

ТЕМА 2. ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПОМЕЩЕНИЯ

2.1. Понятие микроклимата. Условия комфортности

Около 80 % своей жизни человек проводит в помещении. Здоровье и работоспособность человека в значительной степени зависят от того, насколько помещение в санитарно-гигиеническом отношении удовлетворяет его физиологическим требованиям.

Под **микроклиматом помещения** понимается совокупность теплового, воздушного и влажностного режимов в их взаимосвязи. Основное требование к микроклимату – поддержание благоприятных условий для людей, находящихся в помещении.

Человек в процессе обмена веществ выделяет определенное количество тепловой энергии, которая путем конвекции, излучения, теплопроводности и испарения передается окружающей среде. Поддержание постоянной температуры организма обеспечивает физиологическая система терморегуляции. Для нормальной жизнедеятельности и хорошего самочувствия человека должен быть тепловой баланс между теплотой, вырабатываемой организмом, и теплотой, отдаваемой в окружающую среду.

Интенсивность теплоотдачи человека зависит от микроклимата помещения, характеризующегося температурой внутреннего воздуха t_g , радиационной температурой помещения (осредненной температурой его ограждающих конструкций) t_R , скоростью движения (подвижностью) и относительной влажностью ϕ_g воздуха.

На основании различных сочетаний этих параметров различают:

– **комфортные** или **оптимальные**, при которых сохраняется тепловое равновесие в организме человека и отсутствует напряжение в его системе терморегуляции;

– **допустимые**, при которых человек ощущает некоторый дискомфорт, однако длительное нахождение в таких условиях не приводит к заболеваниям человека.

Комфортные условия должны быть обеспечены прежде всего в **обслуживаемой** или **рабочей зоне помещения**, под которой понимают ту часть помещения, в которой человек находится основное рабочее время (для сидячих рабочих мест это пространство до высоты 1,5 м от пола помещения, для стоячих рабочих мест – 2 м от пола).

Тепловые условия в помещении зависят главным образом от температуры внутреннего воздуха t_g и радиационной температуры помещения

t_R , то есть от его температурной обстановки, которую принято характеризовать двумя условиями комфортности.

Первое условие комфортности определяет такую область сочетаний t_6 и t_R , при которых человек, находясь в центре рабочей зоны, не испытывает ни перегрева, ни переохлаждения.

Второе условие комфортности определяет допустимые температуры нагретых и охлажденных поверхностей при нахождении человека в непосредственной близости от них. Во избежание недопустимого радиационного перегрева или переохлаждения головы человека поверхности потолка и стен могут быть нагреты или охлаждены до допустимой температуры [12].

Основные нормативные требования к микроклимату помещений содержатся в нормативной литературе [1, 2] и отраслевых нормах, действующей на территории Республики Беларусь.

При определении расчетных параметров воздуха в помещении учитывается способность человеческого организма к акклиматизации в разные периоды года, интенсивность выполняемой работы и характер тепловыделений в помещении.

Расчетные параметры воздуха нормируются в зависимости от периода года. Различают три периода года: теплый, холодный и переходный. **Холодный** период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха t_n ниже $+8^\circ\text{C}$, **теплый** – температурой наружного воздуха t_n выше $+8^\circ\text{C}$, **переходным** считается период года со среднесуточной температурой наружного воздуха $t_n = +8^\circ\text{C}$.

По интенсивности труда все работы делятся на три категории: **легкие** (с затратой энергии до 172 Вт), **средней тяжести** (с затратой энергии от 172 до 293 Вт) и **тяжелые** (с затратой энергии более 293 Вт).

Определяющими параметрами наружного воздуха для холодного периода являются температура наружного воздуха t_n и скорость ветра u_n . В некоторых случаях кроме этих параметров учитывается значение относительной влажности наружного воздуха ϕ_n .

Теплый период года определяется прежде всего интенсивностью солнечной радиации и температурой наружного воздуха.

