

ГЛАВА 7. ЛЕТНИЙ ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПОМЕЩЕНИЯ

Теплый период года, в общем, является более благоприятным по комфортности тепловых условий для человека, чем холодный. Однако в жаркие летние месяцы здания, расположенные в южных районах, подвергаются значительному перегреву.

Ограждения защищают помещения от интенсивного облучения солнца и нагретого наружного воздуха. Специфичным для летнего режима зданий является определяющая роль тепlopоступлений от солнечной радиации. Суточная ее периодичность приводит к типичной для летнего режима нестационарности всех процессов теплообмена.

Тепловой режим помещений здания должен соответствовать определенным требованиям. Для удовлетворения их используют средства тепло- и солнцезащиты зданий в виде теплоустойчивых, орошаемых водой и вентилируемых ограждений, затеняющих устройств, солнцезащитных стекол и т.д. Помещения охлаждаются наружным воздухом, используя ночное проветривание и работу общеобменной системы вентиляции, а также с помощью специальных систем кондиционирования микроклимата (системы кондиционирования воздуха, системы охлаждения, в том числе панельно-лучистые и др.).

Применение систем кондиционирования значительно увеличивает общую стоимость сооружения здания и поэтому для защиты от перегрева следует использовать, прежде всего, конструктивно-планировочные меры и организованное проветривание. Во многих случаях эти меры оказываются достаточными для обеспечения нужных внутренних условий. В зданиях повышенной комфортности применяют системы регулируемого кондиционирования микроклимата.

Одна из задач проектирования зданий и систем кондиционирования микроклимата состоит в выявлении возможного теплового режима при различных мерах его обеспечения и в выборе экономически целесообразного варианта, обеспечивающего заданные внутренние условия. Последовательность решения поставленной задачи обычно бывает следующей. Принимаются расчетные (допустимые или оптимальные) внутренние тепловые условия и коэффициент их обеспеченности. С учетом принятого коэффициента обеспеченности устанавливаются расчетные параметры наружных условий. Производится расчет естественного теплового режима помещений при различных конструктивно-планировочных мерах защиты и проветривания. Устанавливается достаточность такого решения

для поддержания расчетных внутренних условий или выявляется необходимость устройства системы регулируемого кондиционирования микроклимата. Определяется расчетный режим системы регулируемого кондиционирования, при котором обеспечиваются оптимальные условия в помещении.

7.1 Расчетные летние внутренние условия и их обеспеченность

Выбор расчетных внутренних условий для летнего периода года имеет специфичность. Он должен проводиться с учетом следующих факторов: 1) назначения здания и помещения; 2) климата географического района строительства; 3) нестационарности летних условий; 4) градаций уровней требований и способа обеспечения заданных условий; 5) выполняемой человеком работы и степени ее физической тяжести; 6) наличия больших нагретых или охлажденных поверхностей; 7) длительности пребывания людей; 8) требования обеспеченности расчетных условий.

За основу определения внутренних условий удобно принять условия для наиболее распространенного случая основных помещений жилых и общественных зданий, расположенных в умеренном климате, с учетом нестационарности условий, для двух уровней требований при их обеспечении средствами вентиляции и кондиционирования воздуха. По принятым сейчас рекомендациям их ориентировочные значения приведены в табл.7.1.

Таблица 7.1

Расчетные внутренние условия для основных помещений жилых и общественных зданий в умеренном климате

Расчетные внутренние условия и средства их обеспечения	Расчетные параметры микроклимата			
	температура помещения $t_n, ^\circ\text{C}$		относительная влажность воздуха $\phi, \%$	подвижность воздуха $v_g, \text{м/с}$
	t_{n0}	A_{t_n}		
Оптимальные условия – регулируемая система кондиционирования	25	1	40-60	<0,3
Допустимые условия – система вентиляции	+3	4	-	<0,5
* Температура помещения $t_n = (t_g + t_R) / 2$				
** Среднесуточное значение температуры наружного воздуха, t_{n0}				

Если t_n устойчиво превышает 30^0C , то расчетная температура помещения t'_n должна отличаться от t_n в табл. 7.1 и быть равной

$$t'_n \approx t_n + 0,5(t_n - 30). \quad (7.1)$$

В обычных условиях приведенные данные о t_n могут приниматься в расчете равными t_{θ} , но при наличии в помещении больших нагретых (два или более наружных ограждений, большие остекленные поверхности) или охлажденных (потолочно-лучистое охлаждение помещения) поверхностей радиационная температура t_R может заметно отличаться от температуры воздуха t_{θ} . В этом случае требуется проверка выполнения в помещении первого и второго условий комфортности с учетом степени физической тяжести выполняемой человеком работы.

В этой связи следует также иметь в виду дополнительные требования к выбору места расположения охлаждающих устройств в помещении. Их нельзя располагать в конструкции пола или непосредственно у пола по периметру помещения, т.к. это может вызвать недопустимое переохлаждение пола и воздуха у его поверхности. В помещении недопустим большой перепад температуры по высоте. Разница температуры воздуха на уровне ног и головы человека не должна быть более $2,5^0\text{C}$. Проверка этого требования особенно важна при устройстве совмещенной системы отопления и охлаждения помещений.

Длительность пребывания ($\Delta z_{\text{преб}}$) людей в помещении необходимо учитывать при $t_n > 30^0\text{C}$. Температура помещения t''_n в этом случае должна быть с учетом (7.1) приблизительно равной

$$t''_n \approx t'_n + c(t_n - 30) = t_n + (0,5 + c)(t_n - 30), \quad (7.2)$$

где c – численный коэффициент, равный 0,3 при $\Delta z_{\text{преб}}$ до 1 ч и 0,1 – при $\Delta z_{\text{преб}}$ до 3 ч.

Летом, так же как и зимой (см. гл. 6), необходимо определять требуемую обеспеченность поддержания заданных внутренних условий. Для летних условий особенно необходимо задавать коэффициент обеспеченности и по числу n случаев ($K_{\text{об},n}$) и по продолжительности (Δz) отклонений ($K_{\text{об},\Delta z}$). Коэффициент обеспеченности по числу случаев равен

$$K_{\text{об},n} = (N - n) / N, \quad (7.3)$$

а по продолжительности отклонений

$$K_{об\Delta z} = (Z - \Delta z) / Z, \quad (7.4)$$

где N и Z – соответственно общее число случаев и общая продолжительность во времени для принятого сезонного периода года; n и Δz – соответственно число случаев и продолжительность отклонения условий от расчетных.

Обеспеченность поддержания условий в помещении зависит от теплозащиты ограждающих конструкций, тепловой и холодильной мощности систем обеспечения микроклимата, которые выбираются по расчетным наружным условиям. Поэтому требование обеспеченности расчетных внутренних условий должно учитываться при выборе расчетных характеристик наружного климата.

