

УДК 628.87

Б. В. КЛЯУС, Д. В. ВЫБОРНОВ, А. В. ПЛУЖНИК

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА РАБОЧЕЙ
ЗОНЫ ПОМЕЩЕНИЙ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**

Аннотация. В данной статье рассмотрено влияние процессов переохлаждения и перегрева человека с учетом его теплоощущений, средневзвешенной температуры кожи и влагопотерь организма в помещениях при относительном покое, а также при выполнении легкой работы.

Ключевые слова: микроклимат, температура, теплоощущения, теплоотдача, конвекция, излучение

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

По мере развития цивилизации человек освоил технологию обогрева помещений. И в этом случае он опирался на свои субъективные тепловые ощущения. Роль теплоощущения в регуляции теплообмена организма со средой сводится в основном к изменениям поведения и включает выбор одежды, изменение площади свободного теплообмена со средой и т. п. Под действием тепла и холода у человека изменяются кровоснабжение кожи и подкожной клетчатки, их температура, а также температура венозной крови, что является главной причиной появления ощущений теплового дискомфорта. Тепловой комфорт означает термически нейтральное состояние, при котором механизмы терморегуляции не испытывают напряжения. В термонейтральной среде имеет место равенство теплоотдачи и минимальной теплопродукции, достигаемое за счет физической терморегуляции. Знание физиологической нормы, т. е. теплового состояния в условиях теплового комфорта, необходимо для обеспечения требуемого микроклимата [1].

На раннем этапе изучения параметров комфортности [2] усилия исследователей были направлены на поиски показателя, который бы определялся параметрами микроклимата и наилучшим образом коррелировал с тепловыми ощущениями. Например, в качестве такого параметра до сих пор рассматривается так называемая эффективная температура, полученная на основе статистической обработки. Опытным путем было показано, что комфортные теплоощущения наблюдаются при эффективной температуре 17...21 °С зимой и 19...24 °С летом, при этом относительная влажность воздуха должна лежать в пределах 30...70 %. Эти экспериментальные данные были использованы при разработке строительных и санитарных норм.

Путем обобщения многочисленных исследований по отечественной и зарубежной литературе, а также на основе практики собственных исследований В. И. Кричагин [3] предложил оценку теплового состояния организма по объективно определяемым показателям. Наиболее тесная корреляционная связь теплоощущений с объективными показателями теплового состояния человека имеет место в случае пребывания его в относительном покое и при выполнении легких физических работ. Во время выполнения тяжелых работ, а также работ с выраженным нервно-эмоциональным напряжением связь теплоощущений с объективными показателями теплового состояния человека выражена в меньшей степени, что необходимо учитывать при нормировании и оценке микроклимата.

Экспериментально установлено, что при нормальных условиях внешней среды температура тела человека колеблется в пределах 37,1...37,3 °С [4]. Тепло, вырабатываемое в организме в условиях равновесия, отдается в окружающую среду поверхностью тела, а также идет на испарение влаги с поверхности кожи и дыхательных путей. Температура кожи человека, находящегося даже в состоянии теплового комфорта, значительно различается на разных участках поверхности тела. Экспериментально

установлено, что наилучшим образом представление о тепловом состоянии организма дает так называемая средневзвешенная температура кожи (СВТК).

В табл. 1 приведены значения потерь влаги человека, находящегося в состоянии относительного физического покоя. Из этой таблицы видно, что, начиная с некоторой температуры воздуха, теплоощущения человека (тепло, жарко и очень жарко) коррелируют, главным образом, с уровнем потери влаги путем потоотделения [1].

Таблица 1 – Теплоощущения, средневзвешенная температура кожи и влагопотери организма человека при относительном покое

Теплоощущения	СВТК, °С	Потери влаги, г/ч
Очень жарко	$\geq 36,0$	500–2000 значительная часть пота стекает
Жарко	$36,0 \pm 0,6$	250–500 значительная часть пота стекает
Тепло	$34,9 \pm 0,7$	60–250 пот не стекает
Комфорт	$33,2 \pm 1,0$	50 ± 10 пот не выделяется
Прохладно	$31,1 \pm 1,0$	40 пот не выделяется
Холодно	$29,1 \pm 1,0$	влагопотери как показатель теплоощущений не характерны
Очень холодно	ниже 28,1	