Расчетные параметры наружного воздуха принимаются на основании данных метеорологических наблюдений в различных географических пунктах. Температура наружного воздуха t_n , скорость ветра u_n и энтальпия I_n для различных городов Беларуси приведены в [3, 4].

Требуемый микроклимат в помещении создается следующими системами инженерного оборудования зданий:

– **система вентиляции** предназначена для удаления из помещений загрязненного и подачу в них чистого воздуха, при этом температура воздуха не должна меняться, то есть обеспечивают воздушный режим помещений. Система вентиляции состоит из устройств для нагревания, увлажнения и осушения приточного воздуха.

– **система кондиционирования воздуха** является более совершенным средством создания и обеспечения в помещениях улучшенного микроклимата, то есть заданных параметров воздуха: температуры, влажности и чистоты при допустимой скорости движения воздуха в помещении независимо от наружных метеорологических условий и переменных по времени вредных выделений в помещении. Системы кондиционирования воздуха состоят из устройств термовлажностной обработки воздуха, очистки его от пыли, биологических загрязнений и запахов, перемещения и распределения воздуха в помещении, автоматического управления оборудованием и аппаратурой.

– **система отопления** служит для создания и поддержания в помещениях в холодный период года необходимых температур воздуха, то есть обеспечивают необходимый тепловой режим в помещении.

2.2. Свойства наружных ограждений и их влияние на воздушно-тепловой режим помещений в холодный период года

В холодный период года под влиянием низкой температуры наружного воздуха и ветра через наружные ограждения происходит потеря теплоты, и их внутренние поверхности, обращенные в помещение, оказываются относительно холодными. В то же время поверхности отопительных устройств в помещении имеют повышенную температуру. Температура наружного воздуха непрерывно изменяется, в связи с чем изменяются температуры поверхностей ограждений и отопительных приборов, интенсивность конвективных токов. Усилия систем, создающих и поддерживающих тепловой и воздушный режимы помещений, могут быть сведены на нет, если наружные ограждения помещений не будут обладать высокими теплотехническими характеристиками.

Поэтому при разработке проекта отапливаемого здания большое внимание уделяется конструкциям наружных ограждений.

Теплозащитные качества ограждения принято характеризовать *величиной сопротивления теплопередаче* R_T , которая численно равна падению температуры в градусах при прохождении теплового потока в 1 Вт через 1 м² ограждения. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций определяется в соответствии с рекомендациями [10]

$$R_T = \frac{1}{\alpha_g} + R_k + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (2.1)$$

где α_g – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/м²·град;

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/м²·град;

R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции, м²·град/Вт.

Величина термического сопротивления многослойной ограждающей конструкции определяется как сумма термических сопротивлений каждого из слоев, рассчитываемого по формуле

$$R = \delta / \lambda, \quad (2.2)$$

где δ – толщина слоя ограждающей конструкции, м;

λ – коэффициент теплопроводности материала слоя ограждающей конструкции, Вт/м·град.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции должно быть не менее требуемого сопротивления теплопередаче $R_{T,TP}$, которое является минимально допустимым, удовлетворяющим в зимних условиях санитарно-гигиеническим требованиям, и не менее нормативного значения $R_{T,норм}$, установленного требованиями [10].

Правильно выбранная конструкция ограждения и строго обоснованная величина его сопротивления теплопередаче обеспечивают требуемый микроклимат и экономичность конструкции здания.

Требования к расчетам сопротивления теплопередаче всех наружных ограждающих конструкций приведены в ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника» [10].

При разности давлений воздуха с одной и с другой стороны ограждения через него может проникать воздух в направлении от большего дав-

ления к меньшему. Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждений возникает вследствие разности плотностей наружного и внутреннего воздуха (гравитационное давление) и под влиянием ветра (ветровое давление). Это явление называется *фильтрацией*. Если фильтрация происходит в направлении от наружного воздуха в помещение, то она называется *инфильтрацией*, при обратном направлении – *эксфильтрацией*.

