

# ЛЕТНИЙ ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПОМЕЩЕНИЯ

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

**Тема 14**

# Содержание

- ▶ **Общие сведения**
- ▶ **Расчетные летние внутренние условия и их обеспеченность**



## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

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. Людям трудно находиться в них из-за дискомфортных тепловых условий и в связи с этим большой перенапряженности системы терморегуляции организма.

Ограждения защищают помещения от интенсивного облучения солнца и нагретого наружного воздуха. Специфичным для летнего режима зданий является определяющая роль теплоступлений 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 охлаждают наружным воздухом, используя ночное проветривание и работу общеобменной системы вентиляции, а также с помощью

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.

# 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.

## 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 $t_{п}^*$ , °С		относительная влажность воздуха $Y_B$ , %	подвижность воздуха $V_R$ , м/с
	$t_{ПО}$	$A_{тП}$		
1	2	3	4	5
Оптимальные условия - регулируемая система кондиционирования	25	1	40 - 60	< 0,3
Допустимые условия - система вентиляции	$t_{НО}^{**} + 3$	4	-	< 0,5

\* Температура помещения  $t_{п} = (t_B + t_R)/2$ .

\*\* Среднесуточное значение температуры наружного воздуха,  $t_{НО}$

**Если  $t_H$  устойчиво превышает  $+30^{\circ}\text{C}$ , то расчетная температура помещения  $t_{п}$  должна отличаться от приведенной в таблице 1 и может быть рассчитана по формуле (14.1).**

$$t_{\text{п}} \approx t_{\text{в}} + 0,5(t_{\text{н}} - 30). \quad (14.1)$$

В обычных условиях приведенные данные о  $t_{\text{п}}$  могут приниматься в расчете равными  $t_{\text{в}}$ , но при наличии в помещении больших нагретых (два или более наружных ограждений, большие остекленные поверхности) или охлажденных (потолочно-лучистое охлаждение помещения) поверхностей радиационная температура  $t_{\text{Р}}$  может заметно отличаться от температуры воздуха  $t_{\text{в}}$ . 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, так как 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  $2,5^{\circ}\text{C}$ . Проверка этого требования особенно важна при устройстве совмещенной системы отопления и охлаждения помещений.

Длительность пребывания ( $\Delta z$ ) людей в помещении

Температура помещения  $t_{п}''$  в этом случае должна быть с учетом (14.1) приблизительно равной:

$$t_{п}'' \approx t_{п}' + c(t_{н} - 30) = t_{п} + (0,5 + c)(t_{н} - 30). \quad (14.2)$$

где  $c$  – численный коэффициент,  $c = 0,3$  при  $\Delta z_{\text{преб}}$  до 1 часа;  
и  $c = 0,1$  – при  $\Delta z_{\text{преб}}$  до 3 часов.

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

$$K_{об,n} = (N - n) / n, \quad (14.3)$$

а по продолжительности отклонений:

$$K_{об,\Delta z} = (Z - \Delta z) / Z, \quad (14.4)$$

где  $N$  и  $Z$  – соответственно общее число случаев и общая продолжительность во времени для принятого сезонного периода года;  
 $n$  и  $\Delta z$  – 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 (А, Б и В) для расчета систем обеспечения микроклимата их приблизительно можно определить коэффициентами обеспеченности. **Таблица 2.**

**Требуемая обеспеченность и ее связь с градациями климата.**

Уровень требований	$K_{об,п}$	$\Delta z$ , час	$K_{об, \Delta z}$	Градации климата по СНиПу (приблизительно)
1	2	3	4	5
Повышенный (П)	~1	~0	~1	В
Высокий (В)	0.9	~50	~0.98	Б
Средний (С)	0.7	~200	~0.92	-
Низкий (Н)	0.5	~400	~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. 3, предложенной Б. В. Баркаловым.

**Таблица 3.**

**Требования обеспеченности для промышленных зданий.**

Вид требований	Уровень требований	Допустимые амплитуды колебания	$K_{об,п}$
1	2	3	4
Технологические	Повышенный	0,1	1,0
	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	2,0 и более	0,5

# 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 тепла в помещения, а также для выбора производительности вентиляции и холодильной мощности системы кондиционирования микроклимата необходимо иметь характеристики климата для расчетного, наиболее жаркого периода года