Вода, содержащаяся в теле, испаряется при любой температуре воздуха. Процесс испарения требует затраты энергии. Организм расходует определенную долю тепла на испарение водяных паров и благодаря этому охлаждается. Этот процесс всегда протекает совершенно одинаково. Известно, что при испарении 1 см³ воды затрачивается около 2,43 кДж тепла. В условиях теплового комфорта и охлаждения человек, находящийся в состоянии относительного физического покоя, теряет влагу путем диффузии с поверхности кожи и верхних дыхательных путей. По приведенным в рассматриваемых работах [2, 3] данным путем испарения в окружающую среду отдается 23...27 % общего тепла. При этом в нормальном случае 1/3 потерь приходится на испарение с поверхности верхних дыхательных путей и 2/3 с поверхности кожи.

На влагопотери путем диффузии оказывает влияние давление водяных паров в воздухе, окружающем человека. Поскольку в земных условиях изменения давления водяных паров невелики, величину влагопотерь вследствие испарения диффузной влаги принято считать относительно постоянной 30...50 г/ч. В состоянии покоя потоотделение начинается при температуре окружающего воздуха 28...29 °С, а при температуре воздуха рабочей зоны выше 34 °С теплоотдача вследствие испарения и потоотделения является единственным способом теплоотдачи организма [1].

В среднем у человека величина потоотделения редко превышает 1 500 г/ч. При оценке теплового состояния организма представляет интерес не только абсолютная величина потери влаги организмом, но и доля теплоотдачи испарением в общей величине теплопотерь. При теплоотдаче испарением, достигающей 40 % общих теплопотерь, уже отмечается напряжение механизмов терморегуляции, субъективно оцениваемых как «тепло». Высокая охлаждающая способность испарения пота сохраняется до момента профузного потоотделения, когда избыток пота начинает стекать с поверхности тела, не испаряясь и не удаляя из организма соответствующего тепла [5]. Однако при диффузном потоотделении человек может терять от 6 до 18 % хлоридов, содержащихся в организме, что приводит к ряду нарушений в результате резкого сдвига электролитного баланса [4].

ЦЕЛЬ

Целью данной статьи является оценка воздействия на организм человека изменения параметров микроклимата при возможном отклонении за пределы комфортных значений для человека, выполняющего определенный род деятельности.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Определим параметры микроклимата, при которых наблюдается отклонение основных параметров (температура помещения, подвижность и относительная влажность воздуха) как охлаждающий микроклимат, т. е. такие условия, в которых большинству людей будет прохладно, холодно или очень холодно. В таком случае воздействию охлаждающего климата в зимний и переходный периоды года подвергаются люди, работающие как на открытом воздухе, так и в производственных помещениях,

например в хладокомбинатах. Среди климатических факторов он оказывает наиболее неблагоприятное воздействие, выражающееся как в различной степени неприятных общих и локальных ощущений, так и в возникновении предпатологических и патологических состояний.

Для поддержания температуры тела человека на необходимом уровне в охлаждающих условиях реакции системы терморегуляции должны быть направлены на уменьшение теплоотдачи. Суть терморегуляции заключается в использовании теплоизоляционной одежды, которая частично изолирует поверхность тела человека от непосредственного контакта с окружающей средой, а также в создании оптимального микроклимата в помещениях.

Динамика теплоотдачи с поверхности тела в окружающую среду по мере охлаждения тела в целом у испытуемых характеризуется тем, что в первые минуты она подчиняется физическим законам и возрастает линейно с увеличением температурного напора между кожей человека и воздухом помещения. Характерные сдвиги изменения линии тренда температуры и теплоотдачи обнаруживаются при охлаждении конечностей [1]. В табл. 2 приведены значения средневзвешенной температуры кожи у человека, находящегося в состоянии относительного физического покоя и подвергающегося воздействию холода.