Свойство ограждения или материала пропускать воздух называется **воздухопроницаемостью**. Воздухопроницаемость ограждающей конструкции оценивается по *величине сопротивления воздухопроницанию* R_B . Фильтрация наружного воздуха через ограждения в холодный период года вызывает дополнительные потери теплоты помещениями, а также охлаждение внутренних поверхностей ограждения. Поэтому в соответствии с требованиями [10] сопротивление воздухопроницанию R_B должно быть не менее требуемого сопротивления воздухопроницанию $R_{B,TP}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$.

Еще одним фактором, снижающим теплозащитные качества ограждений, а, следовательно, и нарушающим воздушно-тепловой баланс помещения, является повышение влажности строительных материалов. Кроме того, влажностный режим ограждений оказывает влияние и на долговечность ограждения. В ограждающих конструкциях может оказаться строительная влага (при возведении зданий или при изготовлении сборных железобетонных конструкций), грунтовая влага (вследствие капиллярного всасывания), атмосферная влага (при косом дожде или из-за неисправности кровли), эксплуатационная влага. От всех видов влаги необходимо и возможно избавиться до начала эксплуатации здания. А избавление от конденсационной влаги нужно предусматривать еще в процессе проектирования. Процесс конденсации тесно связан с теплотехническим режимом ограждения. Влага из воздуха может конденсироваться как на внутренней поверхности ограждения, так и в его толще. Влажность воздуха в помещении обусловлена производственными процессами, а также выделением влаги находящимися в помещении людьми, выделением влаги при приготовлении пищи, стирке белья, мытье полов и тому подобное.

Оценка **паропроницаемости** ограждающих конструкций производится по *величине сопротивления паропроницанию*. Для однородного слоя материала сопротивление паропроницанию определяется по формуле [10]

$$R_{\Pi} = \delta / \mu, \quad (2.3)$$

где δ – толщина слоя ограждающей конструкции, м;

μ – коэффициент паропроницаемости материала слоя ограждающей конструкции, мг/(м·ч·Па), который зависит от физических свойств материала и представляет собой количество водяного пара, которое диффундирует в течение 1ч через 1 м² плоской стенки толщиной 1 м при разности упругостей водяного пара с одной и другой ее стороны, равной 1 Па.

Для предупреждения конденсации в толще ограждения более плотные, теплопроводные и малопаропроницаемые материалы должны располагаться у внутренней поверхности ограждения, а у наружной поверхности, наоборот, пористые, малотеплопроводные и более паропроницаемые.

2.3. Тепловой баланс помещений в холодный период года. Расчетная мощность системы отопления

Тепловой режим в зависимости от назначения здания может быть постоянным или переменным. *Постоянный тепловой режим* должен поддерживаться круглосуточно в течение всего отопительного периода в жилых, производственных с непрерывным режимом работы зданиях, детских и лечебных учреждениях, гостиницах, санаториях и др. Для этих целей и проектируется система отопления. Для определения необходимости устройства системы отопления составляют **тепловой баланс** помещений. Для этого определяют теплотери $\Sigma Q_{ном}$, Вт, и тепlopоступления $\Sigma Q_{пост}$, Вт, в помещения. Если теплотери окажутся больше тепlopоступлений, то требуется отопление помещения.

Тепловая мощность системы отопления $Q_{с.о}$ в помещении принимается равной *теплонедостаткам* в нем, то есть

$$Q_{с.о} = \Sigma Q_{ном} - \Sigma Q_{пост}, \quad (2.4)$$

Если в здании (чаще всего эта ситуация характерна для производственных зданий) тепlopоступления $\Sigma Q_{пост}$ больше теплотери $\Sigma Q_{ном}$, то говорят о *теплоизбытках* в помещении, которые устраняются системой приточной вентиляции. В таких помещениях при круглосуточном режиме работы систему отопления не предусматривают.

