

1. ТЕПЛОВОЙ КОМФОРТ

Значительная часть жизнедеятельности человека происходит в помещении. От состояния микроклимата в помещении во многом зависит его здоровье и работоспособность (рис. 1.1), что отражается на собственном бюджете, бюджете семьи и государства, поэтому поддержание теплового комфорта является как государственной задачей, так и задачей каждого человека.

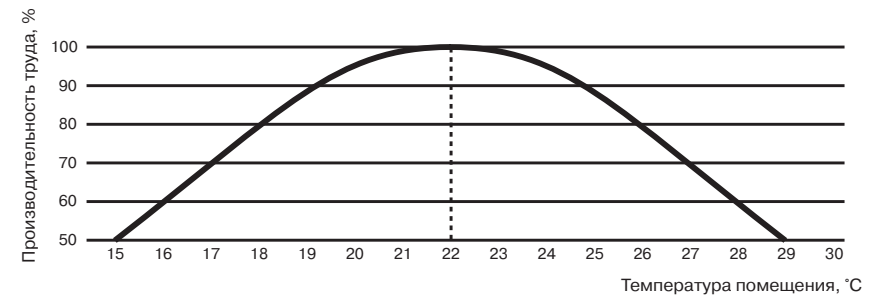


Рис. 1.1. Влияние температуры помещения на производительность труда человека [2]

Повышение общего уровня жизни ставит перед специалистами все новые требования к системам обеспечения микроклимата. Эти требования имеют некоторые отличия, вызванные этническими, национально-географическими и социально-экономическими особенностями. Однако существуют тенденции сближения в понимании и выработке общепринятых основных требований к тепловому комфорту помещений. Результатом международного сотрудничества правительственных и общественных организаций стал норматив ISO 7730: 1994(E) [3], определяющий тепловые условия окружающей среды, к которой привыкли люди (рис. 1.2). Приведенные оптимальные температуры помещения предназначены для здоровых мужчин и женщин. Они основаны на северо-американских и европейских показателях. Хорошо согласуются с японскими исследованиями. Сопоставляются с российскими нормативами. Однако для больных и недееспособных людей эти данные могут иметь отклонения.

Указанный стандарт предназначен для производственных помещений, но в равной степени может применяться и для любых других помещений. Для экстремальных тепловых сред используют международные стандарты [4; 5].

В основу диаграммы на рис. 1.2 положены исследования О. Фангера по теплоощущению большинства людей при разнообразных видах

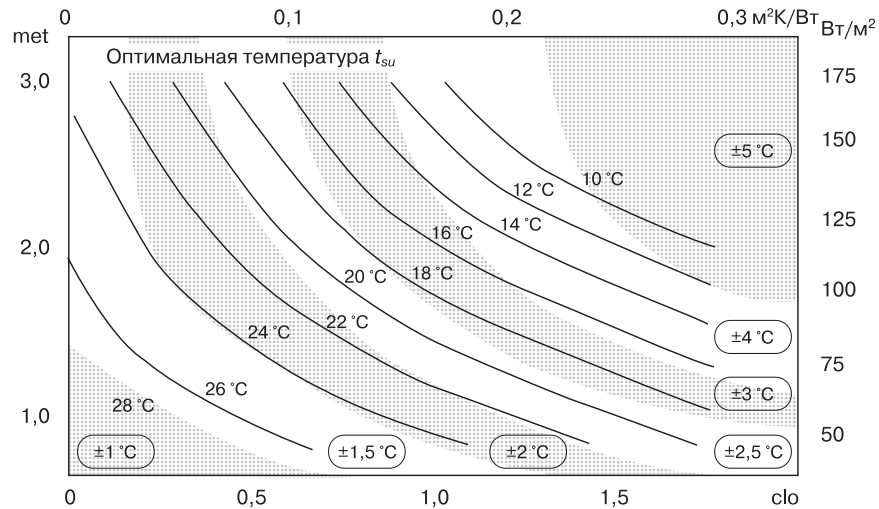


Рис. 1.2. Зависимость оптимальной температуры помещения (при PMV = 0) от одежды и активности человека [3]

деятельности (сон, отдых, умственная работа, физическая нагрузка разной интенсивности) и при различных температурных условиях помещения с учетом теплоизоляционных свойств одежды.

