v – скорость движения воздуха, м/сек; φ – относительная влажность воздуха, %; p – барометрическое давление воздуха, Па; q – тепловое излучение от нагретых поверхностей, Вт/м².

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм сочетаниями указанных параметров. Если работы выполняются на открытых площадках, то метеорологические условия определяются климатическим поясом и сезоном года. Однако и в этом случае в рабочей зоне создается определенный микроклимат.

Работа организма человека всегда сопровождается образованием тепла (в состоянии покоя – 4 ... 6 кДж/мин до 33 ... 46 кДж/мин при очень тяжелой работе). При этом избыток тепла должен постоянно уходить в окружающую среду. Параметры микроклимата могут изменяться в достаточно широких пределах, но необходимым условием жизнедеятельности человека является **сохранение постоянства температуры тела**.

При благоприятном сочетании параметров микроклимата человек испытывает состояние **теплого комфорта**, что является важным условием высокой производительности труда и предупреждения заболеваний.

При отклонении параметров микроклимата от оптимальных, в организме человека для поддержания постоянства температуры тела начинают происходить процессы, направленные на регулирование тепловыделения и теплоотдачи. Эта способность человеческого организма называется **терморегуляцией**.

При температуре воздуха в пределах 15 ... 25 °С теплопродукция организма человека находится на приблизительно постоянном уровне (**зона безразличия**). По мере понижения температуры воздуха теплопродукция повышается за счет усиления обмена веществ и увеличения мышечной активности (например, дрожь). По мере повышения температуры воздуха усиливаются процессы теплоотдачи.

Отдача избыточной теплоты во внешнюю среду происходит тремя основными способами: конвекцией; излучением; испарением.

При **комфортных условиях** (температура воздуха около 20 °С, человек не испытывает никаких неприятных ощущений) теплоотдача конвекцией составляет 25 ... 30 %, излучением 40 ... 45 %, остальное испарением. Изменение параметров воздуха и характера выполняемой работы существенно влияет на соотношение этих способов теплоотдачи. Так при температуре воздуха более 36 °С отдача теплоты происходит уже полностью за счет испарения влаги с поверхности кожи.

В нормальных условиях организм человека теряет в сутки около 0,6 л жидкости путем испарения через кожу. При тяжелой физической работе такие потери влаги достигают 10 ... 12 л. Следует отметить, что при капельном потоотделении влага не успевает полностью испариться, возникает дополнительное сопротивление переносу тепла, что снижает эффективность защиты человека от перегрева. Кроме того, существенно увеличивается потеря воды и солей.

Человек начинает ощущать движение воздуха при его скорости примерно 0,1 м/с. Легкое движение воздуха при обычных температурах способствует хорошему самочувствию, сдувая обволакивающий человека насыщенный водяными парами и перегретый слой воздуха. В то же время большая скорость движения воздуха, особенно в условиях низких температур, вызывает увеличение теплотерь конвекцией и испарением и ведет к сильному охлаждению организма.

Влажность воздуха определяется содержанием в нем водяных паров. Различают абсолютную, относительную и максимальную влажность воздуха.

Абсолютная влажность (G) – это масса водяных паров, содержащихся в данный момент в единичном объеме воздуха.

Максимальная влажность (M) – максимально возможное содержание водяных паров в воздухе при тех же условиях в единичном объеме воздуха (состояние насыщения).

Относительная влажность (B) – определяется отношением абсолютной влажности к максимальной и выражается в процентах

$$B = \frac{G}{M} 100 \%. \quad (1.1)$$

Физиологически оптимальной является относительная влажность в пределах 40 ... 60 %. Повышенная влажность в сочетании с низкой температурой оказывает значительное охлаждающее действие, а в сочетании с высокой – способствует перегреванию организма. Относительная влажность менее 25 % также неблагоприятна для человека, так как вызывает пересыхание слизистых оболочек, кожи и легочных пузырьков.

Тепловое излучение, свойственное любым телам, температура которых выше абсолютного нуля, оказывает на организм человека существенное воздействие. Наибольшей проникающей способностью обладают красные лучи видимого спектра и короткие инфракрасные лучи, которые глубоко проникают в биологическую ткань, вызывая их перегрев. Длительное воздействие излучения вызывает значительные биохимические и функциональные изменения в организме человека.

Человек ощущает воздействие параметров микроклимата комплексно. На этом явлении основано введение так называемых эффективной и эффективно-эквивалентной температур. **Эффективная температура** характеризует ощущения человека при одновременном воздействии температуры и движения воздуха. **Эффективно-эквивалентная температура** учитывает еще и влажность воздуха. Эти температуры определяют по номограммам, построенным опытным путем.

2 СИСТЕМА "РАБОТАЮЩИЙ ЧЕЛОВЕК – ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ МИКРОКЛИМАТ" (Общие положения)

Нормативные материалы по установлению микроклимата создавались и развивались в нашей стране по мере становления промышленности. Существенным вкладом в улучшение условий труда явились **"Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий" (СН 245–71)**. В настоящее время основным нормативным документом является **ГОСТ 12.1.005–76 "ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования"**.

По действующим нормативным положениям комплекс микроклиматических условий в помещениях различного назначения оценивается **сочетанием значений температуры, скорости и относительной влажности воздуха, выбираемых в зависимости от категории физической тяжести выполняемой в этих условиях работы, интенсивности теплового облучения, времени года, величины избытков теплоты**.

Определенному сочетанию всех упомянутых параметров должно соответствовать определенное физиологическое состояние работающего человека (оптимальное либо допустимое).

В основу принципа нормирования положена дифференцированная оценка оптимальных и допустимых метеорологических условий в рабочей зоне в зависимости от тепловой характеристики производственного помещения, категории работ по тяжести и времени года.

Под **оптимальными микроклиматическими условиями** понимают такие сочетания параметров микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения механизма терморегуляции. Они обеспечивают ощущение теплового комфорта и создают предпосылки для хорошей работоспособности.

Допустимыми микроклиматическими условиями называют такие сочетания параметров микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызывать проходящие и быстро нормализующиеся изменения функционального и теплового состояния организма и напряженную работу механизма терморегуляции, не выходящую за пределы физиологических приспособительных возможностей человека. При этом не возникает повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут наблюдаться дискомфортные теплоощущения, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности.

Следует учитывать, что по тепловой характеристике все производственные помещения делятся на **помещения с незначительными избытками явной теплоты** (не более $23 \text{ Дж/м}^3\text{с}$) и значительными избытками явной теплоты, превышающими $23 \text{ Дж/м}^3\text{с}$. Последние относят к категории "горячих цехов".

