

ГЛАВА 6. ЗИМНИЙ ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ПОМЕЩЕНИЙ

В холодный период года ограждения защищают помещение от низких наружных температур и ветра, а система отопления поддерживает в нем определенную температуру.

Постоянство температурной обстановки в помещении должно быть поддержано при наличии холодных поверхностей наружных ограждений и нагретых поверхностей приборов системы отопления. Холодные и нагретые поверхности вызывают конвективные воздушные потоки и являются источниками «положительного» и «отрицательного» излучения, которые тем интенсивнее, чем больше разности температур. Температура наружного воздуха непрерывно изменяется. Следом за ней изменяются температуры поверхностей в помещении. Наибольшие разности температур будут наблюдаться в самые суровые периоды зимы. Если наружные ограждения и система отопления обеспечат удовлетворительные условия в помещении в этот отрезок времени, то они смогут поддержать необходимые условия и в течение всей зимы.

Решая задачу отопления помещения, необходимо рассчитать ограждения и обогревающие устройства так, чтобы они обеспечивали требуемые тепловые условия в обслуживаемой (рабочей) зоне в течение всего отопительного периода.

6.1 Обеспеченность расчетных условий

Тепловые условия должны соответствовать функциональному назначению помещения и предъявляемым к нему санитарно-гигиеническим требованиям. Для большинства жилых и общественных зданий эти условия выбираются приблизительно на одном уровне.

В промышленных зданиях можно также выделить несколько групп помещений приблизительно с одинаковыми условиями. Кроме санитарно-гигиенических и технологических требований, определяющих необходимый уровень внутренних условий, важными во многих случаях являются требования, определяющие надежность поддержания заданных внутренних условий, т. е. требования к их обеспеченности.

Одни здания, такие, как больницы, родильные дома, детские ясли, а также цехи со строгим технологическим режимом, требуют высокой степени

обеспеченности расчетных условий. Заданные условия в них должны выдерживаться при любых возможных в районе строительства погодных условиях. В зданиях общего назначения (жилые дома, общежития, залы музеев и т. д.) возможны небольшие кратковременные отклонения от расчетных условий. В зданиях второстепенного назначения, периодически функционирующих, с кратковременным пребыванием людей (торговые помещения, залы ожидания для пассажиров и др.) степень обеспеченности расчетных внутренних условий может быть более низкой.

В зависимости от назначения здания, особенностей технологического процесса проектировщика могут интересовать различные показатели отклонения условий в помещении от расчетных, которыми могут быть: а) показатель числа случаев (сколько раз) отклонений условий от расчетных в общем ряду суток, сезонов, лет, принятых по тем или иным причинам к рассмотрению; б) показатель общей продолжительности отклонений от заданных условий за расчетный период (часы, сутки); в) показатель, характеризующий наиболее невыгодное разовое отклонение (наибольшую продолжительность и наибольшую величину разового отклонения какого-либо расчетного параметра).

Для того чтобы выполнить определённые требования обеспеченности заданных внутренних условий, необходимо правильно выбрать теплозащитные качества ограждений, тепловую мощность системы отопления и др. Выбор должен быть основан на расчете, результаты которого зависят от расчетных наружных условий. Таким образом, обеспечение заданных внутренних условий определяется выбором расчетных параметров наружного климата.

При выборе расчетных наружных параметров в качестве прогноза на следующие годы принимают данные наблюдений за климатом предшествующего периода. Точность выбора расчетных значений зависит от числа зим, принятых к рассмотрению.

Наиболее холодный период каждой зимы называют «случаем». Для выбора параметров, отвечающих определенной вероятности их появления, принимают к рассмотрению весь ряд случаев предшествующих лет. Обеспеченность условий определяют коэффициентом обеспеченности $K_{об}$, величина которого показывает долю общего числа случаев, не допускающих отклонение от расчетных условий.

Параметры климата для каждого случая связаны с определенной про-

должительностью, поэтому с помощью коэффициента обеспеченности можно характеризовать также выдерживание во времени расчетных условий. Сопоставление расчетных условий с параметрами климата максимальной обеспеченности позволяет выяснить величину и продолжительность наибольшего разового отклонения возможных условий от расчетных.

В результате, проведя обработку данных метеорологических наблюдений с учетом заданного коэффициента обеспеченности, можно получить все показатели возможных отклонений от заданных условий в помещении (число отклонений, их общая продолжительность и характеристики наибольшего разового отклонения).

Влияние наружного климата на тепловой режим ограждений и помещений является комплексным. Оно определяется совместным действием нескольких метеорологических параметров, которые метеорологами наблюдаются раздельно. При расчете теплопередачи через ограждения их действие необходимо учитывать совместно. Для зимы такими параметрами климата являются температура наружного воздуха t_n и скорость ветра v_n . В некоторых расчетах дополнительно к ним должны учитываться относительная влажность j_n и теплосодержание J_n наружного воздуха, а также солнечная радиация, направление ветра, осадки и пр.

Некоторые из этих параметров связаны между собой и изменение одного из них обычно сопровождается определенным изменением другого. Например, похолодание для большинства континентальных районов связано обычно с понижением скорости ветра. События, для которых изменение одного (t_n) обычно связано с определенным изменением другого (v_n), называются *зависимыми*. В то же время есть характеристики, между которыми такой зависимости не существует или она проявляется слабо. События, изменение одного из которых практически не связано с изменением другого, называют *независимыми*.

При определении расчетных наружных условий с учетом заданного коэффициента обеспеченности обработка климатических данных осложняется необходимостью получения расчетных сочетаний климата.

Для зимних условий задача в основном сводится к определению расчетного сочетания зависимых событий t_n и v_n с учетом заданного коэффициента обеспеченности $K_{об}$. Отыскание обеспеченности двух зависимых событий является сложной задачей. Однако ее можно значительно упростить, если

прибегнуть к решению, основанному на одной из теорем теории вероятности. Этой теоремой устанавливается, что обеспеченность появления двух зависимых событий равна произведению обеспеченности появления одного из событий на условную обеспеченность появления другого события при условии осуществления первого события. Применительно к нашему случаю это означает, что обеспеченность $K_{об}(t_n, v_n)$ появления одновременно определенной температуры и определенной скорости ветра равна

$$K_{об}(t_n, v_n) = K_{об}(t_n) \cdot K_{об}(v_n / t_n), \quad (6.1)$$

где $K_{об}(t_n)$ – обеспеченность появления заданной температуры наружного воздуха; $K_{об}(u_n / t_n)$ – условная обеспеченность появления скорости ветра v_n при заданной температуре t_n .

Запись (6.1) можно упростить, если принять во внимание очевидное ее следствие. Если условную обеспеченность появления второго события $K_{об}(u_n / t_n)$ принять равной единице, то обеспеченность двух событий $K_{об}(u_n, t_n)$ будет равна обеспеченности первого $K_{об}(t_n)$ т. е.

$$K_{об}(t_n, v_n) = K_{об}(t_n) \quad \text{при} \quad K_{об}(u_n / t_n) \approx 1. \quad (6.2)$$

Для обработки климатических данных удобно пользоваться этим следствием теоремы. Расчетное изменение температуры наружного воздуха должно соответствовать заданному коэффициенту обеспеченности $K_{об}(t_n) = K_{об}(t_n, u_n)$, а расчетное значение v_n нужно принять, исходя из наиболее невыгодного сочетания параметров (наибольшие значения v_n при разных t_n), т.е. сочетания, отвечающего условию $K_{об}(u_n / t_n) = 1,0$.

Для независимых событий принципиальная последовательность решения остается той же. Разница состоит в том, что для них соответствующая теорема формулируется несколько иначе. Обеспеченность появления двух независимых событий (например, некоторых значений температуры и солнечной радиации) $K_{об}(t_n, q)$ равна произведению обеспеченностей появления температуры $K_{об}(t_n)$ и радиации $K_{об}(q)$ т. е.

$$K_{об}(t_n, q) = K_{об}(t_n) \cdot K_{об}(q). \quad (6.3)$$

Следствием этой теоремы является, например, такая запись

$$K_{об}(t_n, q) = K_{об}(t_n) \quad (6.4)$$

которая справедлива при $K_{об}(q) = 1.0$.

При обработке климатических данных можно принимать в качестве расчетной максимальную радиацию, соответствующую $K_{об}(q) = 1.0$, а расчетную температуру определять при заданном значении коэффициента обеспеченности.

В табл. 6.1 приведены величины коэффициента обеспеченности $K_{об}$ для зданий и помещений с различными эксплуатационными режимами в расчетных зимних условиях для принятого ряда случаев при обработке климатических данных.