Зависимость состояния организма от вида деятельности определена через тепловыделение человека. Этот процесс оценивают показателем "met" (метаболизм — выделение теплоты внутри организма). В соответствии с ISO 8996 активность человека, находящегося в расслабленном состоянии либо в положении сидя, характеризуют 1 met = 58 Вт/м²; в наклонном положении при наличии опоры — 0,8 met; в сидячем положении при выполнении офисной или домашней работы — 1,2 met и т. д.

Выделение теплоты человеком в окружающую среду с учетом теплоизоляционных свойств одежды характеризуют показателем "clo" (clothing — одежда). 1 clo равен 0,155 м²К/Вт и соответствует рабочей одежде, состоящей из легкого нижнего белья, носок, рубашки, брюк, костюма, туфель.

Человеческий организм находится в постоянном взаимодействии с окружающей средой. Изменение ее тепловых условий приводит к автоматическому приспособлению температурного и влажностного состояния кожи вследствие действия системы терморегуляции организма, но каждый организм индивидуален. Тепловые ощущения в большей или меньшей степени отличаются от нормативных среднестатистических показателей микроклимата в помещении. Неудовлетворенность может

являться результатом теплого или прохладного дискомфорта тела в целом, который характеризуют ожидаемым значением теплоощущения PMV (Predicted Mean Vote) и прогнозируемым процентом неудовлетворенности PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). Субъективное состояние психологического теплоощущения человека оценивают следующей шкалой значений PMV:

Холодно	Прохладно	Слегка прохладно	Нормально	Слегка тепло	Тепло	Жарко
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

Эти показатели используют совместно с нормированными параметрами микроклимата для оценки работоспособности системы отопления или кондиционирования воздуха и необходимости реагирования на жалобы потребителей. Кроме того, традиционное сочетание параметров теплового комфорта помещения — температуры воздуха, радиационной температуры помещения, скорости движения и влажности воздуха — в ISO 7730 дополнено моделью оценки сквозняка, влиянием степени турбулентности воздушных потоков, радиационной асимметрией. По EN 1264 [6] нормируется перепад температур воздуха между лодыжкой и головой человека посредством предельной температуры пола. Но сколько бы ни нормировались влияющие параметры теплового комфорта, удовлетворить каждого человека невозможно, поэтому предлагаемые условия теплового комфорта считаются приемлемыми для 90 % людей с условием, что 85 % из них не обеспокоены сквозняком.

Несмотря на сложность и неоднозначность подходов к обеспечению теплового комфорта, специалистам по системам обеспечения микроклимата необходимо создавать и поддерживать его, удовлетворяя требования большинства людей к помещению. В то же время следует дать возможность человеку, находящемуся в предназначенном для него помещении, изменять тепловые условия в соответствии с собственным теплоощущением. При этом следует осознавать, что тепловой комфорт является дорогостоящим товаром, который не должен снижать жизненный уровень человека.

Поставленную задачу решают путем создания гибких в управлении систем обеспечения микроклимата. Таковыми являются только автоматически управляемые системы с индивидуальными регуляторами температуры помещения (терморегуляторами). Основное функциональное требование к ним определяется условием теплового комфорта: поддержание заданной оптимальной температуры помещения в допустимых пределах ее отклонения (диаграмма на рис. 1.2). Однако такой подход сегодня сложен в исполнении. Причиной тому является техническая трудность определения температуры помещения.