Величина, однозначно характеризующая сочетание таких параметров, могла бы рассматриваться как некоторый **обобщенный показатель воздействия тепловой среды на организм работающего человека**, с которым находятся в функциональной связи физиологические, медицинские, социально-экономические и другие показатели состояния организма, проявляющиеся во время трудовой деятельности. В более общем случае условия производственного микроклимата влияют на работающего человека и зависят также от характера одежды и привычки людей, динамики изменения всех параметров и факторов как в течение трудового дня, так и по сезонам года.

Таким образом, как для проектирования, так и для оценки искусственно создаваемых в помещениях условий микроклимата необходимо не только знать закономерности воздействия всех названных параметров и факторов в их комплексе, но и уметь объективно оценивать возможности **взаимной компенсации одних влияний другими при равном (или близком) суммарном воздействии на человека**.

Анализ принципиальных подходов, форм и методов обработки выявляемых закономерностей, а также вытекающих из них практических рекомендаций, позволяет выделить три основные направления:

- создание физических приборов комплексной оценки среды;
- разработку индексов, шкал и расчетных показателей микроклимата;
- разработку аналитических методов, основанных на использовании полного уравнения теплового баланса человеческого организма.

Наиболее перспективными для нужд вентиляционной техники являются аналитические методы, которые служат основой для взаимоувязки инженерных решений и физиолого-гигиенических рекомендаций, а также для разработки оценочных методик различного назначения.

Исходя из такого подхода и разрабатывались теплофизические модели теплообмена в системе **"работающий человек – производственный микроклимат"**. Учитывая все воздействующие на состояние человека метеорологические параметры и другие факторы внешней среды, теплофизические модели обеспечивают достаточно четкое разделение условий микроклимата на **оптимальные и допустимые**. Был сделан первый шаг не только в качественном, но и в количественном сравнении микроклимата по его влиянию на организм работающего человека.

В целях сравнения любых условий, т.е. любых сочетаний параметров и факторов, которые могут формироваться в помещениях, оказалось необходимым совершенствование теплофизических моделей для расширения диапазонов сочетаний, а также введения фактора времени. Только тогда стало возможным получение достаточно объективного и универсального инструмента сравнения условий микроклимата.

В связи с этим при разработке теплофизических моделей теплообмена в системе "работающий человек – производственный микроклимат" использованы общие закономерности теплопереноса применительно к живому человеческому организму с целью обобщения накопленных знаний относительно его ответных реакций на суммарное воздействие тепловых и физических нагрузок. Только таким образом оказалось возможным выявить объективные взаимосвязи воздействий и влияние условий

микроклимата на человека на различных уровнях и по большинству значимых показателей, включая социальные.

Использование этих взаимосвязей позволило подойти к созданию **системы оценок улучшения условий микроклимата**, с помощью которой удастся анализировать и обосновывать целесообразность затрат на СВ и СКВ в зависимости от их реальной пользы до того, как в их сооружение уже вложат значительные средства.

3 ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ " РАБОТАЮЩИЙ ЧЕЛОВЕК – ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ МИКРОКЛИМАТ"

Основным принципом построения теплофизических моделей системы является рассмотрение человека в качестве **биологически регулируемого объекта**, в котором формирование граничных условий тепломассообмена предопределяется свойственными человеку биологическими закономерностями, а внешняя тепломассоотдача подчиняется физическим законам тепломассопереноса и может быть описана с их помощью.

В связи с этим все происходящие явления и процессы в системе рассматриваются в двух аспектах:

– **внутреннем** – взаимодействие процессов теплообразования и теплопереноса в тканях, органах и крови, обуславливающих параметры граничного слоя – температуру кожи, степень ее увлажнения и расход теплоты через поверхность тела;

– **внешнем** – взаимосвязанные процессы отдачи теплоты различными путями во внешнюю среду, описываемые основными закономерностями теории тепломассообмена, если они и вытекающие из них расчетные связи учитывают граничные условия, как совокупный результат внутренних процессов, происходящих в организме человека.

Такая постановка задачи дает исчерпывающую характеристику условий внешней среды по их влиянию на человека и позволяет поэтапно связать ее воздействие с любыми изменениями в организме человека, т.е. система человек – среда оказывается замкнутой.

В общей форме модель явлений представлена в виде зависимости, связывающей в **едином комплексе и теплофизические и физиологические закономерности** влияния условий среды на организм работающего человека

$$\Psi (t_a, v, \varphi, t_R, t_a', \tau) = U = \Psi (\text{ФП}, \text{СП}), \quad (3.1)$$

где U – показатель, связывающий обе стороны изучаемого явления; ФП – физиологические показатели; СП – параметры окружающей среды.

Анализ зависимости (3.1) на базе многочисленных экспериментов оценки условий микроклимата привел к заключению о том, что наиболее правильно описывать рассматриваемые закономерности через уравнения теплового баланса человека, однако при этом значения показателя U должны опираться на физиолого-гигиенические данные теплового состояния организма, а граничные условия тепломассопереноса – отражать реальные параметры, свойственные человеческому организму.

В общем виде **тепловой поток** от человека равен

$$q_T = \frac{\Delta Q}{F} = \pm q_k \pm q_l + q_{и} = U. \quad (3.2)$$

На первом этапе разработки теплофизических моделей применительно к задачам нормирования микроклимата были рассмотрены характерные случаи теплоотдачи в помещениях:

а) на значительном удалении от наружных и внутренних ограждений и предметов, температура которых существенно отличается от температуры внутреннего воздуха;

б) вблизи ограждений и предметов, температура на поверхности которых отличается от температуры воздуха, но эти различия невелики и относительно человека распределены равномерно;

в) при действии потока лучистой теплоты, распределенного относительно человека неравномерно как по площади и направлению, так и по интенсивности.

Введением закономерностей, описывающих изменение температуры поверхности тела человека от температуры окружающего воздуха и его скорости с учетом типа одежды человека и характера выполняемой работы для условий нормальной относительной влажности воздуха ($\varphi = 40 \dots 60 \%$) получена зависимость:

$$q_T = \Psi(t_a, v, k) = \frac{(A - t_a)}{k}, \quad (3.3)$$

где A, k – эмпирические коэффициенты (табл. 4.1).

При явной величине терморрадиационной составляющей поток от человека равен

$$q_T = \frac{(1+B) A - t_a^l - B t_R}{(1+B) \cdot k}, \quad (3.4)$$

$$\text{где} \quad t_a^l = t_a + (t_a - t_R)B. \quad (3.5)$$

При наличии значительных поверхностей, которые окружают человека, с температурой, отличающейся от температуры воздуха, учитывается радиационная температура t_R

$$t_R = n t_a + t_a^l (1 - B), \quad (3.5)$$

где коэффициент n учитывает расположение поверхностей относительно человека и равен: 1 – при расположении со всех сторон; 0,9 – сбоку с четырех сторон; 0,6 – сбоку с двух сторон; 0,4 – сбоку с одной стороны; 0,2 – сверху на высоте до трех метров.