Таблица 6.1

Коэффициент обеспеченности расчетных условий для холодного периода года

Характеристика основных помещений	Уровень требований	Коэффициент обеспеченности $K_{об,п}$
Особо высокие требования к санитарно-гигиеническим условиям	Повышенный (П)	~1,0
Круглосуточное пребывание людей или постоянный технологический режим	Высокий (В)	0,9
Ограниченное во времени пребывания людей	Средний (С)	0,7
Кратковременное пребывание людей	Низкий (Н)	0,5
Примечание: Значения $K_{об}$ получены на основе сопоставления с действующими в настоящее время рекомендациями.		

6.2 Характеристики наружного климата

При выборе расчетных наружных параметров зимнего климата нужно исходить из следующих предпосылок.

Расчетные параметры климата должны быть общими для расчета всех составляющих теплового режима помещения (теплозащита ограждений, теплопотери и др.), т.к. они отражают единый процесс теплопередачи через ограждения. Расчетные значения и сочетания параметров должны определяться с учетом коэффициента обеспеченности. Данные о расчетных климатических

условиях должны учитывать необходимость анализа нестационарного процесса теплопередачи, т.к. в расчетные наиболее холодные периоды зимы происходит быстрое изменение наружной температуры, в то время как ограждения обладают теплоинерционностью.

Основным показателем климата холодного периода является изменение температуры t_n . В видимой хаотичности значений температуры наружного воздуха можно обнаружить определенные закономерности изменения. Это прежде всего годовые и суточные колебания температуры.

Зимы в разных районах и в отдельные годы заметно отличаются степенью суровости. Однако в определенный период года есть довольно устойчивая закономерность в постоянном понижении температуры по мере приближения к наиболее холодным условиям, которые во многих местностях часто приходится на конец января. В это время четко обозначается период резкого похолодания, для которого показательно резкое понижение и последующее выравнивание температуры. Учитывая такую закономерность, кривые расчетного изменения температур строят относительно суток с наиболее низкой за зиму температурой. Для построения желательно максимально полно использовать все данные наблюдений и в то же время получить температурные кривые обобщенной формы, подчеркивающие типичные закономерности изменения.

Периоды наиболее резкого за зиму похолодания в ряду многолетних наблюдений являются теми случаями, которые принимают для анализа.

Для получения обобщенной температурной кривой расчетного периода обрабатывают данные наблюдений методами математической статистики. Для этого берут результаты зимних наблюдений возможно большего числа предшествующих лет. Обычно удается получить данные наблюдений за последние 10 лет. В каждую зиму выбирается один период наиболее резкого похолодания. Сутки этого периода обозначаются условным номером. День с минимальной температурой считают за нуль, предшествующие ему обозначают номерами -1, -2, -3 и т.д., последующие – соответственно +1, +2, +3 и т. д. Для каждого номера дня берут значения среднесуточных температур, которые располагают в убывающий по величине ряд. Первая цифра в каждом ряду для отдельных условных суток соответствует наинизшей температуре, которая наблюдалась за все годы. Обеспеченность появления такой температуры в эти условные сутки максимальная, она равна отношению числа зим

минус один ко всему числу рассматриваемых зим. Появление температуры, соответствующей второй цифре в этом ряду, имеет меньшую обеспеченность (меньший $K_{об}$) равную отношению числа зим минус два ко всему числу зим и т.д. Каждой температуре в этом ряду соответствует определенная обеспеченность ее появления. Убывающий ряд строится также для минимальных значений температур в сутки с условным номером нуль. Убывающими рядами температур можно воспользоваться для построения кривых изменения температуры в период резкого похолодания, соответствующих различным коэффициентам обеспеченности. Для построения каждой такой кривой нужно использовать значения температуры условных суток, соответствующих определенному коэффициенту обеспеченности. Расчетные кривые изменения температуры в период резкого похолодания для разных $K_{об}$, построенные для Москвы по данным наблюдений за 50-летний период, приведены на рис. 6.1 а.

Анализ расчетных кривых для Москвы и для других пунктов показал, что их очертания во всех случаях близки между собой. В период резкого похолодания кривая изменения температуры похожа на треугольную. До этого периода температуры изменяются сравнительно медленно.

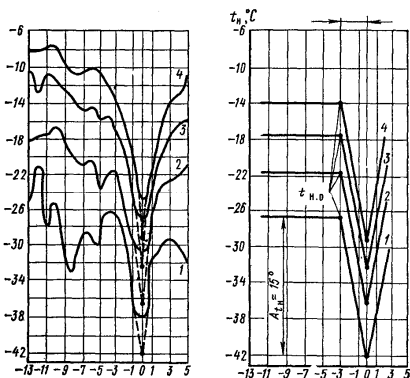


Рис. 6.1 – Расчетные зимние наружные температуры:

а– кривые изменения среднесуточных температур в период резкого похолодания при коэффициентах обеспеченности 0,98 (1); 0,92 (2); 0,7 (3); 0,5 (4). Пунктиром отмечен ход температуры в наиболее холодные сутки – понижение до минимальной температуры;

б – расчетные кривые изменения температуры в период резкого похолодания для Москвы при тех же коэффициентах обеспеченности

Расчетные кривые для разных географических пунктов и для разных коэффициентов обеспеченности в связи с такой формой могут быть определены тремя характеристиками: температурой начала периода резкого похолодания $t_{н0}$, отклонением температуры в этот период от $t_{н0}$ до минимальной $t_{н,мин}$, т. е. $A_{t_n} = t_{н0} - t_{н,мин}$ и продолжительностью периода резкого похолодания $\Delta z_{р.п}$ (время понижения температуры от $t_{н0}$ до $t_{н,мин}$). Эти показатели для Москвы при разных $K_{об}$ приведены в табл. 6.2.

Данные для Москвы характерны тем, что $\Delta z_{р.п}$ и $A_{тн}$ практически не зависят от коэффициента обеспеченности и могут быть приняты постоянными – $\Delta z_{р.п} = 3 \text{ сут}$, $A_{тн} = 15^\circ \text{C}$ (рис. 6.1, б).

Таблица 6.2

Расчетные параметры климата холодного периода года для Москвы при разных коэффициентах обеспеченности

Коэффициент обеспеченности $K_{об}$	Расчетные характеристики климата			
	$t_{н0}, ^\circ \text{C}$	$A_{тн}, ^\circ \text{C}$	$\Delta z_{р.п}, \text{сут}$	$v_n, \text{м/с}$
0,98	-26,4	15,8	3	2,6
0,9	-21,5	14,9	3	3,0
0,7	-17,2	14,9	3	3,4
0,5	-13,9	15,8	3	3,8

Для получения расчетных скоростей ветра при условии (6.2) необходимо получить зависимость v_n от t_n , соответствующую $K_{об}(v_n / t_n) = 1$. Эта зависимость наиболее невыгодных сочетаний v_n и t_n определяет наибольшие скорости, которые наблюдались при различных температурах. На рис. 6.2 показана такая зависимость для Москвы. На графике проведена прямая линия, которая достаточно хорошо отображает общую закономерность. Уравнение этой прямой имеет вид

$$v_n = 5 + 0,143 \cdot (t_n + 26) = 8,72 + 0,143 \cdot t_n. \quad (6.5)$$

В этой формуле скорости ветра приняты по измерениям по высоте 25 м от поверхности земли. В пределах города, как показывают измерения, скорость ветра начиная с 2,0 м от поверхности земли возрастает с высотой практически по линейному закону. В частности, для Москвы на каждый 1 м высоты скорость увеличивается в среднем на 0,03 м/с. Численные значения v_n в

Москве на высоте 2,0 м от земли, определенные для средней температуры периода резкого похолодания для разных коэффициентов обеспеченности, приведены в табл.6.2. Эти значения скоростей нужно принимать за расчетные.

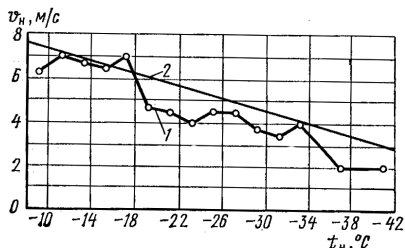


Рис. 6.2 – Зависимость скорости ветра от наружных температур: 1– наибольшие осредненные значения скорости ветра при разных температурах, полученные для наиболее суровых периодов зимы; 2– зависимость расчетной скорости ветра от температуры при значении условной обеспеченности при $K_{об}(v_n/t_n)=1$

за период резкого похолодания на A_{t_6} меньше величины, определенной для стационарного режима. Для распределения температур при стационарной теплопередаче отношение между амплитудами

$$A_{\tau_6} / A_{t_n} = R_B / R_0. \quad (6.6)$$

Это отношение в условиях нестационарной теплопередачи периода резкого похолодания для ограждения определенной тепловой инерции запишем в виде

$$A_{\tau_6} / \psi \cdot A_{t_n} = R_B / R_0, \quad (6.7)$$

где ψ – коэффициент теплоинерционности ограждения, учитывающий нестационарность теплопередачи.