Под оптимальной температурой помещения t_{su} подразумевают комплексный показатель радиационной температуры помещения t_r и температуры воздуха в помещении t , позволяющий прогнозировать удовлетворенность тепловым комфортом не менее 90 % людей при умеренной (рекомендуемой) подвижности воздуха. Для большинства помещений этот показатель определяют уравнением:

$$t_{su} \approx (t_r + t)/2. \quad (1.1)$$

Физиологический смысл уравнения заключается в поддержании стабильного теплообмена между человеком и окружающей средой ($Q = \text{const}$). Для человека, выполняющего легкую работу с расходом тепловой энергии примерно до 170 Вт (W), данное уравнение представлено в графическом виде на рис. 1.3 [1; 7; 8]. Линейная зависимость между t_r и t позволяет производить терморегуляторы, реагирующие только на температуру воздуха. Этот подход приемлем для большинства помещений с конвективным нагревом или охлаждением, где $t_r \approx t$. В помещениях со значительной площадью наружных ограждений, либо с системой отопления (охлаждения), встроенной в ограждающие строительные конструкции, пользователь может настроить терморегулятор под свои теплоощущения с учетом несовпадения t_r с t . Такая особенность поддержания теплового комфорта является одной из причин нанесения производителем на температурную шкалу терморегулятора не конкретных значений температуры воздуха в помещении, а определенных меток. Их ориентировочное соответствие показано на рис. 1.4.

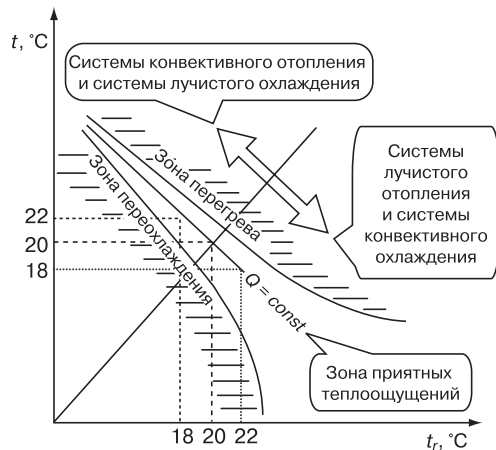


Рис. 1.3. Влияние микроклимата на теплоощущения человека [1; 7; 8]

Учет влияния температуры воздуха и температуры ограждающих конструкций на теплоощущения человека дает возможность дополнительной экономии энергоресурсов лучистыми и конвективно-лучистыми системами отопления (охлаждения) по сравнению с конвективными системами. Тепловой комфорт обеспечивается такими системами при меньших температурах воздуха в холодный период года (например, при $t = 18^\circ\text{C}$, если $t_r = 22^\circ\text{C}$) и больших температурах воздуха в теплый период года (например, при $t = 22^\circ\text{C}$, если $t_r = 18^\circ\text{C}$). Получаемое уменьшение разности температур наружного и внутреннего воздуха сокращает теплопотери в холодный период и теплопоступления в теплый период года через ограждения. Происходит также сокращение энергопотерь с вентиляционным, эксфильтрационным и инфильтрационным воздухом.