Таблица 2 – Градация теплового состояния организма человека, выполняющего легкую работу в условиях охлаждения

Характеристика теплового состояния	Потери влаги, г/ч	СВТК, °С	Разница между температурой туловища и конечности, °С
Комфортное	100...150	31...33	6...2
Слабое напряжение терморегуляции	100	31...29	до 8
Умеренное нестационарное напряжение терморегуляции	100	29...27	до 10
Большое и чрезмерное напряжение терморегуляторной системы	100	23...27	10

С другой стороны, обратная ситуация будет характеризоваться нагревающим микроклиматом. С таким видом микроклимата человек сталкивается при работе в горячих цехах различных отраслей промышленности (металлургической, стекольной, пищевой и др.), в глубоких шахтах, а также при работе на открытом воздухе в летний период. Температура воздуха в горячих цехах металлургической промышленности может достигать в летний период 33...40 °С; а инфракрасное излучение при этом будет находиться в диапазоне 8,4...50,2 Дж/см² в минуту. В зависимости от характера поступления и превалирования того или иного компонента микроклимата схематически выделяют цехи с преимущественно конвекционным или с преимущественно радиационным микроклиматом. Микроклимат большинства горячих цехов многих отраслей промышленности характеризуется преобладанием лучистого тепла, которое является основным климатообразующим фактором. Интенсивность теплового (инфракрасного) излучения может достигать 2 100...4 900 Вт/м² (в кузнечнопрессовых, литейных цехах), 3 500...7 000 Вт/м² (цеха стекольных заводов), 7 000...14 000 Вт/м² (мартеновские, электросталеплавильные, доменные цехи металлургических заводов) [5]. Высокая интенсивность излучения приводит к нагреванию ограждений, оборудования, превращая их во вторичные источники излучения. Например, температура воздуха в бойлерной может равняться 48,8 °С, в отдельных рудниках Южной Африки на глубине зарегистрирована температура 41...49 °С. Рабочие при ремонте мартеновских печей подвергались воздействию окружающих температур от 50 до 170 °С.

Нагревающий микроклимат конвекционного типа (продуктовые цехи сахарных заводов, термические цехи, машинные залы электростанций, цехи бумажного производства и т. п.) характеризуется:

- высокими температурами воздуха, превышающими в теплый период года на 7...10 °С температуру наружного воздуха;
- наличием огромных нагретых поверхностей оборудования с температурой 45...55 °С;
- незначительными подвижностями воздуха.

В некоторых производствах повышенная температура сочетается с высокой влажностью воздуха. Такие условия характерны для красильных отделений текстильных фабрик, глубоких шахт, теплиц и т. п.

При воздействии на человека избытков теплоты существует определенная корреляция между ощущениями человека, находящегося в покое, и объективными показателями его теплового состояния [1]. При температуре рабочей зоны равной или выше значений СВТК для условий температурного комфорта (29...33,7 °С) тело человека больше не может отдавать излишки тепла в окружающую среду путем конвекции и радиации. Более того, оно само начинает получать тепло за счет солнечной инсоляции, радиационного излучения со стороны нагретых поверхностей, нагретого воздуха. Подобно охлаждающим влияниям, нагревающее воздействие окружающей человека среды носит комплексный характер, т.е. определяется различными метеоусловиями – температурой, влажностью, скоростью движения воздуха, величиной тепловой радиации. Если охлаждающий микроклимат, как правило, сопряжен с недостаточно грамотно организованной работой инженерных систем (или полным их отсутствием), которые можно должным образом наладить или организовать, то нагревающий, как правило, обусловлен особенностями технологического процесса, изменения в котором недопустимы. В табл. 3 приведены значения средневзвешенной температуры кожи, средней температуры тела и влагопотери у человека при перегревании.

Таблица 3 – Тепловое состояние человека при перегревании

Теплоощущения	СВТК, °С	Средняя температура тела, °С	Влагопотери, г/ч
Комфортное	33,2±1,0	35,8	50
Тепло	34,9±0,7	36,6	60...250
Жарко	36,0±0,6	37,2	250...500
Очень жарко	36	37,5	500...2000

Основным путем потери тепла в условиях нагревающего климата является испарение влаги с поверхности кожи и слизистой оболочки дыхательных путей, что обуславливается относительной влажностью среды и подвижностью воздуха. Скорость движения воздуха влияет скорее на теплоощущения человека, облегчая (или усугубляя) процесс теплоотдачи путем конвекции. Движение воздуха может вызывать негативную реакцию через появление эффектов, обусловленных давлением воздуха на кожу: утомление рецепторного аппарата, высушивание кожи. Поэтому при разработке нормативов на микроклимат учитывается именно этот факт. Однако известно, что одним из защитных мероприятий в цехах с нагревающим микроклиматом является обдувание прохладным воздухом, т.н. воздушное душирование. В условиях охлаждающего микроклимата движение ветра, увеличивая эффективность конвекционного способа теплоотдачи, усиливает охлаждение организма. По мере усиления потоотделения и испарения влаги с поверхности кожи, покровные ткани тела охлаждаются, и тогда теплоощущение перестает зависеть от средней температуры тела [1].