Коэффициент $\psi < 1$. Он показывает, какую долю от A_{t_n} нужно принять в расчет, чтобы, пользуясь формулой (6.6) стационарной передачи, получить значение A_{t_6} , которое будет соответствовать фактическому в условиях нестационарного процесса теплопередачи через ограждение, обладающее опреде-

При медленном понижении температуры, до начала периода резкого похолодания, распределение температуры в ограждении в каждый момент времени практически соответствует стационарному (рис. 6.3). В период резкого похолодания нельзя пренебрегать нестационарностью режима теплопередачи, т.к. в этот период в каждый момент времени распределение температуры заметно отличается от стационарного. Изменение температуры на внутренней поверхности ограждения t_6 будет заметно отставать от изменений t_n . Понижение t_6

ленной теплоустойчивостью.

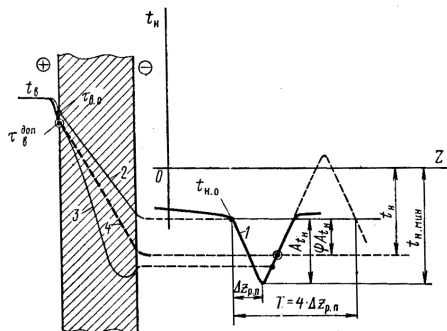


Рис. 6.3 – Распределение температуры в сечении ограждения при расчетном изменении температуры:

1 – расчетная кривая изменения температуры наружного воздуха; 2 – распределение температуры в толще стены перед началом периода резкого похолодания (стационарное состояние); 3 – распределение температуры в стене в момент времени, соответствующий минимальной температуре на внутренней поверхности ограждения (в нестационарном режиме теплопередачи); 4 – расчетное распределение температуры в стене в стационарных условиях, когда температура на внутренней поверхности равна минимальному значению в соответствии с кривой 3

Расчетная наружная температура t_n с учетом теплоустойчивости ограждения и коэффициента ψ может быть определена в виде

$$t_n = t_{n0} + \psi A_{t_n} \quad (6.8)$$

Зависимость расчетной наружной температуры t_n от тепловой массивности ограждения $D=R \cdot S$ и коэффициента обеспеченности $K_{об}$ для условий Москвы приведена на рис. 6.4.

Коэффициент теплоинерционности ограждения, как это следует из формулы (6.7), можно определить по формуле

$$\psi = R_0 / (R_b \cdot v), \quad (6.9)$$

где $v = A_{t_n} / A_{t_e}$ – показатель сквозного затухания в ограждении разового от-

клонения $A_{тн}$ при изменении температуры по расчетной кривой периода резкого похолодания..

Продолжительность периода резкого похолодания достаточно большая, поэтому затухание температурных изменений в ограждении оказывается близким к полученным по формуле (6.6). Значения показателя тепловой массивности D , определенные для условного периода T , равного $4 \cdot \Delta z_{р.п}$ (см. рис. 6.3), оказываются меньше 2,5.

В действующих нормах приняты три значения расчетной наружной температуры для каждого географического пункта: абсолютно минимальная температура холодных суток t_1 и температура холодной пятидневки t_5 . Две

последние температуры определены как средние за восемь наиболее суровых зим последних пятидесяти лет.

Выбор расчетной температуры по нормам зависит от степени тепловой инерции ограждения. В качестве показателя тепловой инерции принята величина D ограждения, рассчитанная для колебаний с периодом $T=24$ ч. Расчетные наружные температуры принимаются в зависимости от D в соответствии с данными:

D	<1,5	1,5-4,0	4-7	>7,0
t_n	$t_{мин}$	t_1	$\frac{t_1+t_5}{2}$	t_5

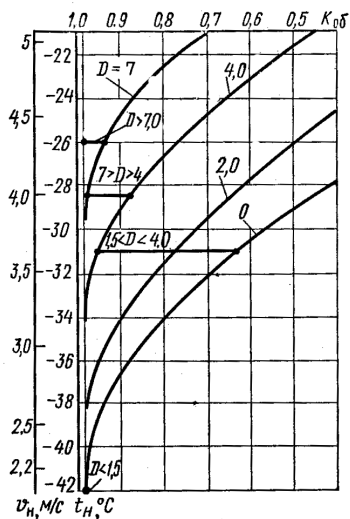


Рис. 6.4 – Зависимость расчетной наружной температуры t_n и скорости ветра v_n для отдельного ограждения от его тепловой массивности D при разных коэффициентах обеспеченности.

На рис. 6.4 показано сопоставление этих данных со значениями t_n определенными при разных $K_{об}$ и D по формуле (6.8) и табл. 6.2.

Расчетная скорость ветра принимается равной средней за январь с учетом повторяемости ветра на местности по основным направлениям с поправкой на высоту здания.

6.3 Защитные свойства наружных ограждений

Ограждения здания должны обладать требуемыми теплозащитными свойствами и быть в достаточной степени воздухо- и влагонепроницаемыми.

Теплозащитные свойства наружных ограждений определяются двумя показателями: величиной сопротивления теплопередаче R_0 и теплоустойчивостью, которую оценивают по величине характеристики тепловой инерции ограждения D . Величина R_0 определяет сопротивление ограждения передаче теплоты в стационарных условиях, а теплоустойчивость характеризует сопротивляемость ограждения передаче изменяющихся во времени периодических тепловых воздействий.

В зимних условиях теплозащитные свойства ограждений принято характеризовать в основном величиной R_0 , а в летних – также их теплоустойчивостью. Это объясняется тем, что для зимы характерны устойчивые температуры вне здания и постоянные внутренние температуры, которые обеспечивает система отопления. Летом характерны периодические суточные изменения наружной температуры и солнечной радиации, внутри здания температура обычно не регулируется.

Наиболее важным является определение расчетного сопротивления теплопередаче R_0 основной части (глади) конструкции ограждения, с которого обычно и начинают теплотехнический расчет ограждения. Необходимым является условие, при котором R_0 должно быть равно или больше минимально допустимого по санитарно-гигиеническим соображениям (требуемого) сопротивления $R_{тр}$ теплопередаче:

$$R_0 \geq R_{тр} \quad (6.10)$$

Кроме того, сопротивление R_0 должно быть не менее нормативного сопротивления $R_{т.норм.}$

После определения R_0 глади ограждения необходимо проверить теплозащитные свойства элементов конструкции (стыки, углы, включения). Необходимым и достаточным условием этого расчета является отсутствие выпадения конденсата на внутренней поверхности конструкции.

Для расчета теплотерь и тепловых условий в помещении часто кроме R_0 необходимо рассчитывать приведенное сопротивление $R_{0пр}$ теплопередаче ограждения.

Для зданий, расположенных в южных районах, дополнительно проверяют теплоустойчивость ограждений в расчетных летних условиях

Сопrotивление теплопередаче наружных дверей (кроме балконных) и ворот R_T должно быть не менее 0,6 значения требуемого сопротивления теплопередаче наружных стен $R_{т.тp}$ при расчетной зимней температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

Сопrotивление теплопередаче заполнений наружных световых проемов (кроме заполнений световых проемов в помещениях с избытками явной теплоты) R_T должно быть не менее нормативного сопротивления теплопередаче $R_{т.норм}$.

Сопrotивление теплопередаче заполнений наружных световых проемов в помещениях с избытками явной теплоты R_m должно быть не менее требуемого сопротивления теплопередаче $R_{т.тp}$.

Влагозащитные свойства ограждения должны исключать переувлажнение материалов атмосферной влагой и за счет диффузии водяных паров из помещения. Процессы передачи теплоты, фильтрации и переноса влаги взаимосвязаны, и одно явление оказывает влияние на другое, поэтому определение сопротивлений тепло-, воздухо- и влагопередаче должно проводиться, как общий расчет защитных свойств наружных ограждений здания.

6.4 Минимально допустимое требуемое сопротивление теплопередаче ограждения

Санитарно-гигиенические требования ограничивают понижение температуры t_e на внутренней поверхности ограждений допустимой температурой t_e^{don} . Температура t_e^{don} должна быть такой, чтобы человек, находясь около ограждений, не испытывал интенсивного радиационного охлаждения (должно удовлетворяться второе условие комфортности). Кроме того, на ограждениях недопустима конденсация, поэтому t_e^{don} должна быть выше температуры точки росы $t_{m,p}$ воздуха в помещении.