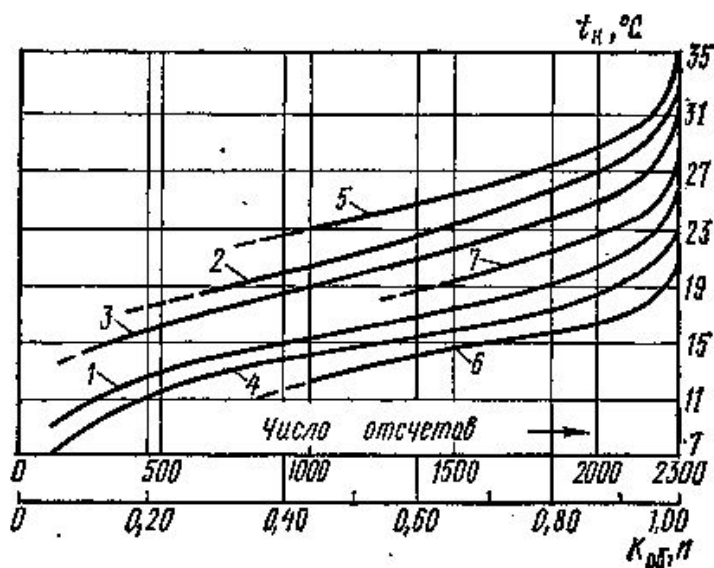


Рисунок 1.

Убывающие статистические ряды срочных температур:

- 1 - 7ч.; 2 - 13ч.; 3 - 19ч.; 4 - 1ч.;
- 5 - максимальные температуры в летние месяцы;
- 6 - то же, минимальные;
- 7 - то же, среднесуточные

Методика выбора сочетаний характеристик климата с заданным коэффициентом обеспеченности была подробно рассмотрена на примере холодного периода года. Следуя принятой методике, за расчетный случай принимаем наиболее жаркие сутки, так как 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 страны 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. На рис. 1 для условий Москвы приведено графическое изображение убывающих рядов для четырех сроков наблюдения (в 1, 7, 13 и 19 ч. каждых суток), а также для значений максимальных, минимальных и средних за сутки температур. На вертикальной оси графика отложены значения

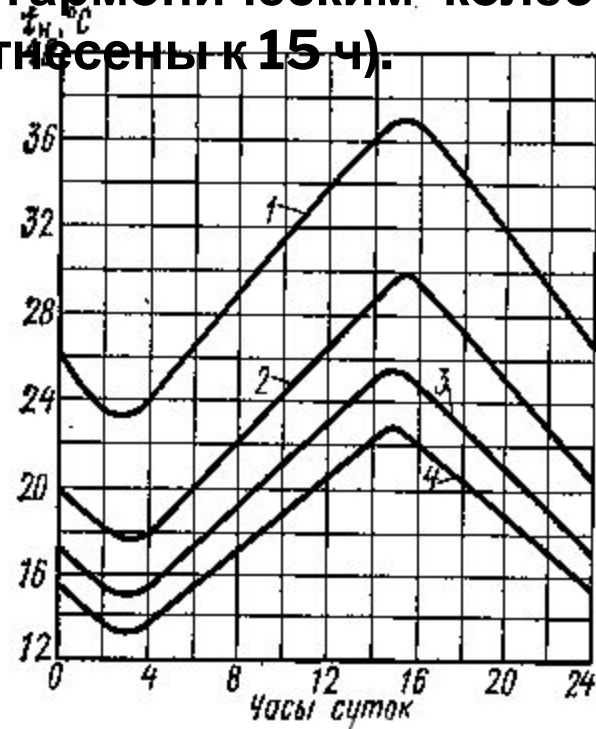
На горизонтальной оси чана вторая шкала - значения коэффициентов обеспеченности  $K_{об}$ , которые соответствует отношению порядкового номера ко всему количеству отсчетов в ряду. По данным этого графика построены кривые изменения наружной температуры в течение расчетных суток (рис. 2), каждая кривая соответствует определенному коэффициенту обеспеченности.

Как видно из рисунка, кривые суточного изменения температур близки по очертанию к правильным гармоническим колебаниям (максимальные значения температур отнесены к 15 ч).

## Рисунок 2.

Кривые изменения температуры в летние сутки для Москвы при коэффициентах обеспеченности  $K_{т\ об,н}$  равных:

1 - 0,999;	2 - 0,9;
3 - 0,7;	4 - 0,5 .



Эти кривые полностью определяются тремя параметрами: средней за сутки температурой  $t_{HO}$ , амплитудой суточного изменения температуры  $Atn$  и временем суток максимального значения наружной температуры  $Ztn^{max}$ .

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 интенсивность 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  $t_H$  и  $q$  можно считать независимыми событиями.