Инфракрасное излучение оказывает общее и местное воздействие на организм. Общая реакция на облучение проявляется в повышении температуры кожи не только на облучаемой поверхности, но и на отдаленных от места облучения участках. Чем мощнее излучение, тем быстрее наступает максимум температуры на облучаемом участке кожи. При одной и той же интенсивности излучения температура кожи повышается тем меньше, чем короче длина волны. При интенсивном воздействии этих лучей на непокрытую голову может произойти так называемый солнечный удар, сопровождаемый головной болью, головокружением, учащением пульса, ускорением дыхания, затемнением и потерей сознания. Такого рода поражения не угрожают людям, работающим в закрытых помещениях, даже если они подвергаются очень интенсивному инфракрасному облучению производственными источниками [1]. Чрезвычайно важной особенностью воздействия инфракрасного излучения на организм является способность этих лучей различной длины волны проникать на разную глубину и поглощаться соответствующими тканями.

Для оценки возможного воздействия инфракрасного излучения на рабочих важное значение наряду со спектральной характеристикой имеет интенсивность излучения. Она измеряется количеством малых калорий, падающих на 1 см² поверхности в минуту или больших калориях на 1 м² в час. Интенсивность теплового излучения на рабочих местах при отдельных производственных операциях колеблется от 0,1 до 62,8...75,4 Дж/см² в минуту. Следует отметить, что тепловой эффект прямого солнечного излучения на поверхности земли не превышает 5,4...6,3 Дж/см² в минуту.

Поэтому определение коэффициентов облученности внутренних поверхностей представляет серьезную задачу при условии наличия поверхности сложной формы. Наличие нескольких таких поверхностей, геометрические размеры которых постоянно меняются в связи с нестационарностью про-

цесса, значительно усложняет процесс изучения лучистого теплообмена в помещении и воздушно-теплового режима в целом. Дополнительным фактором, усложняющим исследование теплообмена внутренних поверхностей помещения за счет излучения, является учет поверхностей обстановки помещения с их сложной поверхностью. В таких условиях количество коэффициентов облученности поверхностей увеличивается в разы. Кроме того, солнечную радиацию, равномерно распределенную по всем внутренним поверхностям, можно рассматривать как излучение отдельных теплообменных поверхностей прямоугольной формы [7].

Роль одежды в нагревающем микроклимате также значительно возрастает, когда температура воздуха превышает температуру кожи тела человека. Так как теплоемкость текстильных тканей очень низка, то накопление тепла в одежде невозможно; оно должно быть возвращено окружающей среде. В работе [8] приведены результаты экспериментов, которые показали, что при ношении одежды, поглощающей столько же солнечной энергии, сколько поглощает и человеческая кожа, количество тепла, получаемое телом из окружающей среды, уменьшается более чем на 420 кДж/ч.

Отдельной оценки заслуживает организация систем климатизации с недостаточным уровнем энергосбережения. Как отмечается в отдельных исследованиях [6], основными экологическими проблемами кондиционирования воздуха связаны с:

- увеличением пиковой нагрузки на электроэнергию;
- выбросами от хладагентов, используемых в кондиционировании воздуха, которые отрицательно влияют на уровни озона и глобальный климат; выбросы, связанные с охлаждением и кондиционированием воздуха, составляют почти 64 % всех производств хладагентов;
- увеличение выбросов CO₂ вследствие потребления энергии в системах охлаждения.

Принимая к вниманию вышеприведенные факторы, авторами работы [7] предлагается снизить нагрузки систем кондиционирования путём использования ночного проветривания помещений, специально созданных для работы в ночное время; при этом кратность воздухообмена может превышать 10 ч⁻¹, что позволяет усилить охлаждение помещения. Количество подаваемого в помещение воздуха влияет на подвижность воздуха в помещении, а значит и на интенсивность теплоотдачи между воздухом и ограждающими конструкциями и элементами обстановки помещения.