Формулу для определения минимально допустимого требуемого сопротивления теплопередаче R_{0mp} можно вывести, приняв за основу стационарные условия и записав выражение (2.4) относительно R_0 в виде

$$R_{0mp} = R_{\epsilon} \frac{t_{\epsilon} - t_n}{t_{\epsilon} - \tau_{\epsilon}} \quad (6.11)$$

В формулу необходимо подставить регламентированные величины характеристик, чтобы получить $R_{0тр}$.

В нормах даны значения температуры t_{ϵ} помещений различного назначения и расчетные (нормируемые) перепады температур $t_{\epsilon} - \tau_{\epsilon}^{don} = \Delta t^H$ (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Нормируемые перепады температур Δt^H и допустимые температуры τ_{ϵ}^{don}

Характеристика помещения	Нормируемые и допустимые величины для					
	стены		потолка		пола	
	Δt^H	τ_{ϵ}^{don}	Δt^H	τ_{ϵ}^{don}	Δt^H	τ_{ϵ}^{don}
Повышенные санитарно-гигиенические требования, круглосуточное и длительное пребывание людей ($t_n \approx 20^0 C$)	6	14	4	16	2	18
Ограниченное во времени и кратковременное пребывание людей ($t_n \approx 16^0 C$)	7	9	5,5	10,5	2,5	13,5

Сопротивление теплообмену на внутренней поверхности ограждений R_{ϵ} в нормах принято равным $0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Исключение составляют оребренные поверхности, для которых дана специальная таблица значений R_{ϵ} .

Формула (6.11) написана, как было сказано, в предположении, что в расчетных условиях температурный режим ограждения является стационарным и поэтому за расчетную должна быть принята условная температура t_n . Вопрос выбора рассмотрен в п.6.2. В формулу (6.11) необходимо подставить значения t_n по формуле (6.8) или по рекомендации норм (табл.6.3).

Для отдельных ограждений расчетная разность температур $t_{\epsilon} - t_n$ уточняется введением поправочного коэффициента n , значения которого приведены в СНБ. Коэффициент n учитывает фактическое уменьшение расчетной разности температур для ограждений, которые отделяют отапливаемые помещения от неотапливаемых и непосредственно не омываются наружным воздухом.

Для точного расчета нужно составить тепловой баланс неотапливаемого помещения и определить его температуру.

Формула R_{0mp} с учетом регламентации величин, входящих в (6.11), должна быть записана в виде

$$R_{0mp} \geq R_{\theta} \frac{(t_{\theta} - t_n)n}{\Delta t^n} \geq \frac{(t_{\theta} - t_n)n}{\alpha_{\theta} \Delta t^n} \quad (6.12)$$

6.5 Определение наибольших потерь теплоты помещением

Наибольшие потери теплоты помещением определяют установочную мощность системы отопления. В общем виде потребность в дополнительной теплоте от системы отопления Q_{om} возникает при положительном значении величины теплового баланса

$$Q_{om} = Q_{огр} + Q_u - Q_{mex} - Q_{c.p.} \quad (6.13)$$

где $Q_{огр}$ – теплопотери помещением за счет теплопередачи через наружные ограждения;

Q_u – расход теплоты на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха;

Q_{mex} – внутренние (технологические и бытовые) тепловыделения;

$Q_{c.p.}$ – теплопоступления за счет солнечной радиации.

Потери теплоты через отдельные ограждения определяют по формуле

$$Q_i = \frac{1}{R_{0np}} (t_{\theta} - t_n) n F \eta \quad (6.14)$$

где R_{0np} – приведенное сопротивление теплопередаче ограждения, определяемое с учетом рекомендаций п.3.10;

n – коэффициент, уменьшающий расчетную разность температур $(t_{\theta} - t_n)$;

F – площадь ограждения;

η – коэффициент, учитывающий дополнительные теплопотери через ограждение.

Величина расчетных теплопотерь через отдельные ограждения будет соответствовать коэффициенту обеспеченности $K_{об}$ с учетом которого выбра-

но значение t_n в формуле (6.14).

Наружные ограждения в помещении имеют различную теплоустойчивость. Через ограждение с малой теплоустойчивостью (окна, легкие конструкции) теплопотери при похолодании будут резко возрастать, практически следуя во времени за изменением температуры наружного воздуха. Через теплоустойчивые ограждения потери теплоты при похолодании возрастут немного и во времени эти изменения будут значительно отставать от наружной температуры. Максимальные потери теплоты помещением в расчетных условиях не будут равны сумме потерь через отдельные ограждения. Сложение необходимо провести с учетом сдвига во времени теплопотерь через отдельные ограждения.

В период резкого похолодания, как показывают расчеты и наблюдения, теплопотери через окна составляют до 80% от общих потерь. Основываясь на этих данных, можно также считать, что наибольшие потери теплоты помещением $Q_{пом}$ (рис. 6.5) совпадают во времени с наибольшими теплопотерями через окна. Окна практически не обладают тепловой инерцией, поэтому момент времени и величина наибольших теплопотерь через них практически совпадают во времени и по величине с минимальной наружной температурой.

Величину $Q_{пом}$ в связи с этим удобно определить в виде

$$Q_{пом} = Q_{ок} + \sum Q_i \quad (6.15)$$

где $Q_{ок}$ – наибольшие теплопотери через окна (безинерционные ограждения), определяемые по формуле (6.19) при $t_n = t_{н0} - A_{тн}$;

$\sum Q_i$ – сумма теплопотерь через прочие теплопередающие ограждения помещения в момент наибольших теплопотерь через окна.

Величина Q_i для теплоустойчивого ограждения равна

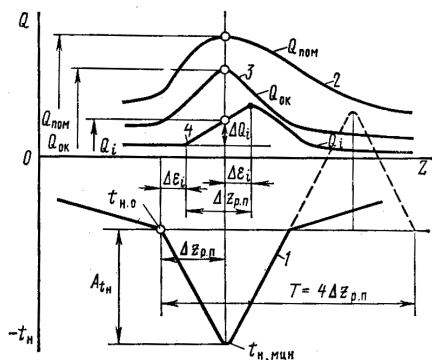


Рис. 6.5 – Определение наибольших теплопотерь помещением в период резкого похолодания: 1 – изменение наружной температуры; 2 – теплопотери помещением, которые складываются из теплопотерь через окна (3), стены и перекрытия (4)

$$Q_i = Q_{i0} + \Delta Q_i \quad (6.16)$$

где Q_{i0} – теплопотери в начале периода резкого похолодания при $t_n = t_{n,0}$ по формуле (6.14);

ΔQ_i – дополнительные теплопотери, соответствующие наружной температуре в момент наибольших теплопотерь через окна.

Разница $\Delta \varepsilon_i$ между временем наступления максимума теплопотерь через теплоустойчивые ограждения и временем минимума наружной температуры с учетом формулы (5.4) равна

$$\Delta \varepsilon_i = 4 \Delta z_{p,n} (0,113 D_i - 0,017) \quad (6.17)$$

где D_i – характеристика тепловой массивности, рассчитанная по формуле (5.4) для периода $T = 4 \Delta z_{p,n}$.

Теплопотери Q_i изменяются практически линейно, следуя за изменением наружной температуры, поэтому величина ΔQ_i может быть определена как

$$\Delta Q_i = \frac{1}{R_{0np_i}} \psi_i A_n n_i F_i \frac{\Delta z_{p,n} - \Delta \varepsilon_i}{\Delta z_{p,n}}, \quad (6.18)$$

где ψ_i – коэффициент теплоинерционности ограждения, учитывающий нестационарность теплопередачи; A_n – амплитуда колебания температуры наружного воздуха; n_i – коэффициент, уменьшающий расчетную разность температур; F_i – площадь ограждения; $\Delta z_{p,n}$ – продолжительность периода резкого похолодания; $\Delta \varepsilon_i$ – разница между временем наступления максимума теплопотерь через теплоустойчивые ограждения и временем минимума наружной температуры.

При расчете теплопотерь через конструкцию пола по грунту учитывая большую тепловую массивность грунта, величиной $\Delta Q_{пг}$ можно пренебречь.

При определении установочной тепловой мощности системы отопления по СНБ теплопотери через отдельные ограждения рассчитывают при $t_n = t_5$. Из предыдущего рассмотрения теплового режима ограждения в период резкого похолодания видно, что определенная по рекомендациям норм потеря теплоты за счет теплопередачи может заметно отличаться от максимальных (для принятого $K_{об}$) значений.