В действующих нормах приняты три градации климата (A , B и B) для расчета систем обеспечения микроклимата. Их приближенно можно определить коэффициентами обеспеченности. В табл. 7.2 приведены рекомендуемые градации обеспеченности расчетных внутренних условий для летнего периода (в развитие табл. 7.1).

Таблица 7.2

Требуемая обеспеченность и ее связь с градациями климата

Уровень требований	$K_{об,n}$	$\Delta z, ч$	$K_{об, \Delta z}$	Градация климата (приблизительно)
Повышенный (П)	≈ 1	≈ 0	≈ 1	В
Высокий (В)	0,9	≈ 50	$\approx 0,98$	Б
Средний (С)	0,7	≈ 200	$\approx 0,92$	-
Низкий (Н)	0,5	≈ 400	$\approx 0,8$	А

Для промышленных зданий уровень требований к обеспеченности в определенной мере может быть связан с допустимыми колебаниями температуры, которые часто определены в технологическом задании на проектирование. Требования обеспеченности для промышленных зданий даны в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Требования обеспеченности для промышленных зданий

Вид требований	Уровень требований	Допустимые амплитуды колебания	$K_{об,n}$
Технологические	Повышенный	0,1	1
	Высокий	0,5	0,9
	Средний	1,0	0,9
Оптимальные условия для работающих	Высокий	1,0	0,9
	Средний	1,5	0,7
Допустимые условия для работающих	Низкий	2 и более	0,5

7.2 Характеристики наружного климата

Важными характеристиками климата летнего периода являются солнечная радиация и температура наружного воздуха. При расчете кондиционирования воздуха необходимо иметь также данные о тепловлажностном состоянии наружного воздуха.

Для оценки теплозащитных качеств ограждений и определения поступлений теплоты в помещения, а также для выбора производительности вентиляции и холодильной мощности системы кондиционирования микроклимата необходимо иметь характеристики климата для расчетного, наиболее жаркого периода лета. Расчетные летние условия должны быть определены наиболее невыгодным сочетанием параметров климата, выбранным с различной обеспеченностью для расчетного периода.

Методика выбора сочетаний характеристик климата с заданным коэффициентом обеспеченности была подробно рассмотрена на примере холодного периода года в п.б.2. Следуя принятой методике, за расчетный случай принимаем наиболее жаркие сутки, т.к. для условий устойчивого жаркого летнего периода характерными являются периодические суточные изменения. Для получения расчетных параметров климата при разных $K_{об}$ принимаем за ряд случаев все сутки календарных (июнь, июль, август) летних месяцев предшествующего периода наблюдений.

Прежде всего, должны быть определены расчетные изменения температуры и интенсивности падающей на ограждения солнечной радиации.

Температурные наблюдения на многих метеорологических станциях ведутся длительное время, поэтому для определения расчетных наружных температур можно принять данные наблюдений за июнь, июль и август

последних 25 лет, всего $(2 \cdot 31 + 30) \cdot 25 = 2300$ отсчетов по каждому сроку наблюдения. Значения температур по каждому сроку наблюдения располагают в убывающий статистический ряд.

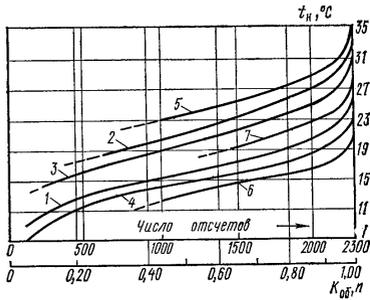


Рис. 7.1 – Убывающие статические ряды срочных температур: 1 – в 7ч; 2 – в 13ч; 3 – в 19ч; 4 – в 1ч; 5 – максимальные температуры в летние месяцы; 6 – то же, минимальные; 7 – то же, среднесуточные

По данным этого графика построены кривые изменения наружной температуры в течение расчетных суток (рис.7.2); каждая кривая соответствует определенному коэффициенту обеспеченности.

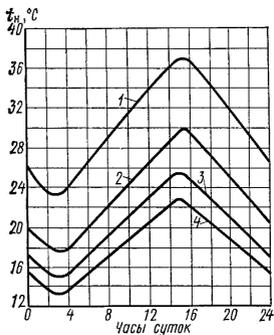


Рис. 7.2 – Кривые изменения температуры в летние сутки для Москвы при коэффициентах обеспеченности $K_{об,н}$ равных: 1 – 0,999; 2 – 0,9; 3 – 0,7; 4 – 0,5

На рис. 7.1 для условий Москвы приведено графическое изображение убывающих рядов для четырех сроков наблюдений (в 1,7, 13 и 19ч каждых суток), а также для значений максимальных, минимальных и средних за сутки температур. На вертикальной оси графика отложены значения температур, по горизонтальной оси – порядковые номера отсчетов температур в убывающем ряду. На горизонтальной оси дана вторая шкала – значения коэффициентов обеспеченности $K_{об}$ которым соответствует отношение порядкового номера ко всему количеству отсчетов в ряду.

Как видно из рисунка, кривые суточного изменения температур близки по очертанию к правильным гармоническим колебаниям (максимальные значения температур отнесены к 15ч). Эти кривые полностью определяются тремя параметрами: средней за сутки температурой $t_{н0}$, амплитудой суточного изменения температуры A_{t_n} и временем суток максимального значения наружной температуры $\Delta z_{t_n}^{max}$.

Для получения расчетных значений интенсивности падающей на ограждение солнечной радиации необходимо использовать данные актинометрических наблюдений о суммарной q (прямой и рассеянной) солнечной радиации. Как известно, интен-

сивность солнечной радиации зависит от облачности, прозрачности атмосферы, времени года и суток, широты местности и пр. Корреляционная связь между срочными значениями температуры и интенсивностью солнечной радиации незначительная, поэтому t_n и q можно считать независимыми событиями. Здесь имеется в виду практическое отсутствие зависимости срочных значений интенсивности суммарной радиации от температуры воздуха. Вообще в годовом и суточном ходе изменение поступлений теплоты от солнца не только связано, но и определяет колебания температуры наружного воздуха. Но в определенный час(срок) и день безоблачных летних суток интенсивность суммарной солнечной радиации практически не зависит от температуры воздуха.

При заданном коэффициенте обеспеченности сочетания t_n и q определяются как

$$K_{o\bar{o}}(t_n, q) = K_{o\bar{o}}(t_n) K_{o\bar{o}}(q). \quad (7.5)$$

Для получения $K_{o\bar{o}}(t_n, q)$ можно принять $K_{o\bar{o}}(q) = 1$, тогда

$$K_{o\bar{o}}(t_n, q) = K_{o\bar{o}}(t_n). \quad (7.6)$$

Рассматривая обеспеченность совместного действия t_n и q , в качестве расчетных берем максимальные значения интенсивности суммарной солнечной радиации, соответствующие $K_{o\bar{o}}(q) = 1$.