ВЫВОДЫ

Для поддержания температуры тела человека на необходимом уровне требуется учет как индивидуальных способностей организма рабочего, так и особенностей технологического процесса в комплексе с работой систем климатизации, если таковые имеются. Сочетание выше рассмотренных сложностей и необходимости учета влияния солнечной радиации приводит к пониманию важности поиска дополнительных факторов, которые могут качественно изменить картину теплообменных процессов, протекающих в помещении. В качестве таких факторов можно рассмотреть солнцезащитные устройства и климатические системы с пофасадным регулированием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеева, Е. И. Экологический мониторинг параметров микроклимата [Текст] / Е. И. Тимофеева, Г. В. Федорович. – М. : [б. и.], 2005. – 194 с.
2. Банхиди, Л. Тепловой микроклимат помещений: Расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека [Текст] / Л. Банхиди ; пер. с венг. В. М. Беляева ; под ред. В. И. Прохорова. – М. : Стройиздат. – 1981. – 248 с.
3. Кричагин, В. И. Принципы объективной оценки теплового состояния организма [Текст] : В кн. Авиационная и космическая медицина (под ред. В. В. Парина) / В. И. Кричагин. – М. : [б. и.], 1963. – С. 310–314.
4. Иванов, К. П. Физиология терморегуляции [Текст] / К. П. Иванов. – Л. : Наука, 1984. – 470 с.
5. Измеров, Н. Ф. Руководство по гигиене труда [Текст] / Н. Ф. Измеров. – М. : Медицина, 1987. – 368 с.
6. James, J. Passive cooling of buildings [Текст] / J. James // Group Building Environmental Studies, Physics Department, University of Athens «Advances of Solar Energy». – London. – 2005. – 57 p.
7. Маркевич, А. С. Воздушно-тепловой режим помещения [Текст] / А. С. Маркевич, А. Г. Рымаров // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2010. – № 1. – С. 70–72.
8. Новожилов, Г. Н. Оценка эффективности повышения энерготрат при тепловой адаптации [Текст] / Г. Н. Новожилов // Физиология человека. 1980. – № 6. – С. 984–988.

Получено 11.10.2018

Б. В. КЛЯУС, Д. В. ВИБОРНОВ, А. В. ПЛУЖНИК
ВПЛИВ ЗМІН ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ РОБОЧОЇ ЗОНИ
ПРИМІЩЕНЬ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ
ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У даній статті розглянуто вплив процесів переохолодження та перегрівання людини з урахуванням її тепловідчуття, середньозваженої температури шкіри і вологовтрати організму в приміщеннях при відносному спокої, а також при виконанні легкої роботи.

Ключові слова: мікроклімат, температура, тепловідчуття, тепловіддача, конвекція, випромінювання.

BOGDAN KLYAUS, DMITRY VYBORNOV, ANASTASIA PLUZHNIK
THE EFFECT OF CHANGES IN THE MICROCLIMATE PARAMETERS OF THE
WORKING AREA OF THE PREMISES ON THE HUMAN BODY
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. In this article, the influence of the processes of super cooling and overheating of a person with allowance for his thermal sensations, average skin temperature and moisture loss of the body in rooms at relative rest, and also when performing light work is considered.

Key words: microclimate, temperature, thermal sensations, heat transfer, convection, radiation.

Кляус Богдан Валентинович – ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплогазоснабжения.

Выборнов Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосбережение в системах теплоснабжения, использование теплонасосных технологий.

Плужник Анастасия Вадимовна – магистр кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосберегающие технологии.

Кляус Богдан Валентинович – асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсозбереження в системах теплогазопостачання.

Выборнов Дмитро Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергосбереження в системах теплопостачання, використання теплонасосних технологій.

Плужник Анастасія Вадимівна – магістр кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсозбереження в системах теплогазопостачання.

Klyaus Bogdan – assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy and resource saving in heat and gas supply systems.

Vybornov Dmitry – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heat saving in systems of a heat supply with usage of heat pumps technologies.

Pluzhnik Anastasia – Master, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy and resource saving in heat and gas supply systems.