Необходимое количество теплоты на нагрев инфильтрующегося в помещение наружного воздуха определяется по формуле

$$Q_u = L_u c p_n (t_e - t_n) A \quad (6.19)$$

где L_u – часовой объем инфильтрующегося наружного воздуха;

c – массовая теплоемкость воздуха; ρ_n – плотность наружного воздуха;

A – коэффициент, учитывающий влияние встречного теплового потока (экономайзерный эффект).

В случае отсутствия компенсации вытяжного воздуха подогретым приточным воздухом часовой расход инфильтрующегося наружного воздуха определяется нормируемым по санитарно-гигиеническим условиям воздухообменом.

Для наиболее точного расчета величины Q_u количество инфильтрующегося воздуха L_u необходимо рассчитывать с учетом фактического воздухообмена в здании.

Внутренние теплопоступления складываются из поступлений теплоты от электропотребляющих источников, приборов для приготовления пищи, системы горячего водоснабжения, людей. Существующими нормами (применительно к жилым зданиям) теплопоступления оцениваются величиной порядка 20,9 В на 1 м² площади помещения. Однако, в расчете отопительной нагрузки следует учитывать, что часть этой теплоты расходуется на некоторый догрев воздуха помещения от допустимой (расчетной для системы отопления) температуры до оптимальной, а также на неизбежный перегрев уходящего вентиляционного воздуха.

В настоящее время при определении расчетной отопительной нагрузки нормы не учитывают теплопоступления за счет солнечной радиации. Однако на тепловой баланс помещений, а следовательно, и на режим работы отопления они оказывают существенное влияние, что особенно важно при определении текущей отопительной нагрузки, выборе схем и режима регулирования системы отопления.

Точный учет возможных теплопоступлений в помещения является дополнительным резервом для уменьшения тепловой нагрузки системы отопления и экономии теплоты.

6.6 Обогрев помещения

Отопительный прибор передает теплоту от теплоносителя системы отопления обогреваемому помещению. Его конструкция, способ установки и присоединения к системе отопления должны всесторонне оцениваться по теплотехническим, экономическим, техническим и эстетическим показателям. Для этого определяют количество затрачиваемой на обогрев помещения теплоты, оптимальные формы прибора, доли отдаваемой им конвективной и лучистой теплоты и оценивают степень оптимальности микроклимата, создаваемого нагревательным прибором.

Использование прибора той или иной конструкции и его установка в различных местах помещения не должны приводить к заметному перерасходу теплоты. Показателем, оценивающим эти свойства, является отопительный эффект прибора. Он показывает отношение количества отдаваемой прибором теплоты для создания в помещении заданных тепловых условий к расчетным потерям теплоты.

Считается, что наилучшим отопительным эффектом обладают панельно-лучистые приборы, установленные в верхней зоне помещения или встроенные в конструкцию потолка. По данным отдельных авторов, у таких приборов отопительный эффект равен $0,9 \div 0,95$, т.е. теплоотдача потолочных панелей-излучателей может быть даже несколько ниже расчетных теплотерь помещения, без ухудшения комфортности внутренних условий. У нагретой поверхности пола отопительный эффект равен $\sim 1,0$.

Наиболее распространенные приборы-радиаторы обычно устанавливают в нишах или около поверхности наружной стены. Поверхность за радиатором перегревается, и теплота бесполезно теряется через эту часть наружной стены. Отопительный эффект радиаторов оценивают величиной $1,04 \div 1,06$. Лучше радиатора оказываются конвекторы, располагаемые вдоль наружной стены. Отопительный эффект, например, плинтусного конвектора равен $1,03$. Подоконная панель, встроенная в конструкцию наружной стены, имеет заметные бесполезные потери теплоты и ее отопительный эффект равен $1,1$.

Комфортность тепловой обстановки в помещении зависит не только от количества поступающей теплоты, но и от места установки нагревательного прибора в помещении, а также его геометрии. Нагревательные приборы, ком-

пенсирова теплопотери, должны также выполнять роль локализаторов источников холода в помещении. Поэтому нагретая поверхность прибора и струя теплого воздуха над ним должны предупредить радиационное переохлаждение и попадание холодных токов воздуха в обслуживаемую зону помещения.

Идеальным в этом отношении является решение, когда все наружные ограждения равномерно обогреваются и в помещении отсутствуют охлаждаемые поверхности.

Хорошие тепловые условия в помещении создают приборы, расположенные под окнами вдоль наружной стены. В этом случае обслуживаемая зона и особенно область у пола помещения, которая особенно подвержена переохлаждению ниспадающими токами воздуха, защищается в тепловом отношении наиболее эффективно.

В детских яслях и садах желательно устраивать обогреваемый пол или применять плинтусные приборы, равномерно обогревающие по периметру всю нижнюю зону помещения. Специальные теплые дорожки делаются в помещении бассейнов. Обогрев пола желателен в вестибюлях и переходах. В промышленных цехах необходим специальный подогрев холодных перекрытий и фонарей, который должен предупредить образование «падающих» в рабочую зону токов холодного воздуха. В верхней зоне помещения располагают приборы-излучатели, которые подвешивают в виде лент на некотором расстоянии от потолка. Излучением теплоты они равномерно обогревают ра-

бочую зону. Конвективная составляющая их теплоотдачи нагревает воздух и компенсирует теплопотери перекрытия, предупреждая образование холодных токов воздуха.

В помещениях небольшой глубины, когда расстояние от наружных стен до противоположной внутренней стены невелико, приборы можно располагать у внутренних стен. Система отопления в этом случае называется компактной. Оценка эффективности обогрева помещения при различных нагревательных приборах может быть приближенно дана по распределению температуры по высоте помещения (рис. 6.6). Образование тепловой подушки у

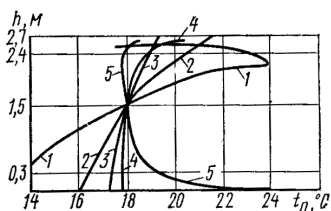


Рис. 6.6 – Распределение температуры воздуха по высоте помещения при различных видах отопления:

- 1 – печном; 2 – воздушном;
- 3 – радиаторном;
- 4 – потолочной отопительной панелью;
- 5 – напольной отопительной панелью

ние тепловой подушки у потолка и перегрев верхней зоны помещения увеличивают потери теплоты. Наилучшим является обогрев при равномерном распределении температуры по высоте.

6.7 Локализация холодных токов воздуха

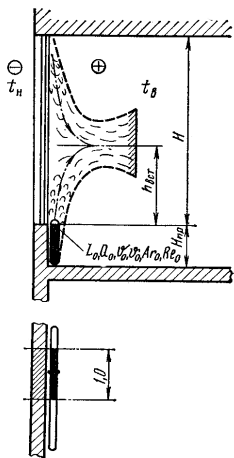


Рис. 6.7 – Локализация отопительным прибором холодных ниспадающих потоков воздуха от окна

Для защиты помещения со светопрозрачными ограждающими конструкциями (окна, витрины) от ниспадающих холодных токов воздуха наряду с восходящими динамическими струями от систем кондиционирования воздуха и приточной вентиляции могут использоваться также отопительные приборы. Около отопительного прибора образуется восходящий ток воздуха. Он поднимается вверх, навстречу холодному потоку от окна. На некоторой высоте над прибором эти струи воздуха смешиваются и продолжают движение от поверхности в помещение (рис. 6.7). Для использования расчетных формул нужно определить кинематический импульс E_0 и избыточное теплосодержание Q_0 восходящего потока воздуха у верхней границы нагревательного прибора. Эти характеристики определяют начальные параметры восходящей тепловой струи, высоты встречи струй $h_{вст}$ и направления движения смешанной струи.