Расчет прямой солнечной радиации, поступающей на вертикальные поверхности, проводится по формуле

$$S_g = S \cos \theta \quad (7.7)$$

где S – интенсивность прямой солнечной радиации, падающей на перпендикулярную солнечным лучам поверхность (она обычно измеряется на метеостанциях); θ – угол падения солнечных лучей на поверхность.

Величину S принимают по данным фактических наблюдений актинометрической сети. Если эти данные отсутствуют, то ее можно определить по эмпирической формуле

$$S = \frac{S_0 \sinh}{\sinh + c} \quad (7.8)$$

где S_0 – солнечная постоянная на границе атмосферы, равная 1260-1390Вт/м²; h – угол высоты стояния солнца; c – эмпирический коэффициент, характеризующий прозрачность атмосферы (табл. 7.4).

Таблица 7.4

Значения коэффициента c при солнечной постоянной $S_0=1260\text{Вт/м}^2$

Географическая широта	Угол высоты стояния солнца h , град		
	10	30	50
38	0,369	0,382	0,402
46	0,351	0,382	0,415
54	0,292	0,373	0,402
62	0,265	0,326	0,355

Интенсивность потоков рассеянной радиации от различных точек небосвода неодинакова. Эта неоднородность в реальной атмосфере становится крайне сложной. При определении рассеянной радиации, поступающей на вертикальные поверхности, часто исходят из экспериментально определенных величин рассеянной радиации, падающей на горизонтальную поверхность. По другой методике, используя данные об освещенности вертикальных поверхностей различной ориентации рассеянным светом, принимают световой поток пропорциональным энергетическому потоку рассеянной радиации.

На рис. 7.3 приведены расчетные кривые суточного изменения прямой и рассеянной солнечной радиации на горизонтальные и вертикальные (различно ориентированные) поверхности для условий Москвы. Кривые имеют периодический характер и, хотя они отличаются от правильных гармонических, суммарную радиацию, так же как и изменения t_{nb} , часто можно определить тремя характеристиками: среднесуточной интенсивностью суммарной радиации q_0 , амплитудой ее изменения A_q и временем максимума радиации $Z_q^{макс}$. Величину A_q можно определить в виде

$$A_q = q_{макс} - q_0 \quad (7.9)$$

где $q_{макс}$ – максимальная интенсивность суммарной радиации.

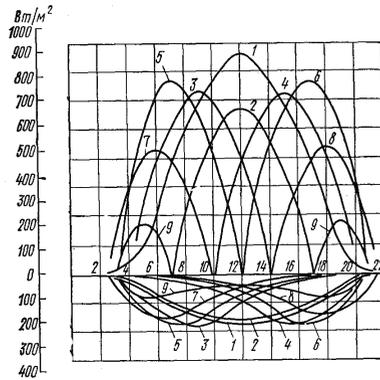


Рис. 7.3 – Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации на 56° с.ш., поступающей при безоблачном небе в июне месяце (по расчету). Прямая (вверх) и рассеянная (вниз) радиации на поверхности: 1– горизонтальную и вертикальные, ориентированные: 2– на юг; 3– юго-восток; 4– юго-запад; 5– восток; 6– запад; 7– северо-восток; 8– северо-запад; 9– север.

В результате статистической обработки можно получить суточный ход интенсивности солнечной радиации на различно ориентированные поверхности с различным $K_{об}(q)$. На рис. 7.4 приведены такие данные для горизонтальной поверхности в Москве.

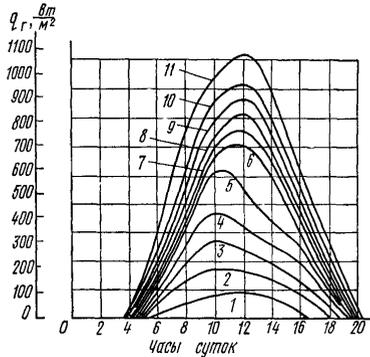


Рис. 7.4 – Кривые, суточного хода интенсивности суммарной солнечной радиации для горизонтальных ограждений в Москве с $K_{об}$, равным: 1– 0,1; 2– 0,2; 3– 0,3; 4– 0,4; 5– 0,5; 6– 0,6; 7– 0,7; 8– 0,8; 9– 0,9; 10– 0,95; 11– 0,999

Реакция помещения на изменения температуры наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации не одинакова. В результате анализа

зависимости $K_{об}$ внутренних условий от этих изменений, проведенного с учетом повторяемостей возможных сочетаний t_n и q можно найти расчетные сочетания температуры наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации, соответствующие рекомендуемым коэффициентам обеспеченности внутренних условий.

При расчете теплопоступления через массивное ограждение, которое является своеобразным гармоническим фильтром для неправильных периодических воздействий или при расчете теплопередачи через окно с учетом рассеянной и поглощенной радиации, амплитуду изменения радиации лучше определять иначе. Ее нужно рассчитать из условия равенства площадей (в данном случае площадь – это произведение qz), очерченных фактической кривой изменения q и заменяющей ее косинусоидой. В этом случае амплитуда A_q равна

$$A_q = \frac{T - m'}{T} \pi q_0 \quad (7.10)$$

где m' – продолжительность действия прямой радиации, ч.

При расчете непосредственно проникающей через окна солнечной радиации фактическую кривую лучше заменить равновеликим по площади прерывистым теплопоступлением, приняв, например, величину прерывистого теплопоступления равной $q_{макс}$ и определив продолжительность его действия или приняв продолжительность равной m' и определив величину прерывистого теплопоступления.

За расчетную летнюю скорость ветра v_n принимают наименьшую среднесуточную скорость ветра в июле, которая будет соответствовать обеспеченности $K_{об}(v_n)$ около единицы.

По данным наблюдений, в устойчивый жаркий период года происходят регулярные суточные изменения влажности воздуха. В атмосфере изменения параметров воздуха близки к адиабатическим. Однако в приземном слое эти изменения отклоняются от адиабаты за счет тепло- и массообмена воздуха с поверхностью земли. Суточный ход относительной влажности φ_n воздуха связан с изменением температуры. Почти всегда колебания φ_n обратны изменениям t_n и имеют минимум около 15 ч и максимум сразу после восхода солнца.

Для расчетных суток можно принять три характеристики изменения влажности и энтальпии воздуха: среднюю за жаркие сутки, амплитуду изменения и время максимального значения φ_n .