Таким образом, расчетная величина теплового потока от человека приобретает значение некоторого обобщающего показателя, связывающего температуру воздуха t_a, t_a^l , его скорость (через коэффициент k), терморрадиационную обстановку (через t_R), вид одежды человека (через коэффициент k), физическую нагрузку (категорию тяжести через коэффициент A) при относительной влажности воздуха в пределах 40 ... 60 % без учета продолжительности воздействия сочетаний тепловой и физической нагрузок.

Естественно, что **обобщающим характер расчетной величины q_T** может стать лишь после тщательного анализа его взаимосвязи с ответными реакциями организма и общим тепловым состоянием человека.

Исследование влияния относительной влажности воздуха на величину теплового потока q_T позволило получить обобщенную зависимость

$$q_T^\varphi = q_T [1 + 0,005(\varphi_a - 50)] - 0,51(\varphi_a - 50), \quad (3.7)$$

где q_T^φ – величина теплового потока при конкретной относительной влажности воздуха φ_a .

При $\varphi_a = 50 \%$ зависимость (3.7) превращается в q_T , т.е. сохраняется преемственность с ранее изученными взаимосвязями (3.3 и 3.4). Правомочность практического использования формулы (3.7) была обоснована анализом результатов многочисленных экспериментальных исследований отечественных и зарубежных авторов.

Очевидно, что вопросы теплообмена человека с окружающей средой неразрывно связаны с проблемами динамических изменений состояния организма под влиянием изменения во времени как тепловых, так и физических нагрузок. При этом могут изменяться либо физическая нагрузка при сохранении всех параметров воздушной среды на одинаковом уровне, либо одновременно и тепловая и физическая нагрузки, либо только условия внешней среды при постоянной физической нагрузке. В первых двух случаях воздействие носит скачкообразный характер, в последнем постепенный. Однако во всех случаях происходят изменения состояния организма человека.

Принципиальная схема происходящих явлений показывает, что степень изменения функционального состояния организма является следствием изменения как продолжительности воздействия, так и его интенсивности. При **оптимальном уровне нагрузок** практически не происходит изменений в орга-

низме, при увеличении их интенсивности показатели состояния организма возрастают до некоторого уровня. С прекращением нагрузок наступает **восстановительный период**, продолжительность которого также связана с интенсивностью предшествующего воздействия и его временем.

Естественно, что учет продолжительности воздействия в принципе целесообразно рассматривать лишь применительно к уровням, превышающим оптимально-допустимые для продолжительного воздействия.

Для введения в расчетные зависимости **фактора времени** чаще всего используют следующую зависимость:

$$\tau_n = \frac{Z \Delta Q_T}{q_T - q_T^\tau}, \quad (3.8)$$

где τ_n – продолжительность воздействия условий микроклимата при параметрах, отличающихся от оптимальных по отношению к исходным условиям при допустимом уровне нагрузок; Z – эмпирический коэффициент, характеризующий вид зависимости функционального состояния человека от продолжительности интенсивных нагрузок; ΔQ_T – прирост теплонакоплений в организме человека.

Из рассмотрения (3.8) следует, что правомерность ее использования и границы применимости определяются в первую очередь возможностями выявления значений Z в формуле (3.8) При этом необходимо проанализировать экспериментальные данные по такого рода изменениям.

В частности, такой широко используемый в физиолого-гигиенической практике показатель, как **величина теплонакоплений в организме Q_T** , вычисляется исходя из изменения температуры тела человека t_T за промежутки времени τ_n

$$\Delta Q_T = 10,8 \cdot C_T \Delta t_T \tau_n, \quad (3.9)$$

где C_T – средняя теплоемкость тела, кДж/(кг · °С).

Из (3.9) вытекает линейный характер изменений во времени как величины теплонакоплений, так и температуры тела. На линейный характер изменений показателей теплового состояния организма указывают многие авторы. При этом достаточно убедительно показано, что **изменения основных физиологических показателей (температура кожи, ректальная температура, частота пульса, интенсивность влаговыделения и др.) можно считать линейными в течение первого часа в условиях изменившегося микроклимата**. Такое положение следует отнести к допущениям, ибо строгой линейности в отдельных случаях не наблюдается (например, при скачкообразном изменении температуры наблюдается инерционность потоотделения, в тоже время как частота пульса за этот же период времени возрастает более интенсивно).

Учитывая явления такого рода, можно при умеренных воздействиях микроклимата без резких холодовых раздражителей ($q_T < 44$) считать изменения терморегуляционных механизмов линейными в течение первого часа работы и постоянно установившимися в остальной период работы.

Отмеченное обстоятельство является принципиально важным, ибо оно позволяет утверждать, что при нагрузках, интенсивность которых в течение часа оценивается комплексом параметров и условий $30 < q_T < 44$ (Вт/м²), состояние организма не превысит допустимых уровней в течение часа и более. Когда же интенсивность нагрузок $q_T < 30$ Вт/м², продолжительность их допустимого воздействия должна быть менее **одного часа**, причем интенсивность связана со временем с учетом принятых допущений

$$\Delta q_T^\tau = \frac{\Delta Q_T}{\tau_n}, \quad (3.10)$$

где Δq_T^τ – условная интенсивность воздействия, оцениваемая по изменениям функционального состояния организма

$$\Delta q_T^\tau = \frac{(A^H - t_T^H)}{k_H} - \frac{(A^K - t_a^K)}{k_K}, \quad (3.11)$$

где индексы "н" и "к" относятся к значениям величин A , t_a , и k в начальный и конечный периоды изменения нагрузок.

Такой вид записи необходим для анализа тех случаев, когда исходный уровень теплонакоплений не соответствует нулевому (комфортному).

При комфортных условиях имеем

$$q_T = \frac{(A^H - t_a^H)}{k} = 44 \text{ Вт/м}^2. \quad (3.12)$$

Завершающим этапом анализа является определение **периода восстановления** физиологических функций. Необходимо учитывать, что продолжительность работы связана с исходным состоянием организма, а продолжительность восстановления зависит от параметров воздуха и характера труда. Установлено, что показатель частоты пульса, например, не является достаточно надежным, так как он в большей мере реагирует на тяжесть, чем на продолжительность нагрузки. Такие показатели, как температура тела и интенсивность потоотделения, достаточно равнозначно, откликаются на оба фактора. Таким образом, при анализе продолжительности восстановления следует, прежде всего, выяснить, какой же из физиологических показателей наиболее целесообразно принимать в качестве определяющего в тех случаях, когда и физическая и тепловая нагрузка изменяются одновременно. Учитывая сложность происходящих процессов, достаточную неопределенность и разноречивость практических рекомендаций по режимам труда и отдыха вопросы регламентации продолжительности восстановления решаются по результатам специального эксперимента, при котором предварительно определена минимальная продолжительность восстановления: 20 мин – для работ легкой и средней тяжести и 25 мин – для тяжелой работы.