Отопительный прибор (рис.6.7) имеет вертикальную поверхность, условная площадь которой равна произведению периметра P , проекции прибора в плане, на высоту $h_{н.п.}$ прибора. Тепловой поток q_k от поверхности к воздуху равен отношению конвективной составляющей $Q_{н.п.к.}$ теплоотдачи нагревательного прибора к площади поверхности теплоотдачи $Ph_{н.п.}$.

$$q_k = Q_{н.п.к.} / (Ph_{н.п.}) \quad (6.20)$$

Прибор имеет обычно две вертикальные параллельные наружной стене поверхности. В пределах 1м ширины наружной стены кинематический им-

пульс струи над прибором равен

$$E_0 = 2(0,7 \cdot 10^{-5})^{2/3} q_k^{2/3} h_{н.н}^{5/3} = 0,366 \cdot 10^{-3} (Q_{н.н.к.}/P)^{2/3} h_{н.н} \quad (6.21)$$

$$E_0 = 2(0,0294)^{2/3} q_k^{2/3} h_{н.н}^{5/3} = 0,191 (Q_{н.н.к.}/P)^{2/3} h_{н.н}$$

Расход теплого воздуха L_0 над прибором равен

$$L_0 = 2 \cdot 0,72 \cdot 10^{-2} q_k^{1/3} h_{н.н}^{4/3} = 1,44 \cdot 10^{-2} (Q_{н.н.к.}/P)^{1/3} h_{н.н}^{4/3} \quad (6.22)$$

$$L_0 = 2 \cdot 0,116 q_k^{1/3} h_{н.н}^{4/3} = 0,232 (Q_{н.н.к.}/P)^{1/3} h_{н.н}^{4/3}$$

Ширина этих двух струй теплого воздуха над прибором равна по формуле (1.42) $0,28h_{н.н}$ и поэтому средняя скорость v_0 теплого воздуха в этом сечении

$$v_0 = L_0 / (0,28h_{н.н}) \quad (6.23)$$

Начальное избыточное теплосодержание воздуха в струе Q_0 равно конвективной теплоотдаче прибора

$$Q_0 = Q_{н.н.к} \quad (6.24)$$

Средняя избыточная температура ϑ_0 воздуха в струе над прибором

$$\vartheta_0 = Q_0 / (c_p L_0) \quad (6.25)$$

Задача расчета состоит обычно в определении высоты $h_{встр}$ встречи струй, направления движения и температуры смешанной струи.

В случае больших остекленных поверхностей отопительный прибор должен быть рассчитан на локализацию ниспадающих холодных токов. Наилучшим прибором для решения этой задачи является конвектор в кожухе. Изменяя подачу теплоты и высоту кожуха, можно обеспечить нужные условия. Расчет теплового и гидравлического режимов конвектора может прово-

даться по методике расчета вентилируемой прослойки, которая рассмотрена в п. 2.4.

Для конвекторов с кожухом значения v_0 и ϑ_0 могут быть определены по графикам рис. 6.8, для радиаторов и стальных панелей – по графикам рис. 6.9.

С учетом найденных значений v_0, ϑ_0 определяют значения критериев Ar_0 и Re_0 , необходимых для дальнейшего расчета:

$$Ar_0 = 0,033 \vartheta_0 a / v^2 \quad (6.26)$$

где a принимается для конвекторов с кожухом, равным ширине прибора; для радиаторов a рассчитывается по формуле

$$a = 3,5 Q_{н.п.к} / (v_0 \vartheta_0) \quad (6.27)$$

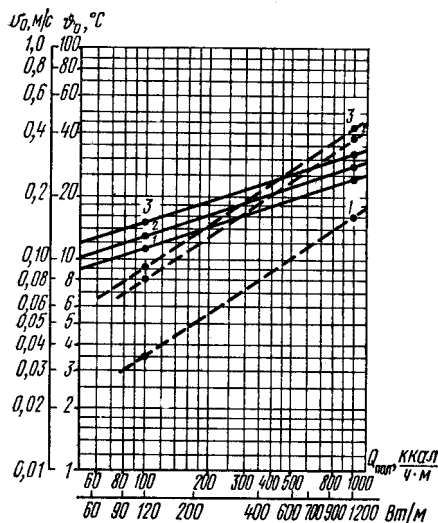


Рис. 6.8 – Средняя скорость v_0 ——— и избыточная температура $\vartheta_0 = t_0 - t_e$ ---- над конвекторами:
1 – конвектор типа Н-1 – Н-3; 2 – конвектор типа Н-4 – Н-12; 3 – конвектор типа Н-13 – Н-15

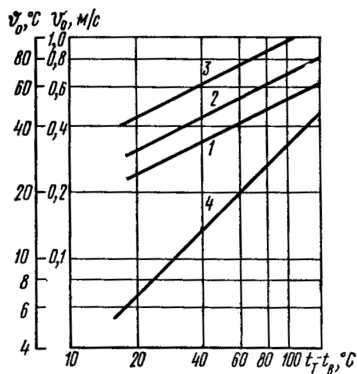


Рис. 6.9 – Зависимость v_0 (1, 2, 3) и ϑ_0 (4) от перепада температур между теплоносителем t_m и воздухом t_e для радиаторов и стальных панелей:
1 – $H_{пр} = 0,3$ м; 2 – $H_{пр} = 0,5$ м; 3 – $H_{пр} = 1,0$ м ($H_{пр}$ – высота прибора)

Величина конвективной составляющей теплоотдачи отопительного прибора $Q_{нт,к}$ принимается равной: для чугунных радиаторов – $0,7Q_{полн}$ полной теплоотдачи отопительного прибора; для стальных панелей – $0,5Q_{полн}$.

6.8 Допустимая температура остекления

Низкая температура ограждений приводит наряду с образованием ниспадающих токов воздуха к интенсивному радиационному охлаждению помещения. Отопительный прибор под окном должен в определенной мере улучшить и радиационный режим в этой части помещения. Тепловые условия могут быть улучшены, прежде всего, усилением теплозащиты окна и повышением температуры его внутреннего стекла, но также и увеличением поверхности и температуры прибора под ним.

Комфортность тепловой обстановки в помещении в большой мере зависит от температуры окна, интенсивности «холодного» излучения с его поверхности в сторону человека. Зная минимальную температуру этой поверхности, можно правильно выбрать необходимое сопротивление теплопередаче конструкции заполнения оконного проема.

Допустимую температуру окна различного размера можно определить, воспользовавшись требованием второго условия комфортности, которое определяет допустимую величину теплоотдачи излучением $q_{ч}^{\eta}$ с поверхности человека, находящегося в непосредственной близости от холодной поверхности. Использование этого условия дает возможность связать геометрические размеры и допустимую температуру окна.

Уравнение баланса лучистого теплообмена $q_{ч}^{\eta}$ элементарной площадки на поверхности тела человека, стоящего около окна и нагревательного прибора (рис. 6.10), может быть записано в виде

$$q_{ч}^{\eta} = C_{ч-ок} \Phi_{ч-ок} b_{ч-ок} (\tau_{ч} - \tau_{ок}) + C_{ч-пр} \Phi_{ч-пр} b_{ч-пр} (\tau_{ч} - \tau_{пр}) + C_{ч-н.с} \Phi_{ч-н.с} b_{ч-н.с} (\tau_{ч} - \tau_{н.с}) + C_{ч-в.с} \Phi_{ч-в.с} b_{ч-в.с} (\tau_{ч} - \tau_{в.с}) \quad (6.28)$$

В этом уравнении можно принять заданными температуры: человека – $\tau_{ч}=31^{\circ}$, поверхности наружной стены – $\tau_{н.с}=12^{\circ}$, поверхностей внутренних стен, пола и потолка – $\tau_{в.с}=18^{\circ}$, а также коэффициенты приведенного излуче-

ния $C_{ч-ок} \approx C_{ч-пр} \approx C_{ч-в.с} = 4,0$ и температурные коэффициенты: $b_{ч-ок} = 0,98$; $b_{ч-пр} = 1,27$; $b_{ч-н.с} = 1,02$; $b_{ч-в.с} = 1,06$. С учетом этих величин уравнение может быть записано относительно температуры поверхности окна:

$$\tau_{ок} = 31 - 39,6 \frac{\varphi_{ч-пр}}{\varphi_{ч-ок}} + 19,9 \frac{\varphi_{ч-н.с}}{\varphi_{ч-ок}} + 14,4 \frac{\varphi_{ч-в.с}}{\varphi_{ч-ок}} - 12,7 \tau_{пр} \frac{\varphi_{ч-пр}}{\varphi_{ч-ок}} - \frac{q_{ч}^{\lambda}}{4,56 \varphi_{ч-ок}} \quad (6.29)$$

В этом уравнении температура окна $\tau_{ок}$ зависит от геометрических размеров отдельных поверхностей, которые связаны с коэффициентами облученности φ , от температуры нагревательного прибора $\tau_{пр}$ и допустимой величины излучения $q_{ч}^{\lambda}$. Уравнение в таком виде сложно для расчетов, но его можно упростить, приняв осредненную по коэффициентам облученности температуру всех окружающих окно поверхностей равной 15°C . Тогда уравнение для $\tau_{ок}$ запишется

$$\tau_{ок} = 14 - (q_{ч}^{\lambda} / 4,56 - 17) / \varphi \quad (6.30)$$

где $\tau_{ок}$ зависит только от коэффициента облученности от человека в сторону окна $\varphi_{ч-ок} = \varphi$ и величины $q_{ч}^{\lambda}$.