В настоящее время в нормах расчетные характеристики тепло-влажностного состояния воздуха (температура t_n и энтальпия J_n) даются для трех категорий климата A , B и B (см. табл. 7.2). Параметры A соответствуют средней температуре и средней энтальпии воздуха в 13 ч самого жаркого месяца (июль). Отклонение от этих значений в сторону более высоких наблюдается в среднем 400ч за год. Параметры B соответствуют максимальным значениям температуры и энтальпии. Параметры B определены как средние по A и B , и им соответствует отклонение в сторону больших значений продолжительностью в среднем 200 ч.

7.3 Проверка теплозащитных свойств ограждений для теплого периода года

Ограждения должны препятствовать поступлению теплоты в помещения в условиях типичной для летнего режима периодичности изменения наружных климатических условий. Колебания температуры τ_b на внутренней поверхности массивных непрозрачных ограждений непосредственно влияют на тепловой режим помещения, поэтому теплозащитные свойства ограждения должны прежде всего лимитироваться допустимой величиной колебания τ_b .

По опыту эксплуатации зданий и по действующим рекомендациям амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций A_{τ_g} зданий, расположенных в районах со среднемесячной температурой июля 20°C и выше, не должна быть больше допускаемой, которая определяется по формуле

$$A_{\tau_g}^{don} = 2,5 - 0,1(t_n - 21) \quad (7.11)$$

Расчет необходимой теплоустойчивости ограждений для обеспечения допустимых значений A_{τ_g} проводится при постоянной температуре помещения $t_n = const$ и в условиях расчетных изменений температуры наружного воздуха и интенсивности падающей на ограждение солнечной радиации. Фактические колебания температуры τ_b будут иными, чем полученные таким расчетом, т.к. температурные условия в помещении изменяются. Эти изменения могут увеличивать или уменьшать колебания температуры на поверхности ограждения.

Для помещений, оборудованных летним кондиционированием микроклимата, важным показателем (кроме A_{τ_g}) является сопротивление теплопередаче ограждения R_0 . Чем больше R_0 , тем меньше теплоты поступает в помещение, что уменьшает холодильную мощность системы кондиционирования. Стоимость холода значительно больше стоимости теплоты, поэтому в зданиях с летним кондиционированием определяющими при выборе R_0 обычно (в отличие от зимних условий) являются не санитарно-гигиенические, а экономические требования.

Значительные поступления теплоты в помещение происходят через окна и другие лучепрозрачные ограждения. Регламентация по теплозащите окон носит общий характер: светопроемы в жарких южных районах должны иметь солнцезащитные устройства, исключающие попадание прямых солнечных лучей в помещения; желательно применять специальные солнцезащитные стекла и необходимо ограничивать площадь остекления допустимой величиной естественного освещения помещений. Необходимость и достаточность мер по защите светопрозрачных проемов и всего здания от перегрева должны оцениваться расчетом теплового режима помещений.

7.4 Расчет поступления теплоты в помещение через наружные ограждения

В тепловом балансе современных зданий существенную роль играют теплопоступления через наружные ограждения. Приток теплоты через ограждения является нестационарным и зависит от изменений температуры наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации.

Помещение может иметь ограждения двух характерных категорий: массивные непрозрачные (наружные стены и перекрытия) и немассивные лучепрозрачные (окна, витражи, фонари). Теплопередача через них происходит различно.

На рис.7.5 показана схема, поясняющая принятую последовательность расчета поступлений теплоты в помещение.

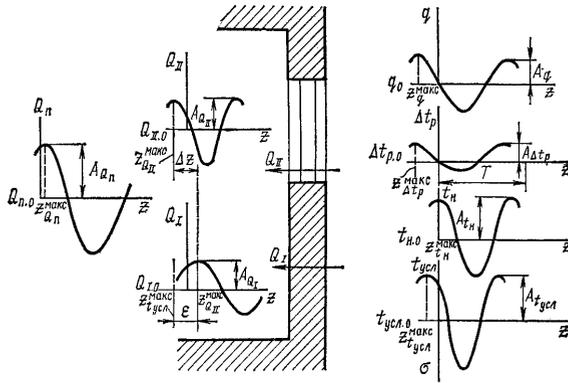


Рис. 7.5 – Схема последовательности расчета поступления теплоты в помещение через наружные ограждения

Поступления теплоты через массивные непрозрачные ограждения. Изменения температуры наружного воздуха в расчетные летние сутки были определены ранее среднесуточной величиной $t_{н0}$ и амплитудой изменения $A_{нн}$. Интенсивность суммарной радиации характеризуется среднесуточным значением q_0 и амплитудой изменения интенсивности A_q . Теплопередачу через ограждение при совместном действии разности температур и теплового облучения наружной поверхности можно рассчитать, пользуясь

понятием условной температуры наружного воздуха $t_{усл}$, равной

$$t_{усл} = t_{н0} + \Delta t_p = t_{н0} + pq / \alpha_n \quad (7.12)$$

где $\Delta t_{p0} = pq_0 / \alpha_n$ – температурная добавка, эквивалентная действию солнечной радиации;

α_n – коэффициент теплообмена на наружной поверхности ограждения; p – коэффициент поглощения теплоты солнечной радиации поверхностью.

В условиях стационарной теплопередачи поток теплоты, проходящий через ограждение, при совместном действии разности температур и потока теплоты солнечной

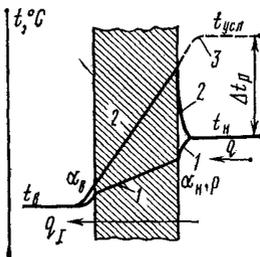


Рис. 7.6 – Распределение температуры в сечении ограждения при наличии только разности температур (1), при совместном действии разности температур и падающего на поверхность потока солнечной радиации (2) и распределение с использованием условной наружной температуры (3)

радиации определится (рис.7.6) разностью условной температуры наружного воздуха и температуры помещения.