Анализ многочисленных экспериментов показал, что в расчетных режимах не происходит изменений физиологических показателей, превышающих допустимые, а также не наблюдается постепенного ухудшения этих показателей по ходу эксперимента. В расчетные периоды времени значения этих показателей восстанавливаются до исходного уровня, а общая нагрузка на организм за весь цикл работы и перерывов не превышает допустимой.

Таким образом, комплекс предложенных расчетных связей (3.1 – 3.12) представляет собой полную теплофизическую модель системы "работающий человек – производственный микроклимат" и обеспечивает необходимую объективную базу для сравнения влияния условий микроклимата на организм человека.

Как показано ранее, за обобщающий показатель принята величина теплового потока от тела работающего человека в условиях конкретного микроклимата – q_T .

Величину q_T можно определить по следующим выражениям:

а) при действии всех определяющих параметров микроклимата

$$q_T = 44(1 - \tau_n) + \tau_n \left[\frac{A - t_a^I + B t_R}{k - (1+B)k} \right] [1 + 0,005(\varphi_a - 50)] - 0,51 \cdot \tau_n (\varphi - 50); \quad (3.13)$$

б) при непрерывной или перемежающейся нагрузке при $\tau_n > 0,7$

$$q_T = \left[\frac{A - t_a^I + B t_R}{k - (1+B)k} \right] [1 + 0,005(\varphi - 50)] - 0,51(\varphi - 50); \quad (3.14)$$

в) при $t_a = t_a^I = t_R, \tau_n > 0,7$

$$q_T = \frac{A - t_a}{k} [1 + 0,005(\varphi_a - 50)] - 0,51(\varphi - 50); \quad (3.15)$$

г) при $40 < \varphi < 60$ (%) $\tau_n > 0,7$

$$q_{\tau} = \frac{(A - t_a)}{k}. \quad (3.16)$$

4 КРИТЕРИАЛЬНАЯ ФОРМА ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УЛУЧШЕНИЯ МИКРОКЛИМАТА

Имея математический аппарат сравнения условий микроклимата по степени воздействия их на организм человека, можно поэтапно рассматривать разнообразные изменения в организме, происходящие в результате этих воздействий. Такое рассмотрение должно базироваться на ряде общих представлений качественного характера, исходя из биосоциальной природы человека. Так, переход от оптимальных условий микроклимата, при которых наблюдается оптимальное функционирование органов и систем организма и, как следствие, **максимальная свобода жизнедеятельности и социальная отдача личности**, к иным условиям, отклоняющимся от оптимума, неминуемо сопровождается нежелательными изменениями в функциональных системах.

Между оптимумом и пределом возможностей организма существует **переходное состояние**, характеризующееся как относительно постепенными изменениями реакций и функций основных систем, так и резкими скачкообразными изменениями при переходе количества в качество. Таким образом, **градация переходных состояний** (как качественная, так и количественная) должна являться неперенным условием изучения рассматриваемого перехода, позволяя связывать **уровни ответных реакций** организма.

Как показывает практика, обобщающий показатель, характеризующий силу воздействия среды на организм человека, целесообразно выразить в относительной форме.

В соответствии с этим примем за **базовую основу величину теплового потока q_{τ} на пределе человеческого организма**.

Величины тепловых потоков от тела человека:

предельный тепловой поток $q_{\tau} = 88 \text{ Вт/м}^2$;

тепловой поток для оптимальных условий микроклимата $q_{\tau} = 44 \text{ Вт/м}^2$;

предельно допустимый уровень $q_{\tau} = 0$.

С учетом этого введем **относительный критерий $K_{\text{ср}}$** , определяемый как

$$K_{\text{ср}} = \frac{(q_{\tau}^{\text{нп}} - q_{\tau})}{q_{\tau}^{\text{нп}}} = \frac{88 - q_{\tau}}{88}. \quad (4.1)$$

Тогда имеем:

для предельных условий $K_{\text{ср}} = 0$;

для оптимальных условий $K_{\text{ср}} = 0,5$;

для допустимых условий $K_{\text{ср}} = 0,67$;

для предельно допустимых $K_{\text{ср}} = 1$;

для предельно переносимых $K_{\text{ср}} = 1,3$.

Таким образом, мы имеем **определенную шкалу силы воздействия среды на организм человека в условиях нагревающего микроклимата с учетом всех определяющих параметров**.

Для практических расчетов рекомендуются следующие зависимости:

а) с учетом всех определяющих параметров микроклимата и физической нагрузки:

$$K_{\text{ср}} = 1 - 0,5(1 - \tau_{\text{н}}) + 0,0058 \cdot \tau_{\text{н}} (\varphi - 50) - \frac{\tau_{\text{н}}}{88} \left[\frac{A}{k} - \frac{t_a^1 + B t_R}{(1 + B)k} \right] [1 + 0,005(\varphi_a - 50)]; \quad (4.2)$$

б) при непрерывной или перемежающейся нагрузке в течение $\tau_{\text{н}} > 0,7$.

$$K_{cp} = 1 + 0,0058(\varphi - 50) - 0,0113 \left[\frac{A}{k} - \frac{t_a^l + B t_R}{(1+B)k} \right] [1 + 0,005(\varphi_a - 50)]; \quad (4.3)$$

в) то же при $t_a \approx t_a^l \approx t_R$

$$K_{cp} = 1 + 0,0058(\varphi_a - 50) - \frac{A - t_a}{88k} [1 + 0,005(\varphi - 50)]; \quad (4.4)$$

г) то же при $40 < \varphi < 60$ (%)

$$K_{cp} = 1 - \frac{A - t_a}{88k}, \quad (4.5)$$

где t_a, t_a^l – температура воздуха без и с учетом влияния излучения окружающих поверхностей; t_R – среднерадиационная температура; τ_n – относительный период нагрузки; A, k, B – эмпирические коэффициенты (табл. 4.1, 4.2).