При заданном коэффициенте обеспеченности сочетания  $q$  и  $t_H$  определяются как:

$$K_{об}(t_H, q) = K_{об}(t_H) K_{об}(q), \quad (14.5)$$

Для получения  $K_{об}(t_H, q)$  можно принять  $K_{об}(q) = 1$ , тогда:

$$K_{об}(t_H, q) = K_{об}(t_H). \quad (14.6)$$

Рассматривая обеспеченность совместного действия  $t_H$  и  $q$ , в качестве расчетных берем максимальные значения интенсивности

Для того чтобы  $K_{об}(q)$  соответствовало примерно единице, в районах с сухим летним периодом обычно принимают в качестве расчетных максимальную солнечную радиацию в июле при безоблачном небе. Для районов с влажным летним периодом рассеянная радиация занимает значительную часть в суммарной радиации, падающей на поверхности здания, особенно на вертикальные поверхности. Вследствие этого в условиях жаркого и влажного летнего периода в качестве расчетных принимают максимальные значения интенсивности суммарной солнечной радиации, падающей на поверхности зданий при облачности средних баллов.

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

$$S_v = S \cos \Theta, \quad (14.7)$$

где  $S$  – интенсивность прямой солнечной радиации, падающей на перпендикулярную солнечным лучам поверхность (обычно измеряется на метеостанциях);

$\Theta$  – 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, например, Кастрова – Савинова.

Формула Кастрова – Савинова :

$$S = (S_0 \sinh)/(sinh+c), \quad (14.8)$$

где  $S_0$  – солнечная постоянная на границе атмосферы, равная  $1260 \div 1390$  Вт/м<sup>2</sup>

[~ 1,8 ÷ 2,0 (кал)/(см<sup>2</sup>мин)];

$c$  – эмпирический коэффициент прозрачности атмосферы (табл. 4);

$h$  – угол высоты стояния солнца.

Таблица 4.

Значения коэффициента  $c$  при солнечной постоянной  $S_0 = 1260$  Вт/м<sup>2</sup>.

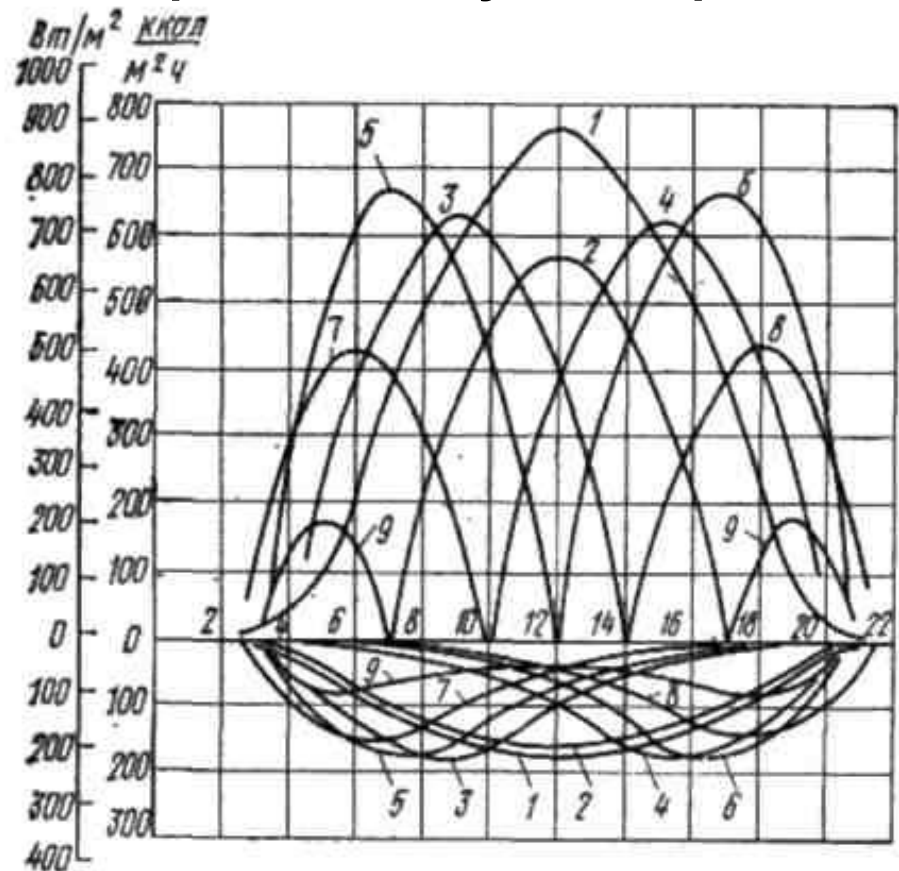
Географическая широта	Угол высоты стояния солнца $h$ , град		
	10	30	50
1	2	3	4
38	0,369	0,382	0,402
46	0,351	0,382	0,415
54	0,292	0,373	0,402
62	0,265	0,326	0,355



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.