Переменный тепловой режим характерен для производственных

зданий с одно- и двухсменной работой, а также для ряда общественных зданий. В помещениях этих зданий необходимые тепловые условия поддерживают только в рабочее время. В нерабочее время используют либо имеющуюся систему отопления, либо устраивают *дежурное отопление* для поддержания в помещении температуру воздуха $t_g = + 5^\circ\text{C}$. Если в рабочее время теплопоступления превышают теплопотери, то в здании устраивают только дежурное отопление.

Суммарные теплопотери помещения определяются по формуле

$$\Sigma Q_{пот} = Q_{огр} + Q_{инф} + Q_{мат} + Q_{проч}, \quad (2.5)$$

где $Q_{огр}$ – суммарные потери теплоты в помещении через ограждающие конструкции, Вт;

$Q_{инф}$ – потери теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха, Вт;

$Q_{мат}$ – потери теплоты на нагрев материалов и транспорта, попадающих в помещение снаружи, Вт;

$Q_{проч}$ – прочие теплопотери в помещении, Вт.

Суммарные теплопоступления в помещение

$$\Sigma Q_{пост} = Q_{об} + Q_{мат} + Q_{быт} + Q_{эл} + Q_{чел} + Q_{с.р.} + Q_{проч}, \quad (2.6)$$

где $Q_{об}$ – теплопоступления от технологического оборудования, Вт;

$Q_{мат}$ – теплопоступления от нагретых материалов, Вт;

$Q_{быт}$ – бытовые теплопоступления, Вт;

$Q_{эл}$ – теплопоступления от электрооборудования и освещения, Вт;

$Q_{чел}$ – теплопоступления от людей, Вт;

$Q_{с.р.}$ – теплопоступления от солнечной радиации, Вт;

$Q_{проч}$ – прочие теплопоступления в помещение, Вт.

Для кухонь и комнат жилых зданий учитываются только теплопотери через ограждения и на нагрев инфильтрующегося воздуха и теплопоступления от бытовых приборов. И тогда выражение (2.4) с учетом (2.5) и (2.6) для таких помещений примет вид

$$Q_{с.о} = Q_{огр} + Q_{инф} - Q_{быт}. \quad (2.7)$$

Потери теплоты помещениями **через ограждающие конструкции** разделяются условно на основные и добавочные.

Основные теплопотери определяют отдельно для каждого наружного ограждения, а затем суммируют. Методика расчета потерь теплоты через ограждения приводится в приложении Ж [4]. Потери теплоты через ограждение определяются по формуле

$$Q_{огр} = \frac{F}{R_T} (t_{в} - t_{ext}) (1 + \Sigma \beta) \cdot n, \quad (2.8)$$

где F – площадь ограждающей конструкции, м²;

R_T – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, (м²·К)/Вт;

$t_{в}$ – температура внутреннего воздуха, °С;

t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха, принимаемая равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, при расчете потерь теплоты через наружные ограждающие конструкции, или температуре воздуха более холодного помещения – при расчете потерь теплоты через внутренние ограждающие конструкции, °С;

n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху;

β – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь.

Добавочные теплопотери принимаются в долях от основных потерь теплоты и учитывают ориентацию ограждений по сторонам света, продуваемость помещений с двумя наружными стенами и более, подогрев врывающегося воздуха через наружные двери или ворота. Значения добавочных потерь приведены в приложении Ж [4].

Затраты теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха в жилых и общественных зданиях без организованного притока и с естественной вытяжкой принимаются, согласно методике, приведенной в приложении К [4], равными большей из величин, полученных по следующим формулам

$$Q_{инф} = 0,28 \cdot \Sigma G_{инф} \cdot c \cdot (t_{в} - t_{н}) \cdot k, \quad (2.9)$$

$$Q_{инф} = 0,28 \cdot L \cdot \rho_n \cdot c \cdot (t_{в} - t_{н}), \quad (2.10)$$

где $\Sigma G_{инф}$ – расход инфильтрующегося воздуха, кг/ч, через ограждающие конструкции помещения;

c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/кг·°С;

t_e – температура внутреннего воздуха, °С;

t_n – расчетная температура наружного воздуха, °С;

k – коэффициент, учитывающий влияние встречного теплового потока в конструкциях;

L – расход удаляемого воздуха, м³/ч, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, принимаемый из расчета 3 м³/ч на 1 м² площади пола помещения;

ρ_n – плотность наружного воздуха, кг/м³.