4.1 Коэффициент B в функции скорости воздуха v

| $v, \text{ м/с}$ | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 |
|------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| B | 1,25 | 1,05 | 0,8 | 0,6 | 0,4 | 0,3 |

4.2 Коэффициенты A и k в зависимости от вида работы, одежды и скорости воздуха

| Работа | Тип одежды | $A, \text{ }^\circ\text{C}$ | $k, \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$ | | | | | |
|---------|------------|-----------------------------|--|-----------|-----------|------|-----------|-----------|
| | | | при $v, \text{ м/с}$ | | | | | |
| | | | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 |
| Почкой | I | 38 | 0,34 5 | 0,33 8 | 0,33 | 0,31 | 0,3 | 0,29 |
| | II | 38 | 0,32 | 0,30 5 | 0,29 | 0,28 | 0,27 5 | 0,27 |
| | III | 38 | 0,3 | 0,29 | 0,28 | 0,27 | 0,26 | 0,25 |
| Легкая | I | 36,3 | 0,34 5 | 0,33 8 | 0,33 | 0,31 | 0,3 | 0,29 |
| | II | 36,3 | 0,32 | 0,30 5 | 0,29 | 0,28 | 0,27 5 | 0,27 |
| | III | 36,3 | 0,3 | 0,29 | 0,28 | 0,27 | 0,26 | 0,25 |
| Средняя | I | 33,3 | 0,32 | 0,3 | 0,29 | 0,28 | 0,27 5 | 0,27 |
| | II | 35,7 | 0,3 | 0,29 | 0,28 | 0,27 | 0,26 | 0,25 |
| | III | 36,7 | 0,28 | 0,27 | 0,26 5 | 0,26 | 0,25 5 | 0,24 5 |
| Тяжелая | III | 33,3 | 0,3 | 0,29 | 0,28 | 0,27 | 0,26 | 0,25 |

Предлагаемые методы оценки влияния условий микроклимата по степени их воздействия на организм человека при практическом использовании требуют только простейших приборов для определения температуры воздуха и окружающих поверхностей, относительной влажности и скорости дви-

жения воздуха. Следовательно, для практической оценки микроклимата не требуются никакие специально сконструированные приборы, отмечающие, например, "уровень теплового стресса".

Итак, мы рассмотрели критерий K_{cp} , однозначно определяющий силу воздействия условий микроклимата на организм человека, выполняющего определенную работу в конкретном типе одежды.

Поскольку все функциональные сдвиги в организме человека непосредственно связаны с силой воздействия, то в функции K_{cp} должен находиться некоторый **критерий физиологического влияния, или эффективности, который обозначим K_{ϕ} :**

$$K_{\phi} = \psi(K_{cp}). \quad (4.6)$$

Критерий K_{ϕ} в свою очередь связан с физиолого-гигиеническими показателями (ФП) (в дальнейшем просто показатели):

$$\text{ФП} = \psi(K_{\phi}). \quad (4.7)$$

К наиболее важным показателям относятся:

- средняя температура кожи t_k , °С;
- средняя температура тела t_r , °С;
- ректальная (внутренняя) температура тела t_p , °С;
- частота сердечных сокращений PS, уд/мин;
- потеря влаги П, г/час;
- субъективная оценка теплоощущений СО.

Эти показатели являются наиболее информативными, ими оперирует подавляющее большинство исследователей. Обработка значительного объема экспериментальных данных позволила получить взаимосвязь критериев K_{cp} и K_{ϕ} :

$$K_{\phi} = 4K_{cp}^2. \quad (4.8)$$

Таким образом, при оптимальных условиях микроклимата $K_{cp} = 0,5$ получим $K_{\phi} = 1$.

С учетом допущений, принятых ранее, изменение показателей к концу первого часа работы в условиях конкретного микроклимата могут быть описаны линейной зависимостью вида

$$\text{ФП} = W + F(K_{\phi} - 1), \quad (4.9)$$

где W и F – эмпирические коэффициенты, приведенные в табл. 4.3, представлены как по усредненным значениям, так и по их крайним значениям, за исключением **субъективных оценок теплоощущений (СО)**, которые будут анализироваться отдельно.

Во многих физиолого-гигиенических исследованиях, особенно прошлых лет, температура тела выступала в качестве измеряемой в эксперименте величины либо под языком (t_o), либо подмышечная (t_m). Выявлены связи этих температур с ректальной (внутренней) температурой. Исходя из этих данных определяются величины теплосодержания, теплонакопления или дефицита теплоты, но следует отметить, что при расчетах вносится большая погрешность из-за разницы в массе испытуемых людей. Следовательно, показатели теплового состояния организма человека, связанные с вычислением средней температуры, не следует рассматривать в качестве основных, а использовать в качестве контрольных.

Переходя к третьему направлению анализа и сопоставлений отметим, что **наиболее информативными в условиях нагревающего микроклимата являются показатели потери влаги и температуры кожи**, так как они обладают наибольшей изменчивостью в зависимости от изменений тепловых нагрузок.

Из табл. 4.3 следует, что к таким же сильно зависимым параметрам можно отнести и значение PS, однако они обладают наибольшей **индивидуальной вариабельностью**, сильно зависят от физической нагрузки, и поэтому, в целом, менее информативны.

Что касается показателя t_k , то его информативность в наименьшей степени зависит от физической нагрузки.

Итак, осталось рассмотреть **взаимосвязь обобщающего критерия K_f с субъективными оценками теплоощущений**, служащими некоторыми комплексными показателями состояния организма.

При этом следует учитывать, что информационная слабость этого показателя заключается именно в субъективности оценки, связанной с предварительной психологической установкой, особенностями инструктажа опрашиваемых, параллельными влияниями, выбором шкал и узостью диапазона оценок. Например, оценка "жарко" распространяется почти на половину возможного диапазона воздействий. При этом больше всего жалоб на состояние воздушной среды предъявляют на производстве люди, *менее занятые основной работой*. С другой стороны, хорошо известно, что простудные заболевания чаще всего возникают именно вследствие игнорирования малозаметных неприятных ощущений из-за повышенного внимания к работе.

Тем не менее рассматриваемый показатель, безусловно, должен учитываться при исследованиях микроклимата, так как он нередко позволяет дополнять оценки по другим показателям, а иногда несет своеобразную информацию.

Широкое применение имеет **пятибалльная шкала зависимости СО от K_{ϕ}** (рис. 4.1).

В физиологической практике, а в последние годы и в инженерной, часто прибегают к методике оценки СО через **процент неудовлетворенных микроклиматом лиц**. В зарубежной литературе этот показатель обозначен **PPD (процент неудовлетворенных лиц)** по кривой Фангера рис. 4.2.