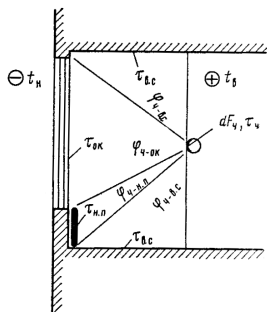


Рис. 6.10 – Баланс элементарного теплообмена на поверхности головы человека, стоящего у окна, под которым расположен нагревательный прибор

Для поверхностей охлаждающих панелей верхний предел $q_{ч}^{\lambda}$ принят равным $q_{ч}^{\lambda} \leq 70 \text{ Вт/м}^2$. Применительно к окнам этот предел должен быть несколько повышен. Величину $q_{ч}^{\lambda}$ можно определить, воспользовавшись опытом благоприятной эксплуатации помещений.

Величина $q_{ч}^{\lambda}$ при расстоянии от человека до окна 1,0 м (на границе обслуживаемой зоны помещения) может быть принята равной около 93 Вт/м^2 , а

$$\tau_{ок} \geq 14 - 4,4 / \varphi \quad (6.31)$$

Уравнение (6.31) можно принять в качестве основного условия, определяющего допустимую

температуру внутренней поверхности окна.

Во многих случаях может оказаться целесообразным развить поверхность или увеличить температуру подоконного прибора при слабой теплозащите или большой площади поверхности окна. Уравнение для $\tau_{ок}$ с учетом принятых допущений в этом случае можно написать так:

$$\tau_{ок} = 14 - \frac{4,4}{\Phi_{ч-ок}} - (1,27\tau_{np} - 22,6) \frac{\Phi_{ч-np}}{\Phi_{ч-ок}} \quad (6.32)$$

Данными п.6.7 и п.6.8 можно воспользоваться для расчета нагревательного прибора как из условия локализации ниспадающих холодных токов воздуха, так и из условия уменьшения неприятного отрицательного излучения с холодных поверхностей в сторону помещения. Предложенные способы позволяют рассчитать необходимую теплозащиту окна или интенсивность нагрева и геометрию прибора при произвольной площади остекления в помещении.

6.9 Теплопередача отопительного прибора

Через стенки отопительного прибора теплота, аккумулированная теплоносителем передается обогреваемому помещению. Схема теплообмена в отопительном приборе показана на рис. 6.11.

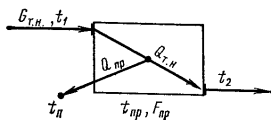


Рис. 6.11– Схема теплопередачи отопительного прибора

Обычно предполагают, что отопительный прибор и теплоноситель в нем имеют пренебрежимо малую тепловую инерцию, поэтому количество теплоты $Q_{т.н.}$ отданное теплоносителем, в каждый момент времени равно количеству теплоты Q_{np} , передаваемому помещению:

$$Q_{т.н.} = Q_{np} \quad (6.33)$$

Теплоотдачу нагревательного прибора Q_{np} определяют с помощью основного уравнения теплопередачи в виде

$$Q_{np}=(1/R_{np})(t_{np}-t_n)F_{np} \quad (6.34)$$

В этом уравнении принято, что количество отданной теплоты пропорционально разности между средней температурой теплоносителя в приборе t_{np} и температурой обогреваемого помещения t_n . Температура теплоносителя в приборе зависит от конструкции прибора и способа его присоединения к системе, вида и параметров теплоносителя. Обычно в расчетах принимают среднюю температуру теплоносителя равной

$$t_{np}=(t_1+t_2)/2 \quad (6.35)$$

В приборах, соединенных последовательно или выполненных в виде змеевика, теплоноситель изменяет температуру по ходу движения по логарифмическому закону. Все отклонения, вызванные несоответствием фактической величины t_{np} с определенной по формуле (6.35), учитываются в расчетах приборов введением поправочных коэффициентов (п.6.4).

Величина F_{np} в формуле (6.34) есть внешняя, обычно искусственно развита за счет приливов, утолщения стенки и оребрения теплоотдающая поверхность прибора, омываемая воздухом. Сопротивление теплопередаче отопительного прибора R_{np} , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, равно

$$R_{np}=R_g+R_m+R_n \quad (6.36)$$

Сопротивление тепловосприятию R_g от теплоносителя к внутренней поверхности стенки нагревательного прибора площадью $F_{г.н}$ должно быть отнесено к F_{np} поэтому

$$R_g=\frac{1}{\alpha_g} \frac{F_{np}}{F_{г.н}} \quad (6.37)$$

Коэффициент теплообмена α_g между теплоносителем и внутренней поверхностью стенки прибора определяется в основном скоростью движения теплоносителя в приборе. Зависимость $1/\alpha_g$ от расхода воды G и диаметра внутренней полости прибора d приведена на рис. 6.12.

С увеличением расхода воды коэффициент теплообмена сначала замет-

но возрастает, а при больших расходах практически остается неизменным. В чугунных радиаторах, наиболее распространенном виде приборов, скорость движения воды в колонках секций обычно небольшая (около 0,01 м/с) и $a_e \approx 60 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

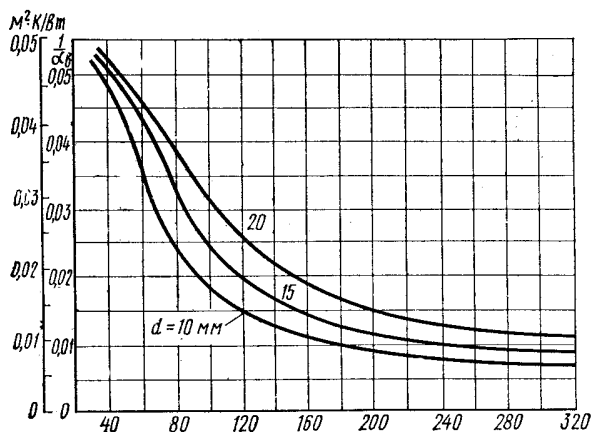


Рис. 6.12 – Зависимость $1/\alpha_e$ от расхода воды и условного диаметра внутренней полости прибора

Отношение $F_{np}/F_{e,n}$ для них равно $\sim 1,3$ и R_e составляет

$$R_e \approx 1,3/60 = 2,17 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт} \quad (6.38)$$

Сопротивление R_m теплопроводности стенки прибора можно определить в виде

$$R_m = \frac{\Delta F_{np}}{\lambda F_{e,n}} \quad (6.39)$$

В чугунном радиаторе толщина Δ стенки обычно меньше 0,01 м, λ чугуна равно $\sim 47 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ и сопротивление

$$R_m \approx 0,01 \cdot 1,3/47 = 0,277 \cdot 10^{-3} \quad (6.40)$$

Для радиаторов R_e и R_m оказываются пренебрежимо малыми.

В бетонных панелях с замоноличенными змеевиками из труб сопротивление теплопроводности R_m бетонного массива от труб к поверхности панели имеет значительную величину и зависит от диаметра труб d , расстояния (шага) между ними s , глубины расположения от поверхности h , теплопроводности материала массива панели λ , а также от конструкции панели. Обычно для панелей определяют сопротивление R_m массива, отнесенное к 1 м трубы, расположенной в ряду замоноличенных труб, при коэффициенте теплопроводности материала массива $l = 1 \text{ Вт/(м·К)}$. Величина R_m зависит только от геометрии конструкции панели.

На рис. 6.13, а, б приведен график для определения R_m для панелей с односторонней (а) и двусторонней (б) теплоотдачей.

Величина R_m , $\text{м}^2\cdot\text{К/Вт}$, связана с сопротивлением R_m зависимостью

$$R_m = R_m \cdot s \cdot \frac{1}{\lambda} \quad (6.41)$$

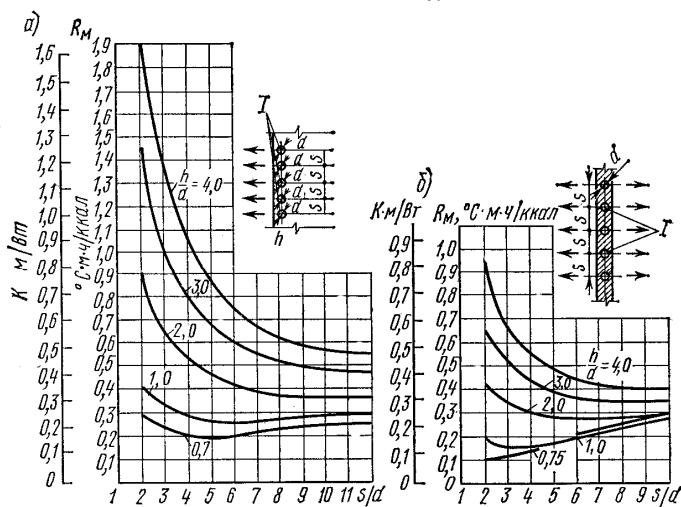


Рис. 6.13 – Сопротивление теплопроводности массива панели от трубы к поверхности: I – средние трубы

Сопротивление теплообмену R_n на внешней поверхности прибора (к ее площади F_{np} относят все составляющие R_{np}) равно

$$R_n = 1/\alpha_n \quad (6.42)$$

где α_n – коэффициент теплообмена на нагретой поверхности прибора в помещении.