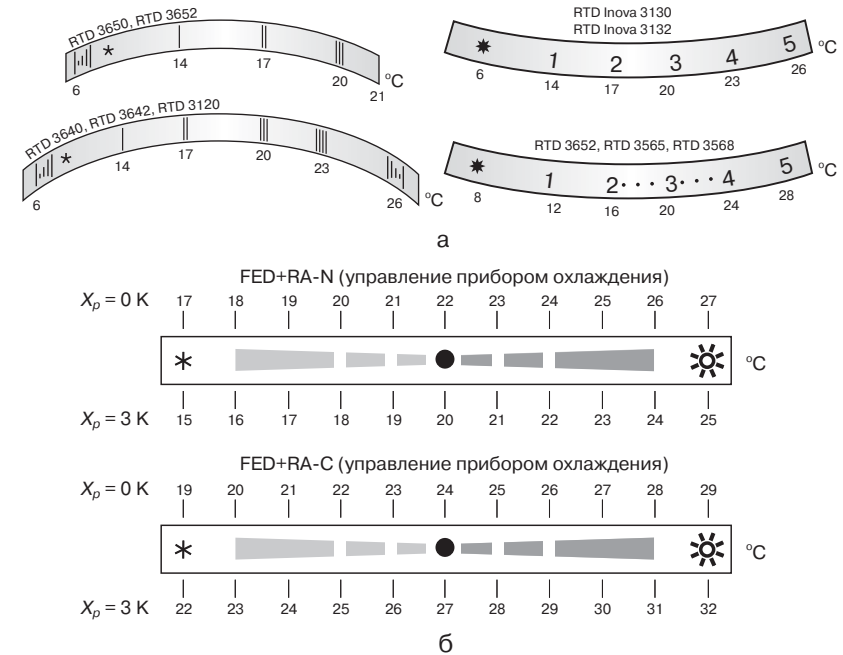


Рис. 1.4. Температурная настройка терморегуляторов: а – RTD для систем отопления; б – FED+RA-C(N) для систем охлаждения

Терморегулятор реагирует на изменение температуры воздуха, но поле температур в помещении очень неравномерно, особенно в верхней и нижней зонах, поэтому терморегулятор необходимо размещать таким образом, чтобы он воспринимал осредненное значение температуры воздуха.

Распределение температуры воздуха по высоте помещения показано на рис. 1.5. На всех графиках сплошной линией изображено идеальное распределение. Температура у ног человека равна примерно 26 °С, а у головы — примерно 20 °С.

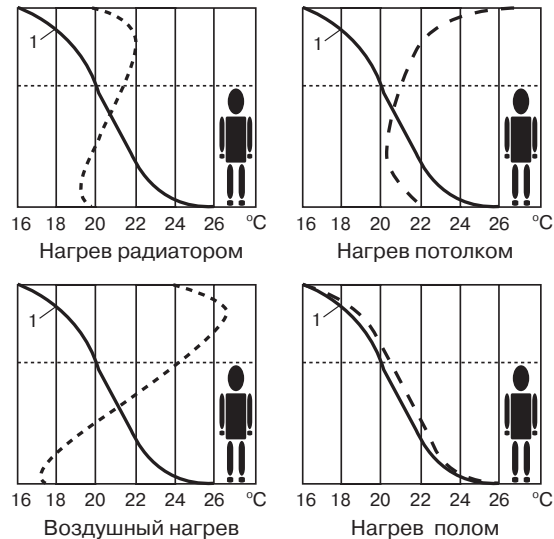


Рис. 1.5. Влияние способа отопления на распределение температуры воздуха по высоте помещения [9; 10]: 1 – идеальное распределение температуры воздуха

При использовании радиаторов для отопления перегревается верхняя зона помещения, что увеличивает теплопотери через наружные ограждающие конструкции. Теплопотери увеличиваются также с вентиляционным воздухом, т. к. решетки для его удаления расположены в этой зоне. Еще больший перегрев верхней зоны происходит при использовании конвекторов. Примерно аналогичное распределение температур есть в помещении с системой отопления, выполненной в виде нагреваемого потолка, либо с воздушным отоплением, в том числе и фенкойлами.

Наиболее близкими к обеспечению идеального распределения температур являются системы с нагреваемым полом в холодный период года и с охлаждаемым потолком в теплый период. В первом случае теплый поток воздуха поднимается от пола вверх и охлаждается за счет теплопотерь помещения. Во втором — прохладный поток воздуха опускается от потолка и нагревается за счет теплопоступлений помещения. В обоих случаях создаются комфортные условия для человека.

Тепловой комфорт в помещении достигают только при использовании автоматизированных систем обеспечения микроклимата, основным элементом которых является терморегулятор.

Терморегулятор должен поддерживать температуру воздуха в помещении с отклонением не более чем по ISO 7730.

Наиболее близкими к обеспечению идеальных условий теплового комфорта в помещении являются системы с нагреваемым полом в холодный период года и с охлаждаемым потолком в теплый период года.

Для невысоких помещений наиболее приемлемой с экономической и санитарно-гигиенической точек зрения является система отопления с панельными радиаторами.