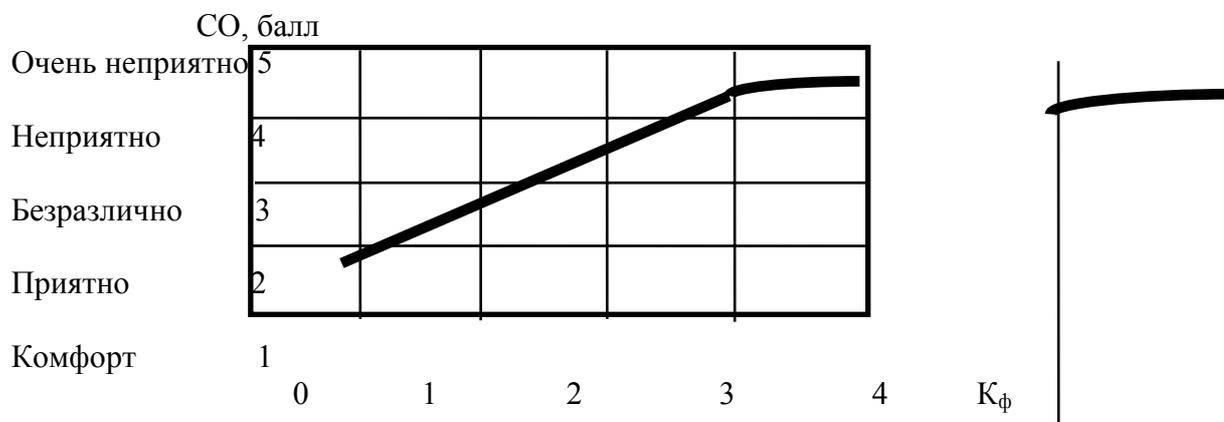


Рис. 4.1 Зависимость субъективных ощущений (СО) от K_{ϕ}

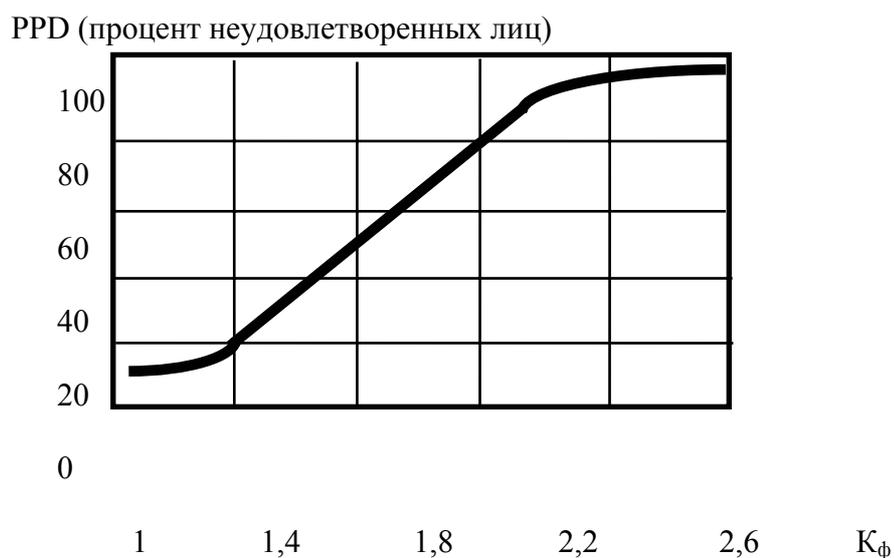
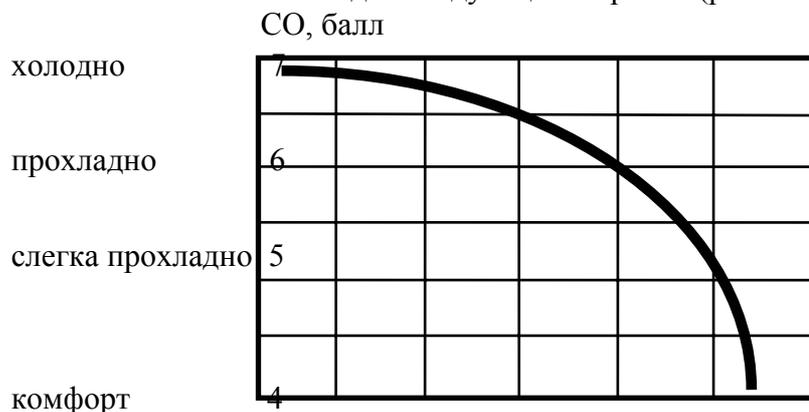


Рис. 4.2 Кривая субъективных ощущений по Фангеру

Температура кожи однозначно связана с субъективной оценкой теплоощущений и эта связь по семибалльной шкале выглядит следующим образом (рис. 4.3).



Пример 2. При условиях примера 1 произошло изменение температуры в помещении до 32 °С, и скорости воздуха до 0,3 м/с.

Требуется оценить условия микроклимата.

Решение: В этой ситуации в расчетной формуле изменились значения только температуры окружающего воздуха и его скорости (через k)

$$K_{\text{ср}} = 1 + 0,0058 \cdot (70 - 50) - \frac{36,3 - 24,5}{88 \cdot 0,28} \cdot (1 + 0,005 \cdot (70 - 50)) = 0,948.$$

Вывод: В этих условиях $K_{\text{ср}}$ вплотную приблизился к предельно допустимому значению $K_{\text{ср}} = 1$, что требует незамедлительного приведения условий микроклимата к нормальным.

Пример 3. В условиях микроклимата по примеру 1 сменилась категория работы на тяжелую и тип одежды на III. Необходимо оценить условия микроклимата.

Решение:

$$K_{\text{ср}} = 1 + 0,005 \cdot (70 - 50) - \frac{36,3 - 24,5}{88 \cdot 0,28} (1 + 0,005 \cdot (70 - 50)) = 0,723.$$

Вывод: В этой ситуации $K_{\text{ср}}$ превысил значения $K_{\text{ср}} = 0,67$ для допустимых условий. Требуется нормализация микроклимата или изменение характера работы.

Прогнозирование теплового состояния человека.

Пример 4. Оценить допустимость условий и тепловое состояние человека при длительном ($\tau_{\text{н}} = 1,9$) воздействии воздуха с параметрами:

$t_a = 26$ °С; $\phi_a = 90$ %; $v = 2$ м/с; в двух вариантах.

Состояние человека – покой, одежда типа II.

1 вариант: температура окружающих поверхностей равна температуре воздуха $t_a = t_a^l = t_R$;

2 вариант: температура окружающих со всех сторон человека поверхностей (например, кабина оператора) $t_a^l = 32$ °С.

Решение. Выбираем расчетные формулы 4.4 для 1-го варианта при $t_a = t_a^l = t_R$, для второго варианта (при $t_a = t_R$) – 4.3.

По табл. 4.1, 4.2 выбираем значения констант:

$A = 38$ (для состояния покоя); $k = 0,28$ (для скорости 2 м/с и одежды типа II); $B = 0,4$ (для скорости 2 м/с).

По формуле (3.6) при $n = 0,9$ определяем

$$t_R = 0,9 \cdot 0,26 + 32(1 - 0,9) = 26,6 \text{ °С}.$$

Вычисляем значения $K_{\text{ср}}$ для первого варианта

$$K_{\text{ср}} = 1 + 0,0058(90 - 50) - \frac{38 - 26}{88 \cdot 0,28} (1 + 0,005(90 - 50)) = 0,647.$$

Вывод: Поскольку полученное значение $K_{\text{ср}}$ не превышает значения для допустимых условий (0,67), будем считать физиологические изменения неглубокими и быстро нормализующимися.

Определяем $K_{\text{ср}}$ для второго варианта:

$$K_{\text{ср}} = 1 + 0,0058(90 - 50) - 0,0113 \left(\frac{38}{0,28} - \frac{32 + 0,4 \cdot 26,6}{1 + 0,4 \cdot 0,28} \right) \times \\ \times (1 + 0,005(90 - 50)) = 0,87.$$

Вывод: По полученному значению оцениваем условия микроклимата как превышающие допустимые и приближающиеся к предельно допустимым ($K_{cp} = 1$). При этом наблюдается напряженность аппарата терморегуляции и признаки перегревания организма.