При нестационарной теплопередаче значение $t_{усл}$ изменяется во времени. В течение суток величина Δt_p изменяется так, что во времени ее колебания совпадают с q . Среднее за сутки значение Δt_{p0} и амплитуда $A_{\Delta t_p}$ равны

$$\Delta t_{p0} = pq_0 / \alpha_n \quad (7.13)$$

$$A_{\Delta t_{p0}} = pA_q / \alpha_n \quad (7.14)$$

Для того чтобы получить $t_{усл}$, воспользуемся правилом сложения гармоник, в данном случае t_n и Δt_p . Изменение $t_{усл}$ определяется средним за сутки значением условной температуры

$$t_{усл0} = t_{n0} + \Delta t_{p0} = t_{n0} + pq_0 / \alpha_n; \quad (7.15)$$

амплитуда колебания условной температуры

$$A_{t_{усл}} = (A_{t_n} + A_{\Delta t_p}) \psi; \quad (7.16)$$

и временем суток максимума $t_{усл}$

$$z_{t_{усл}}^{макс} = z_{t_n}^{макс} \pm \sigma \quad (7.17)$$

где σ – величина сдвига по времени колебания $t_{усл}$ относительно слагаемого колебания с большей амплитудой ($z_{t_n}^{макс}$). Величину σ и коэффициент ψ определяют по графику в зависимости от отношения амплитуд $A_{\Delta t_p}$ и

$$A_{t_n} \text{ и разницы во времени колебаний } t_n \text{ и } \Delta t_p, \Delta z = \left| z_{t_n}^{макс} - z_{\Delta t_p}^{макс} \right|.$$

Колебания температуры на внутренней поверхности ограждения τ_e зависят от изменений условной наружной температуры $t_{усл}$ и их можно определить по формуле (5.11), зная показатели сквозного затухания ν и сдвига по фазе ϵ для данного ограждения.

Поступления теплоты Q_I через всю площадь F_I массивного непрозрачного (обозначено Γ) ограждения (например, для наружной стены) будут изменяться, следуя за τ_e по закону гармонического колебания. Среднее за сутки значение теплоступлений Q_{I0} равно

$$Q_{I0} = \alpha_{\epsilon I} (\tau_{I0} - t_n) F_I = K_I (t_{\text{усл}I0} - t_n) F_I. \quad (7.18)$$

Амплитуда колебаний этих теплопоступлений A_{Q_I} равна

$$A_{Q_I} = \alpha_{\epsilon} A_{\tau_I} F_I = \alpha_{\epsilon} \frac{A_{t_{\text{усл}I}}}{V} F_I. \quad (7.19)$$

Максимальное поступление теплоты через ограждение равно

$$Q_I^{\text{макс}} = Q_{I0} + A_{Q_I}. \quad (7.20)$$

Во времени они будут на ϵ , ч, позднее максимума условной температуры

$$z_{Q_I}^{\text{макс}} = z_{t_{\text{усл}}}^{\text{макс}} + \epsilon. \quad (7.21)$$

Текущие значения Q_I в произвольный момент времени Z равно

$$Q_I = Q_{I,0} + \beta A_{Q_I}, \quad (7.22)$$

где β – коэффициент, равный косинуса угла для гармонически изменяющейся части теплового потока.

Поступления теплоты через светопрозрачные ограждения. Основные поступления теплоты в помещение летом происходят через окно. В помещение поступает коротковолновое излучение, непосредственно проникающее ($q_{II,p}$) через остекление, а также конвективная теплота и длинноволновое излучение ($q_{II,m}$) за счет разности температур и поглощенной солнечной теплоты элементами заполнения оконного проема. Результирующую плотность потока теплоты через окно q_{II} можно представить (рис. 7.7) суммой:

$$q_{II} = q_{II,p} + q_{II,m} = (q_s + q_D + q_R) + (q_{\Delta t} + q_{\text{ноз}}) \quad (7.23)$$

где q_s , q_D , q_R – составляющие проникающей радиации $q_{II,p}$ соответственно под влиянием прямой (S), рассеянной (D) и отраженной (R) солнечной ра-

диации; $q_{\Delta t} \cdot q_{\text{пог}}$ – составляющие потока теплоты в результате теплопередачи $q_{\text{п,т}}$ соответственно за счет разности температур и поглощенного элементами заполнения солнечной теплоты.

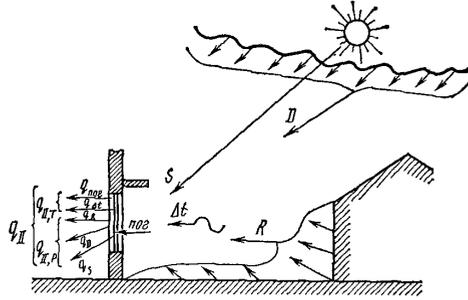


Рис. 7.7 – Влияющие факторы и составляющие теплопоступлений через окно

Интенсивность проникающей радиации для вертикального оконного проема обычно определяется в виде

$$q_{\text{п,р}} = (S_{\delta} K_{n,s} + D_{\delta} K_{n,D} K_{\text{обл}} K_R) K_{\text{пер}} K_{\text{загр}} K_{\text{атм}}. \quad (7.24)$$

В этой формуле $q_{\text{п,р}}$ зависит от интенсивности прямой (S_{δ}) и рассеянной (D_{δ}) радиации на вертикальную поверхность, коэффициентов пропускания заполнения ($K_{n,s}$ и $K_{n,D}$), влиянием отраженной радиации (K_R) влиянием переплетов окна ($K_{\text{пер}}$), его загрязнения ($K_{\text{загр}}$) и загрязнения атмосферы ($K_{\text{атм}}$). Основное влияние на $q_{\text{п,р}}$ оказывают степень освещенности (инсоляции) солнцем поверхности окна ($K_{\text{инс}}$) и его облученность рассеянной радиацией небосвода ($K_{\text{обл}}$).

Коэффициент инсоляции $K_{\text{инс}}$ равен отношению освещенной солнцем площади окна ко всей его площади. Его расчет связан с построением теней, падающих на поверхность окна от солнцезащитных устройств, откосов и т.д. Для того чтобы построить тень от любого затеняющего устройства, достаточно уметь определять тень от вертикального отрезка длиной l на поверхности любой ориентации. Длина тени l' и ее положение определяются (рис. 7.8) зависимостями:

$$l'/l = \text{tg} \alpha / \cos \psi; \quad \psi = \arctg(\sin \alpha \text{ctg} \theta), \quad (7.25)$$

где α – солнечный азимут стены; h – угол высоты стояния солнца.

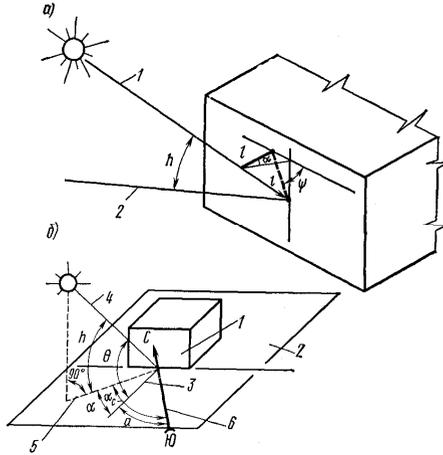


Рис. 7.8 – К расчету инсоляции вертикальных ограждений: а – построение тени (l^{\prime} : 1 – направление солнечного луча, 2 – линия горизонта; б – определение солнечных углов: 1 – вертикальная поверхность; 2 – горизонтальная плоскость; 3 – перпендикуляр к вертикальной плоскости; 4 – солнечный луч; 5 – горизонтальная проекция солнечного луча; б – ось юг-север в горизонтальной плоскости; h – угол высоты стояния солнца; a_c – азимут солнца; a – солнечный азимут стены; θ – угол падения солнечных лучей на поверхность.