Методика расчета других видов теплотерь в помещении приведена в главе 8 [14].

Для жилых зданий учитываются **бытовые теплопоступления** в кухнях и жилых комнатах в размере 21 Вт на 1 м² площади пола [4]

$$Q_{быт} = 21 \cdot F_n, \quad (2.11)$$

где F_n – площадь пола помещения, м².

Методика определения остальных видов теплопоступлений в помещении приведена в главе 2 [15].

Для оценки теплотехнических показателей принятого конструктивно-планировочного решения введено понятие **удельного расхода тепловой энергии** q_A , Вт·ч/(м²·°С·сут), и q_V , Вт·ч/(м³·°С·сут), определяемого по формулам [4]

$$q_A = \frac{Q_s}{A_{bu} D} \cdot 10^3, \quad (2.12)$$

$$q_V = \frac{Q_s}{V_{bu} D} \cdot 10^3, \quad (2.13)$$

где Q_s – суммарный годовой расход тепловой энергии на отопление здания, кВт·ч;

A_{bu} – отапливаемая площадь здания, м², определяемая по внутреннему периметру наружных вертикальных ограждающих конструкций;

V_{bu} – отапливаемый объем здания, м³;

D – количество градусо-суток отопительного периода, °С·сут.

Значение расхода тепловой энергии не должно превышать средних значений, приведенных в приложении А [4], а поэтому еще на стадии проектирования и разработки объемно-планировочных и конструктивных решений здания инженеры-строители должны учитывать факторы, влияющие на эту величину. К этим факторам можно отнести объем и форму здания, степень остекления, площадь наружных ограждений и вид их теплозащиты.

Значение удельного расхода тепловой энергии может быть использовано и для определения ориентировочных потерь теплоты помещения (расчет по укрупненным показателям).

2.4. Летний тепловой режим зданий

Особенностью летнего теплового режима зданий является определение теплопоступлений от солнечной радиации. Она имеет периодический характер в течение суток, что приводит к нестационарности процессов теплообмена в летний период. В жаркие летние месяцы здания подвергаются перегреву, что приводит к созданию дискомфортных тепловых условий, и, как следствие, к существенной перенапряженности системы терморегуляции человека.

Второй особенностью летнего режима является влияние архитектурно-планировочных и конструктивных решений здания.

В результате больших теплопоступлений от солнечной радиации в летний период года здания могут перегреваться, что приводит к нарушению микроклимата в помещениях. Поэтому основными системами, поддерживающими тепловой и воздушный режимы в здании в теплый период, являются **системы вентиляции и кондиционирования воздуха**. Эти системы позволяют удалить из помещений горячий загрязненный воздух, заменяя его чистым и охлажденным. Расчетная мощность системы вентиляции $Q_{вент}$ определяется исходя из суммарных теплопоступлений через ограждения от солнечной радиации $Q_{с.р}$ и от технологического оборудования $Q_{техн}$, которые необходимо из помещения удалить

$$Q_{вент} = Q_{с.р} + Q_{техн}. \quad (2.14)$$

Так как теплопоступления от солнечной радиации неравномерны в

течение суток, то в расчет чаще всего принимается максимальное за сутки значение теплопоступлений [12].

Кроме того, так как немаловажное значение имеют конструктивные и планировочные решения здания, поэтому они должны быть выполнены при проектировании с учетом снижения теплопоступлений в помещения. к таким мероприятиям относится устройство всевозможных средств тепло- и солнцезащиты зданий, козырьков, жалюзи. Эти мероприятия позволяют не только снизить теплопоступления в помещения, но и уменьшить расчетную нагрузку на системы вентиляции и кондиционирования воздуха, что ведет к снижению затрат энергии холода и электрической энергии.