По формуле (4.8) определяем

$$K_{\phi} = 4 \cdot 0,87^2 = 3,03.$$

По формуле (4.9) находим:

$$t_k = 33 + 0,9(3,03 - 1) = 34,8 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta PS = 8 + (3,03 - 1) = 16 \text{ уд/мин};$$

$$\Delta П = 105(3,03 - 1) = 213 \text{ г/час}.$$

Анализ субъективных оценок микроклимата.

Пример 5.

Выявить значения субъективных оценок микроклимата по условиям примера 4 вариант 2.

Анализ:

а) по пятибалльной шкале (рис 4.1) при $K_{\phi} = 3,03$ имеем

СО = 3,6 (что ближе к оценке "неприятно");

б) по семибалльной шкале (рис 4.3) при $t_k = 34,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ получаем оценку "жарко";

в) По Фангеру (рис. 4.2) при $K_{\phi} = 3,03$ имеем 100 % лиц, неудовлетворенных условиями своего труда.

Выбор микроклимата для работ различной категории тяжести.

Пример 6.

Определить сочетания температуры воздуха и его относительной влажности для предельно переносимых условий при скорости воздуха 0,2 м/с при II типе одежды. Принять значения ϕ равными 30, 60, 90 %. Излучающие поверхности отсутствуют. Продолжительность работ принять $\tau_n = 1,4$. Тип работы – легкая.

Решение. Выбираем формулу (4.4), учитывая, что $t_a = t_R = t_a^l$ и $\tau > 0,7$

$$A = 36,3; k = 0,32.$$

Для предельно переносимых условий $K_{cp} = 1,3$.

Тогда имеем

$$1,3 = 1 + 0,0058(\phi_a - 50) - \frac{A - t_a}{88k} (1 + 0,005(\phi_a - 50)).$$

Откуда

$$t_a = A + \frac{(0,3 - 0,0058(\phi_a - 50)) 88k}{1 + 0,005(\phi_a - 50)}.$$

Подставляем в полученное выражение значения ϕ'_a и получаем:

при

$$\phi_a = 30 \%, t_a = 49,31 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\phi_a = 60 \%, t_a = 42,79 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\phi_a = 90 \%, t_a = 37,9 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Вывод: Из полученных значений t_a видно, насколько значительно влияние относительной влажности на допустимую температуру воздуха при заданных условиях работы человека.

5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Предлагаемые методы оценки влияния условий микроклимата по степени их воздействия на организм человека при практическом использовании требуют только простейших приборов для определения температуры воздуха и окружающих поверхностей, относительной влажности и скорости движения воздуха.

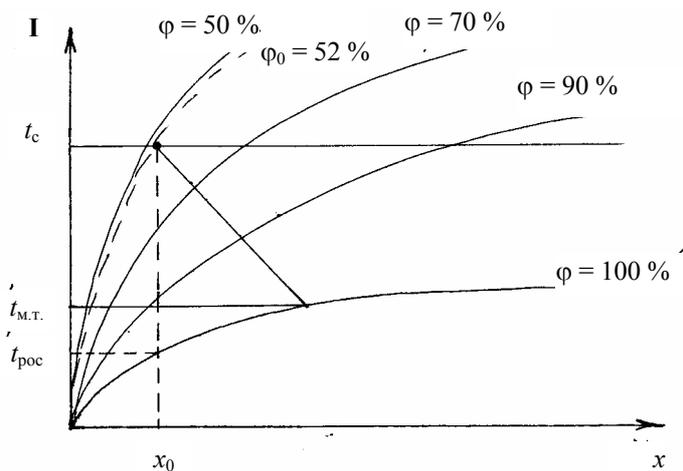
Температуру воздуха измеряют термометрами (ртутными, спиртовыми, минимальными и максимальными). Для непрерывной регистрации температуры применяют термографы и другие приборы. Для измерения скорости воздуха применяют крыльчатые или чашечные анемометры. Относительную влажность воздуха определяют, используя показания психрометров (состоящих из так называемых «сухого» и «мокрого» термометров), применяя либо расчетные формулы, либо I-x диаграмму состояния влажного воздуха.

I-X – ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Диаграмма состояния влажного воздуха, выражающая связь между его параметрами в координатах I-x (энтальпия – абсолютное влагосодержание), является наиболее простым и удобным средством для графического изображения процессов, происходящих при сушке материалов, вентиляции и кондиционировании воздуха.

Координатная сетка диаграммы состоит из линий $I = \text{const}$ (проходящих под углом 135° к горизонтали), $x = \text{const}$ (вертикальные линии). Влагосодержание x выражает массу влаги, приходящуюся на единицу массы абсолютно сухого воздуха и измеряется в кг влаги/кг сух.в.; энтальпия I показывает, какое количество тепла содержится в 1 кг абсолютно сухого воздуха и измеряется в кДж/кг сух.в. Кроме этих линий на диаграмме нанесены линии постоянных температур $t = \text{const}$, линии постоянных относительных влажностей $\varphi = \text{const}$, а также вспомогательная линия для определения парциального давления водяного пара в воздухе.

ПРИМЕНЕНИЕ I-X ДИАГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА



1) Найти точку пересечения изотермы, соответствующей показаниям мокрого термометра, с линией относительной влажности воздуха, равной 100 % (линия насыщения);

2) Из найденной точки провести линию постоянной энтальпии $I = \text{const}$ до пересечения с изотермой, соответствующей показаниям сухого термометра. Полученная точка характеризует состояние влажного воздуха при заданных температурах "сухого" и "мокрого" термометров, ее положение дает возможность определить все параметры влажного воздуха: относительную влажность φ , абсолютное

влажностное содержание x , парциальное давление водяного пара p , точку росы (предел охлаждения влажного воздуха при постоянном влажностном содержании) $t_{\text{рос}}$.

Ход работы

1) По показаниям "сухого" и "мокрого" термометров с использованием I-х диаграммы определить температуру и относительную влажность воздуха в учебной лаборатории.

2) Сделать вывод о скорости воздуха в помещении и о температуре окружающих человека поверхностей. Полученные данные занести в табл. 5.1.

3) Рассчитать тепловой поток q_T от человека в условиях лаборатории по (1), определить критерий $K_{\text{ср}}$ (2), занести рассчитанные значения в табл. 5.1, сделать вывод о микроклиматических условиях лаборатории.