Умение рассчитывать коэффициент инсоляции и его изменение во времени позволяет правильно запроектировать солнцезащитные устройства, которые часто являются определяющими среди средств защиты здания от перегрева летом. В то же время они должны быть запроектированы так, чтобы не препятствовать попаданию солнечных лучей в помещение зимой.

Коэффициент облученности $K_{обл}$ окна небосводом (рис. 7.9), исходя из закона замкнутости лучистых потоков равен

$$K_{обл} = \varphi_{ок-неб} = 1 - \sum \varphi_{ок-i} \quad (7.26)$$

где φ – коэффициент облученности с поверхности окна в сторону небосвода (неб.) и других окружающих его поверхностей.

Теплопередача через окно за счет разности температур и поглощенной теплоты может быть рассчитана по уравнениям теплообмена и теплового баланса одинарного или двойного остекления с учетом теплоты солнечной радиации, поглощенной стеклами. Так, например, подобное решение для двойного остекления приводит к следующему результату

$$q_{II,m} = (q_{noz} + q_{\Delta t}) = (0,17P_1 + 0,636P_2)q + 2,5(t_n - t_e), \quad (7.27)$$

где P_1 и P_2 – коэффициенты поглощения соответственно первого и второго по ходу солнечного луча остекления (для обычного оконного стекла $P \approx 0,07$).

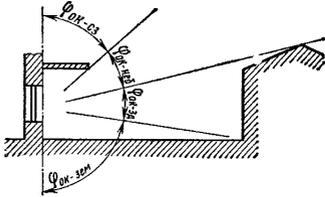


Рис. 7.9 – Коэффициенты облученности с поверхности окна в сторону солнцезащитного устройства (сз), небосвода (неб), соседнего здания (зд), земли (зем)

Из (7.27) следует, что поглощение теплоты вторым стеклом является основной составляющей $q_{II,m}$. Следовательно, при применении специальных (поглощающих или отражающих) стекол необходимо иметь в виду, что второе стекло не должно быть поглощающим, желательно, чтобы оно было отражающим солнечные лучи.

Следует отметить, что все составляющие теплопоступления через окно в уравнении (7.23) могут иметь заметную долю в общем потоке теплоты.

Так, например, участие каждой из составляющих, Вт/м², для двойного остекления в Москве в летних условиях оказывается следующим

q_{II}	$q_{II,p}$	q_S	q_D	q_R	$q_{II,m}$
291	253	151	44	58	38
100%	87%	52%	15%	20%	13%

При общем приближенном расчете теплового режима помещения целесообразно считать $q_{II,m}$ гармоническими, а $q_{II,p}$ прерывистыми теплопоступлениями в помещение. Тогда среднесуточная величина $Q_{II,m,0}$ и амплитуда $A_{Q_{II,m}}$ теплопоступлений за счет теплопередачи и поглощения теплоты через всю площадь окна могут быть приближенно определены по формулам

$$Q_{II,m,o} = q_{II,m,o} F_{II} = K_{II} F_{II} (t_{услII,0} - t_n) + F_{II} K_{проп} K_{зат} P_2 \left(1 - \frac{K_{II}}{\alpha_6} \right) q_0 \quad (7.28)$$

$$A_{q_{II,m}} = \left[K_{II} F_{II} A_{услII} + F_{II} K_{проп} K_{зат} P_2 \left(1 - \frac{K_{II}}{\alpha_6} \right) A_q \right]^\Psi \quad (7.29)$$

где K_{II} , F_{II} – коэффициент теплопередачи и площадь окна; $K_{проп}$ – коэффициент проникания радиации через заполнение проема (табл. 7.6), приближенно учитывающий конструкцию переплетов, прозрачность стекла, его загрязнение и др.; P_2 – коэффициент поглощения теплоты солнечной радиации внутренним остеклением; $K_{зат}$ – коэффициент затенения окна солнцезащитными устройствами:

Тип затеняющих устройств	$K_{зат}$
Брезентовый навес или тент	0,25 – 0,35
Горизонтальный выступ, полностью затеняющий окно	0,2 – 0,3
Ставни – жалюзи деревянные	0,1 – 0,15
Ставни – жалюзи металлические	0,15 – 0,2
Темные светопроницаемые занавеси (наружные)	0,2
То же, светлые	0,15

Время $Z_{Q_{II,m}}$ максимальных теплопоступлений через окно за счет теплопередачи и поглощения определится по правилу сложения гармоник.

Средняя за сутки величина теплопоступлений через окно за счет проникающей солнечной радиации $Q_{II,p,0}$ и максимальное ее значение $Q_{II,p,макс}$ определяются по формулам

$$Q_{II,p,0} = K_{проп} K_{зат} q_0 F_{II}; \quad (7.30)$$

$$Q_{II,p,макс} = K_{проп} K_{зат} q_{макс} F_{II}. \quad (7.31)$$

Время $Z_{Q_{II,p}}^{макс}$ когда наблюдается максимум $Q_{II,p}$ совпадает с максимумом падающей на окно солнечной радиации Z_q .

Таблица 7.6

Коэффициенты проникания солнечной радиации $K_{прон}$

Конструкция окна	Коэффициенты $K_{прон}$ при остеклении		Конструкция окна	Коэффициенты $K_{прон}$ при остеклении	
	вертикальном	наклонном		вертикальном	наклонном
Окно с деревянным или железобетонным переплетом, одинарное	0,5	0,5	Окно из пустотелых стеклоблоков	0,25	0,2
То же, двойное	0,35	0,25	Окно из волнистого стекла, одинарное	0,4	0,3
Окно с металлическим переплетом, одинарное	0,6	0,5	Шторы, жалюзи (межстекольные)	0,25–0,4	
То же, двойное	0,4	0,3	Шторы, жалюзи (внутренние)	0,4 – 0,8	

Общие тепlopоступления в помещение за счет теплопередачи через массивные и лучепрозрачные ограждения рассчитываются по правилу сложения. В простейшем случае, когда помещение имеет одно массивное ограждение (стена) и окно, средняя за сутки величина тепlopоступлений за счет теплопередачи через наружные ограждения $Q_{опр0}$ равна

$$Q_{опр,0} = Q_{I,0} + Q_{II,m,0} \quad (7.32)$$

а амплитуда общих поступлений

$$A_{Q_{опр}} = (A_{Q_I} + A_{Q_{II,m}}) \psi, \quad (7.33)$$

где ψ – поправочный коэффициент, зависящий от отношения складываемых амплитуд.