Рисунок 3.

Интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации на  $56^\circ$  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.



По другой методике используя данные об освещенности вертикальных поверхностей различной ориентации рассеянным светом, принимают световой поток пропорциональным энергетическому потоку рассеянной радиации.

На рис. 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  $t_H$  часто можно определить тремя характеристиками: среднесуточной интенсивностью суммарной радиации  $q_0$ ; амплитудой ее изменения  $Aq$  и временем максимума радиации  $Zq^{max}$ . Величину  $Aq$  можно определить в виде:

$$Aq = q^{max} - q_0, \quad (14.9)$$

где  $q^{max}$  – максимальная интенсивность суммарной радиации.

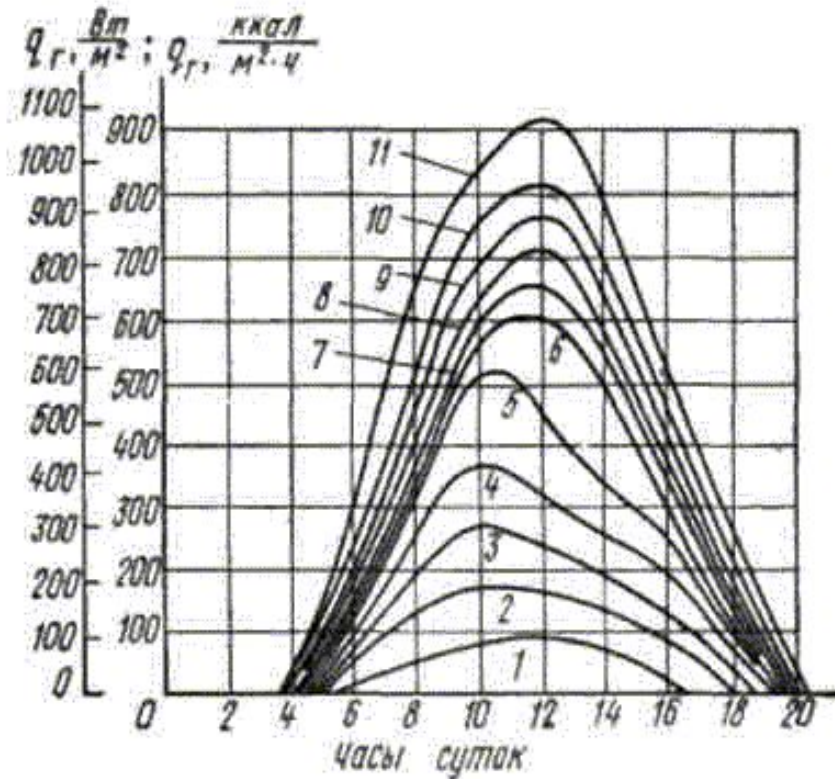
В результате статистической обработки, подобной той, что описана на примере обработки наблюдений за  $t_H$ , можно получить суточный ход интенсивности солнечной радиации на различно ориентированные поверхности с различным  $K_{об}(q)$ .

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  $t_H$  и  $q$ , найдены расчетные сочетания температуры наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации, соответствующие рекомендуемым внутренним.

Рисунок 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.



При расчете тепlopоступления через массивное ограждение, которое является своеобразным гармоническим фильтром для неправильных периодических воздействий или при расчете тепlopередачи 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:

$$Aq = ((T - m')/T)\pi q_0, \quad (14.10)$$

где  $m'$  – продолжительность действия прямой радиации, ч.

При расчете непосредственно проникающей через окна солнечной радиации фактическую кривую лучше заменить равновеликим по площади прерывистым тепlopоступлением, приняв, например, величину прерывистого тепlopоступления равной  $q_{\text{МАХ}}$  и определив продолжительность его действия или приняв продолжительность равной  $m'$  и определив величину прерывистого тепlopоступления. За расчетную летнюю скорость ветра  $v_H$  принимают наименьшую среднесуточную скорость ветра в июле, которая будет соответствовать обеспеченности  $K_{об}(v_H)$  около 20

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  $\phi_H$  воздуха связан с изменением температуры. Почти всегда колебания  $\phi_H$  обратны изменениям  $t_H$  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  $\phi_H$

В настоящее время в нормах расчетные характеристики тепло влажностного состояния воздуха (температура  $t_H$  и энтальпия  $J_H$ ) даются для трех категорий климата *A*, *B* и *B*. 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 400 ч 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. Этими данными можно

# ЛЕТНИЙ ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПОМЕЩЕНИЯ

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

Тема 14