Таблица 5.1

| Температура "сухого" термометра t_c , °C | Температура "мокрого" термометра $t_{\text{м.т.}}$, °C | Относительная влажность воздуха ϕ , % | Скорость воздуха v , м/с | Температура окружающих поверхностей t_R , °C | q_T , Вт/м ² | $K_{\text{ср}}$ |
|--|---|--|----------------------------|--|---------------------------|-----------------|
| | | | | | | |

РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

Задание № 1. Определить воздействие ($K_{\text{ср}}$ и $K_{\text{ф}}$) и дать предварительную оценку условий микроклимата при следующих исходных данных (данные для каждого варианта приведены в табл. 5):

- температура "сухого" термометра t_c ;
- температура "мокрого" термометра $t_{\text{м.т.}}$;
- скорость движения воздуха v ;
- температура окружающих предметов t_R ;
- категория производимой работы;
- относительная длительность воздействия $\tau_{\text{н}}$;
- тип одежды.

Задание № 2.

Выявить значения субъективных оценок микроклимата по условиям предыдущего расчета:

- по пятибалльной шкале;
- по семибалльной шкале;
- по Фангеру.

Сравнить оценку микроклимата по данным расчета объективных и субъективных показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Павлухин Л. В., Тетеревников В. И. Производственный микроклимат, вентиляция и кондиционирование. М.: Стройиздат, 1993. 216 с.
- 2 Охрана труда в машиностроении / Под ред. Е. Я. Юдина, С. В. Белова. М.: Машиностроение, 1983. 431 с.
- 3 Макаров Г. В. и др. Охрана труда в химической промышленности. М.: Химия, 1989. 495 с.
- 4 Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971. 784 с.
- 5 Павлов К. Ф., Романов П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1976. 552 с.

Таблица 4.3

| Показатели работы | Категория работы | Минимальные | | Усредненные | | Максимальные | |
|--|------------------|-------------|----------|-------------|----------|--------------|----------|
| | | <i>W</i> | <i>F</i> | <i>W</i> | <i>F</i> | <i>W</i> | <i>F</i> |
| Средняя температура кожи $t_k, ^\circ\text{C}$ | Покой | 31,5 | 0,9 | 33 | 0,9 | 34,5 | 0,9 |
| | Легкая | 30,5 | 0,9 | 32 | 0,9 | 33,5 | 0,9 |
| | Средняя | 29,2 | 0,9 | 31,2 | 0,9 | 33,2 | 0,9 |
| | Тяжелая | 27,8 | 0,9 | 29,8 | 0,9 | 31,8 | 0,9 |

| | | | | | | | |
|---|---------|------|------|------|------|------|------|
| Средняя температура тела t_t , °С | Покой | 35,7 | 0,33 | 36,0 | 0,32 | 36,3 | 0,43 |
| | Легкая | 36,1 | 0,24 | 36,4 | 0,3 | 36,7 | 0,36 |
| | Средняя | 36,3 | 0,2 | 36,7 | 0,26 | 37,1 | 0,32 |
| | Тяжелая | 36,6 | 0,19 | 37 | 0,25 | 37,4 | 0,31 |
| Частота сердечных сокращений PS, уд/мин | Покой | 40 | 8 | 60 | 8 | 80 | 8 |
| | Легкая | 40 | 8 | 65 | 8 | 90 | 8 |
| | Средняя | 40 | 8 | 75 | 8 | 110 | 8 |
| | Тяжелая | 50 | 8 | 90 | 8 | 130 | 8 |
| Потеря массы влаги П, г/ч | Покой | 30 | 60 | 70 | 105 | 110 | 150 |
| | Легкая | 50 | 60 | 90 | 100 | 130 | 140 |
| | Средняя | 100 | 60 | 130 | 95 | 160 | 130 |
| | Тяжелая | 180 | 60 | 270 | 90 | 360 | 120 |

5.2 Исходные данные для расчета

| № вар. | t_c | $t_{м.т.}$ | t_R | v | τ_n | Категория работы | Тип одежды |
|--------|-------|------------|-------|-----|----------|------------------|------------|
| 1 | 20 | 15 | 20 | 0,1 | 0,1 | Покой | I |
| 2 | 25 | 16 | 25 | 0,2 | 0,2 | Легкая | II |
| 3 | 30 | 17 | 35 | 0,1 | 0,3 | Средняя | III |
| 4 | 35 | 18 | 40 | 0,1 | 0,4 | Тяжелая | I |
| 5 | 40 | 19 | 60 | 0,3 | 0,5 | Покой | II |
| 6 | 45 | 20 | 60 | 0,3 | 0,6 | Легкая | III |
| 7 | 50 | 25 | 60 | 0,4 | 0,7 | Средняя | I |
| 8 | 45 | 15 | 45 | 0,5 | 0,8 | Тяжелая | II |
| 9 | 40 | 16 | 40 | 0,2 | 0,9 | Покой | III |
| 10 | 35 | 17 | 50 | 0,3 | 1,0 | Легкая | I |
| 11 | 30 | 18 | 30 | 0,4 | 0,1 | Средняя | II |
| 12 | 25 | 19 | 60 | 0,5 | 0,2 | Тяжелая | III |
| 13 | 20 | 20 | 60 | 0,1 | 0,3 | Покой | I |
| 14 | 25 | 20 | 60 | 0,2 | 0,4 | Легкая | II |
| 15 | 30 | 25 | 60 | 0,3 | 0,5 | Средняя | III |
| 16 | 35 | 28 | 45 | 0,4 | 0,6 | Тяжелая | I |

Продолжение табл. 5.2

| № вар. | t_c | $t_{м.т.}$ | t_R | v | τ_n | Категория работы | Тип одежды |
|--------|-------|------------|-------|-----|----------|------------------|------------|
| 17 | 40 | 30 | 50 | 0,5 | 0,7 | Покой | II |
| 18 | 45 | 30 | 60 | 0,1 | 0,8 | Легкая | III |
| 19 | 50 | 35 | 50 | 0,2 | 0,9 | Средняя | I |
| 20 | 55 | 25 | 70 | 0,3 | 1,0 | Тяжелая | II |
| 21 | 20 | 17 | 25 | 0,3 | 0,6 | Покой | I |

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|-----|-----|---------|-----|
| 22 | 25 | 18 | 35 | 0,3 | 0,7 | Легкая | II |
| 23 | 30 | 19 | 40 | 0,4 | 0,8 | Средняя | III |
| 24 | 35 | 20 | 60 | 0,5 | 0,9 | Тяжелая | I |
| 25 | 40 | 25 | 60 | 0,2 | 1,0 | Покой | II |
| 26 | 45 | 15 | 60 | 0,3 | 0,1 | Легкая | III |
| 27 | 50 | 16 | 45 | 0,4 | 0,2 | Средняя | I |
| 28 | 45 | 17 | 40 | 0,5 | 0,3 | Тяжелая | II |
| 29 | 40 | 18 | 50 | 0,1 | 0,4 | Покой | III |
| 30 | 35 | 19 | 30 | 0,2 | 0,5 | Легкая | I |