Если в помещении больше двух ограждений, например, имеются различно ориентированные по странам света наружные стены, перекрытие, окна, то расчет общих тепlopоступлений за счет теплопередачи проводят попарным сложением результатов: складывают поступления теплоты, например, через наружную стену и перекрытие; результирующую величину складывают с поступлениями через окна и т. д.

Прерывистые теплоступления рассчитывают отдельно. Например, теплота проникающая через окно солнечной радиации характеризуется величиной прерывистого теплоступления $Q_{II,p,макс}$. Время его действия равно

$$m' = \frac{Q_{II,p,0} \cdot 24}{Q_{II,p,макс}} \quad (7.34)$$

причем максимум $Q_{II,p}$ соответствует середине теплопередачи. В помещении могут быть и другие прерывистые поступления теплоты от технологического оборудования при сменной работе, от электрического освещения и т.д.

7.5 Средний за сутки тепловой режим помещения

При периодических поступлениях различного вида теплоты все показатели теплового режима помещения (рис. 7.10,а) также периодически изменяются около средних значений. Для определения теплового режима помещения необходимо, прежде всего, знать средние за сутки значения его характеристик. Они зависят только от средних величин всех влияющих на теплообмен факторов и определяются условиями стационарной теплопередачи.

Средний за период тепловой баланс помещения может быть записан в виде

$$Q_{n,0} + Q_{ветн0} \pm Q_{мехн0} = \sum K_I F_I (t_{услI0} - t_{n0}) + \sum K_{II} F_{II} (t_{услII0} - t_{n0}) + \sum q_{II0} F_{II} + L_0 c \rho (t_{np0} - t_{yx0}) \pm Q_{мехн0} = 0 \quad (7.35)$$

где $Q_{мехн0}$ – средние за сутки технологические и бытовые теплоступления; $Q_{n,0}$ – средние за сутки общие теплоступления в помещение через наружные ограждения; L_0 , t_{np0} , t_{yx0} – средние за сутки: расход вентиляционного воздуха, температуры приточного и уходящего воздуха.

Пользуясь уравнением (7.35), можно определить среднюю за сутки температуру помещения t_{n0} в виде

$$t_{n0} = \frac{\sum K_I F_I t_{услI0} + \sum K_{II} F_{II} t_{услII0} + \sum q_{II0} F_{II} + L_0 c \rho (t_{np,0} - t_{yx0}) \pm Q_{мехн0}}{\sum K_I F_I + \sum K_{II} F_{II}} \quad (7.36)$$

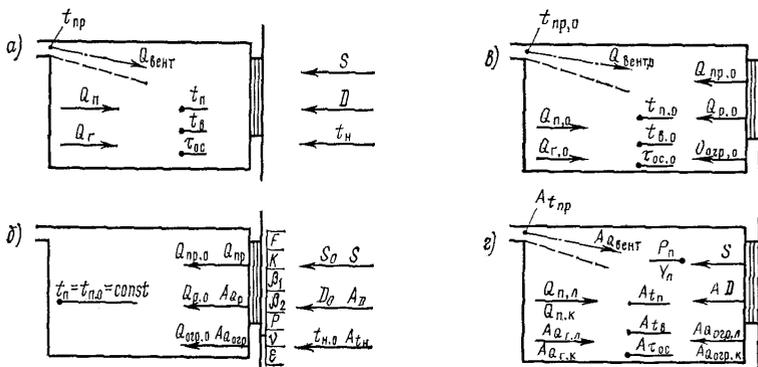


Рис. 7.10 – Составляющие расчета теплового режима помещений: а – тепловой режим помещения; б – теплопоступления через ограждения; в – средний за сутки режим; г – теплоустойчивость помещения

При расчете вентиляции значение t_{no} обычно задано и по формуле (7.36) определяют количество L_0 вентиляционного воздуха.

При проектировании кондиционирования воздуха учитывают полные тепловыделения. Искомой величиной является в этом случае среднее за сутки значение полного теплосодержания приточного воздуха $(L_0\rho)I_{np0}$, которое с учетом полной теплоты технологических выделений $Q_{техн,но}$ (явной $Q_{техн,я}$ и скрытой теплоты) можно определить из уравнения (7.36), где вместо $Q_{техн,но}$ должно быть принято $Q_{техн,но}$ и составляющая вентиляционного обмена должна быть записана в виде

$$Q_{вент0} = L_0\rho(I_{np0} - I_{yx0}) \quad (7.37)$$

где I_{np0} и I_{yx0} – энтальпии приточного и уходящего воздуха, Дж/кг.

Для оценки тепловой обстановки кроме температуры помещения t_{no} необходимо знать отдельно среднюю за сутки температуру воздуха $t_в$ и ограждений t_{oc0} . Для их определения можно принять что температура t_{no} равна среднему значению величин $t_{в0}$ и t_{oc0} . Температура воздуха в объеме помещения всегда, в том числе и в среднем за суточный период, отличается от температуры поверхностей на величину перепада температур, обеспечивающего передачу суммарного (со знаком плюс и минус) количества конвективной теплоты $Q_{кв}$ от поверхностей к воздуху или от воздуха к поверхности. Поэтому

$$|\tau_{oc0} - t_{e0}| = \frac{Q_{к0}}{\Lambda} \quad (7.38)$$

а значение t_{e0} и τ_{oc0} равны

$$t_{e0} = t_{n0} + \frac{Q_{к0}}{2\Lambda} \quad (7.39)$$

$$\tau_{oc0} = t_{n0} - \frac{Q_{к0}}{2\Lambda}, \quad (7.40)$$

где $\Lambda = \alpha F$ – показатель интенсивности конвективного теплообмена, Вт/К.

Осредненный по всем поверхностям в помещении коэффициент конвективного теплообмена $\alpha_{к.ос}$ для летних условий может быть принят равным около $2,3 \div 2,7$ Вт/(м² К).

Общее количество конвективной теплоты, передаваемой поверхностями ограждений $Q_{к0}$ и технологическими источниками $Q_{техн.к0}$ должно ассимилироваться вентиляционным воздухом $Q_{вент0}$. Поэтому конвективный теплообмен на поверхностях ограждений может быть представлен в виде разности

$$Q_{к0} = Q_{техн.к0} - Q_{вент0} \quad (7.41)$$

7.6 Естественный тепловой режим помещения

Рассмотрим естественный тепловой режим, который установится, при расчетных наружных условиях с учетом проветривания и конструктивно-планировочных мер защиты помещения от перегрева.

При проектировании каждого здания ограждения выбираются с определенными теплозащитными свойствами. Учитываются также ориентация здания, солнцезащитные устройства, производительность и режим работы общеобменной вентиляции (характеристики вентиляции могут быть искомыми величинами расчета). По назначению помещения должны быть определены: бытовые и технологические тепловыделения и их изменение, расчетные внутренние условия и коэффициент их обеспеченности $K_{об}$. С учетом коэффициента обеспеченности для района строительства должны быть приняты расчетные характеристики наружного климата. Задача состоит в определении естественного теплового режима при заданных

условиях, в том числе вентилирования, или в определении необходимого воздухообмена для поддержания допустимых внутренних условий.

Может быть несколько режимов вентилирования помещения. Наиболее распространенным является случай непрерывного проветривания наружным воздухом $t_{np} = t_n$ в количестве L_0 . Температура приточного воздуха t_{np} равна t_n , поэтому $t_{np0} = t_{n0}$; $A_{t_{np}} = A_{t_n}$.

Явное теплосодержание приточного воздуха Q_{np} изменяется по гармонике, определяемой среднесуточным значением $Q_{np0} = L_0 c p t_{np0}$, амплитудой $A_{Q_{np}} = L_0 c p A_{t_{np}}$ и временем максимума $Z_{Q_{np}}^{макс} = Z_{t_{np}}^{макс}$. В более сложном случае переменного режима проветривания Q_{np} зависит от изменения t_{np} и количества L приточного воздуха. Такой режим может быть при естественной вентиляции или периодическом проветривании, например, ночным холодным воздухом. При ночных проветриваниях величина Q_n (прерывистое поступление теплоты) равна

$$Q_n = L c p t_n \quad (7.42)$$

где t_n – средняя температура наружного воздуха за время проветривания.

Теплосодержание уходящего из помещения воздуха изменяется в зависимости от его количества и температуры. По массе воздуха вытяжка равна притоку: $(L\rho)_{вент} = (L\rho)_{np}$. Температура удаляемого из помещения воздуха t_{yx} обычно линейно зависит от t_6 . Ее изменение по величине можно считать одинаковым с температурой воздуха в рабочей зоне помещения $t_{yx} = t_6$.

Изменения во времени всех тепловых воздействий могут быть представлены в виде правильных гармоник или прерывистых поступлений. Переменный естественный тепловой режим помещения достаточно характеризовать изменением температуры помещения t_n . Должны быть определены ее средние значения t_{n0} и расчетом теплоустойчивости помещения установлены значения амплитуды ее суточных изменений A_{t_n} и время ее максимума $Z_{t_n}^{макс}$ (рис.7. 11, з).

Если в помещение вентиляцией подается неизменное количество L_0 наружного воздуха с температурой t_n , то расчет A_{t_n} приближенно можно провести по формуле

$$A_{t_n} \approx \frac{a(A_{Q'_n} + L_{cp} A_{t_n}) \psi}{P_{o_{cp+o_{ob}}} + L_{cp}}, \quad (7.43)$$

где $A_{Q'_n}$ – амплитуда всех поступлений теплоты в помещение без учета вентиляции.

Для случая, когда задача состоит в определении расчетного расхода воздуха и режима вентиляции, можно исходить из двух условий заданного теплового режима помещения: t_{n0} и A_{t_n} . Для того чтобы обеспечить расчетное значение средней за сутки температуры помещения, расход воздуха по формуле (7.35) должен быть равен

$$L = \frac{Q_{n0} \pm Q_{mexn0}}{c_p(t_{np0} - t_{yx0})} \quad (7.44)$$

Для выдерживания заданной амплитуды расход воздуха по формуле (7.43) равен

$$L = \frac{P_{o_{cp+o_{ob}}} A_{t_n} - a \psi A_{Q'_n}}{(a A_{t_n} \psi - A_{t_n}) c_p} \quad (7.45)$$

Расчетный вентиляционный расход воздуха должен быть равен большему из двух значений, определенных по формулам (7.44) и (7.45).

Рассматривая формулу (7.43), видим, что для закрытого помещения ($L=0$) имеем $A_{t_n}^{закр} \approx a A_{Q'_n} / P_{o_{cp+o_{ob}}}$, а при бесконечно большой величине вентиляции ($L \rightarrow \infty$) значение A_{t_n} стремится к $A_{ин}$. Таким образом, в вентилируемом помещении значение A_{t_n} всегда находится между значениями $A_{t_n}^{закр}$ и $A_{ин}$. Поэтому, если заданное значение амплитуды колебания температуры помещения $A_{t_n}^{мп} < A_{t_n}^{закр}$, то невозможно обеспечить $A_{t_n}^{мп}$ при естественной вентиляции помещения.

Изложенный выше анализ теплового режима помещения и режима работы вентиляции основан на простейших зависимостях теории устойчивости и справедлив для круглосуточной работы вентиляции. В общественных и производственных помещениях обычно вентиляция работает посменно. В жилых зданиях часто производят ночное проветривание

помещений. В этом случае задача значительно усложняется. В то же время общая последовательность расчета остается неизменной, соответствующей изложенной. Последняя также может быть использована во всех случаях для приближенных расчетов.

Пользуясь изложенной методикой, можно установить возможность обеспечения необходимого теплового режима помещения. Если мерами конструктивно-планировочных решений и вентилированием не удастся достигнуть в помещении условий, отвечающих заданным требованиям, то необходимо переходить к системе регулируемого кондиционирования микроклимата.

Рассмотренный метод анализа естественного теплового режима помещения в связи с этим можно назвать способом определения условий, при которых необходим переход от обычной вентиляции к значительно более дорогой и сложной системе регулируемого кондиционирования микроклимата.

Методические указания

Несмотря на то, что летний период года более благоприятен по комфортности тепловых условий, чем зимний, здания в жаркие летние месяцы подвергаются значительному перегреву за счет интенсивного солнечного облучения и нагретого наружного воздуха.

Поскольку тепловой режим помещений должен удовлетворять требованиям, то для их удовлетворения в первую очередь надо использовать средства тепло- и солнцезащиты зданий, охлаждения наружным воздухом, ночное проветривание, работу общеобменной системы вентиляции и только в зданиях повышенной комфортности применять систему регулируемого кондиционирования микроклимата.

Вопросы для самопроверки

1. Какие факторы влияют на выбор расчетных летних внутренних условий?
2. Какие характеристики наружного климата являются наиболее важными в летний период?
3. Как определяется допустимая амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции?
4. Что такое условная температура наружного воздуха?

5. Как определяется максимальное поступление теплоты через ограждение?
6. Что называют прямой, рассеянной и отраженной солнечной радиацией?
7. Как определяется коэффициент инсоляции поверхности окна?
8. Как определяется коэффициент облученности окна небосводом?
9. Как определяется среднее за сутки температура помещения?
10. Что понимают под естественным тепловым режимом помещения.