Обычно внешняя поверхность нагревательных приборов оребрена. Влияние оребрения можно учесть при определении R_n следующим образом.

Количество теплоты Q , которое передает одиночное ребро толщиной 2δ , шириной a и высотой l от основания, температура которого τ_0 , окружающей среде с температурой t_e можно определить по формуле

$$Q = 2a\sqrt{\alpha_n \delta \lambda} \operatorname{th} \sqrt{B_l} (\tau_0 - t_e) \quad (6.43)$$

Численные значения гиперболического тангенса $\operatorname{th} \sqrt{B_l}$ приблизительно равны $\sqrt{B_l}$ до значений, равных $\sim 0,5$; при значениях $\sqrt{B_l} > 2,0$ он практически равен 1,0. Отсюда можно сделать следующие выводы. При значениях $\sqrt{B_l} < 0,5$, когда $\operatorname{th} \sqrt{B_l} \approx \sqrt{B_l}$ теплопередача Q с поверхности ребра равна

$$Q = 2a\sqrt{\alpha_n \delta \lambda} \sqrt{B_l} (\tau_0 - t_e) \quad (6.44)$$

После подстановки значения B_l получим

$$Q = 2al\alpha_n (\tau_0 - t_e) = F_p \alpha_n (\tau_0 - t_e), \quad (6.45)$$

где $2al = F_p$ – площадь поверхности ребра.

Отсюда следует, что для оребрения при условии $\alpha_n l^2 / (\lambda \delta) < 0,25$ сопротивление теплопроводности толщ самих ребер можно не учитывать, а сопротивление теплообмену на оребренной наружной поверхности R_n можно определять по формуле (6.42).

Для чугунных приборов при $\alpha_n \approx 9,3(8)$ и толщине ребра $2\delta \approx 0,005$ м со-

противление теплообмену на внешней поверхности R_n можно рассчитывать по формуле (6.42) при высоте ребер l , меньшей

$$l < \sqrt{\frac{0,25 \cdot 47 \cdot 0,005}{9,3 \cdot 2}} = 0,056 \text{ м} \quad (6.46)$$

т. е. практически во всех случаях реальных конструкций, у которых высота приливов меньше 5 см.

При значении $\sqrt{B_l} > 2,0$, когда $\text{th} \sqrt{B_l} = 1,0$, теплоотдача Q не зависит от l и не возрастает при увеличении высоты ребра. После подстановки в формулу (6.44) значения $\text{th} \sqrt{B_l} = 1$ имеем

$$Q = 2a \sqrt{\alpha_n \delta \lambda} (\tau_0 - t_e) = \frac{1}{R_n} a (\tau_0 - t_e) \quad (6.47)$$

Таким образом, при

$$\alpha_n l^2 / (\lambda \delta) > 4 \quad (6.48)$$

сопротивление теплообмену на оребренной поверхности не зависит от l и величина его постоянна. Отнесенная к 1 м длины ребра величина сопротивления теплообмену R_n , $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$, равна

$$R'_n = 1 / (2 \sqrt{\alpha_n \delta \lambda}) \quad (6.49)$$

В стальных приборах с ребрами толщиной 0,003 м нет смысла делать их высоту l больше, чем

$$l > \sqrt{\frac{4 \cdot 0,003 \cdot 58}{2 \cdot 9,3}} = 0,194 \text{ м}. \quad (6.50)$$

так как теплоотдача при этом не будет увеличиваться.

Приведенные формулы можно распространить на цилиндрическое оребрение труб. Для этого в исходное уравнение (6.48) нужно ввести в виде множителя поправочный коэффициент ψ , зависимость которого от $\sqrt{B_l}$ и

отношения внешнего радиуса r_1 оребрения к внутреннему r_2 приведена на рис. 6.14 (за высоту ребра в данном случае принимается разность между радиусами $l=r_1-r_2$). Теплоотдача цилиндрического ребра Q_u равна

$$Q_u = \frac{F_u}{F_p} Q \psi = \frac{Q}{F_p} F_u \psi \quad (6.51)$$

где F_u – площадь цилиндрического ребра; Q/F_p – теплоотдача 1 м² внешней поверхности прямоугольного ребра, имеющего ту же толщину, что и цилиндрические ребра, и высоту $l=r_1-r_2$.

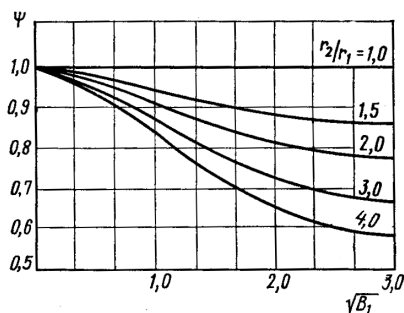


Рис. 6.14 – Зависимость коэффициента ψ от величины B_1 и соотношения радиусов r_2/r_1

Бетонную панель часто располагают не на поверхности, а в произвольном слое многослойной конструкции ограждения (рис. 6.15). В этом случае расчет теплопередачи следует проводить в сторону каждой поверхности панели, принимая трубы каждый раз за тепловую ось симметрии конструкции. Дополнительные материальные слои могут рассматриваться как сопротивления теплообмену. Формулу для расчета сопротивления теплопередаче в сторону

одной из поверхностей при расположении панели с рядом труб в произвольном (рис. 6.15, а) слое конструкции можно записать в виде

$$R_{np} = R_e + R_m + \sum R_i + R_n = \left(\frac{2}{\alpha_e F_e} + \frac{R_m}{\lambda} + \frac{1}{s} \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n s} \right) s = \quad (6.52)$$

$$= \frac{2s}{\alpha_e F_e} + \frac{s}{\lambda} R_m + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\delta_n} + \frac{1}{\alpha_n}$$

где F_e – площадь внутренней поверхности 1м трубы; R_m – сопротивление теплопроводности массива панели при двусторонней теплопередаче, определяемое по рис. 6.13.б; $\sum \delta_i/\lambda_i$ – сопротивление теплопроводности дополнитель-

ных слоев конструкции.

Если панель расположена так, что основная доля теплоты отдается через одну поверхность конструкции (рис. 6.15, б), то сопротивление теплопередаче (в направлении к этой поверхности) рассчитывают по формуле

$$R_{np} = \frac{s}{\alpha_{\theta} F_{\theta}} + \frac{s}{\lambda} R_m + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n} \quad (6.53)$$

где R_m – сопротивление массива панели при односторонней теплопередаче, определяемое по рис. 6.13, а.

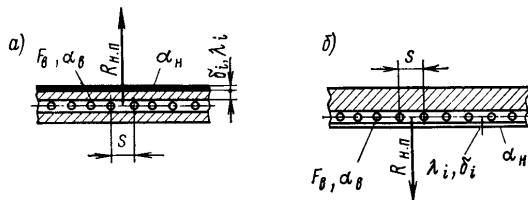


Рис. 6.15 – Расположение бетонной панели в конструкции многослойного ограждения

Теплоотдачу через противоположную поверхность конструкции в этом случае можно рассчитать, определив сопротивление теплопередаче в направлении к этой поверхности по формуле (6.52).

Коэффициент α_n для поверхности нагревательных приборов может быть приближенно определен в виде суммы коэффициентов конвективного α_k и лучистого α_{λ} теплообмена. Для плоской поверхности большой площади зависимость α_n от разности температур поверхности и воздуха приведена на рис. 6.16.

Интенсивность конвективного теплообмена α_k зависит от высоты прибора. Нижняя часть прибора омывается холодным воздухом и отдает больше теплоты, чем верхняя, которая омывается более теплым воздухом. Чем выше прибор, тем меньше в среднем по его поверхности отдача конвективной теплоты. В этом отношении лучшими являются низкие приборы, например, в виде горизонтально расположенных в один ряд гладких или оребренных труб. При расположении нагревающих элементов в приборе в несколько рядов, друг над другом коэффициент теплоотдачи конвекцией уменьшается. В мно-

горядных приборах устраивают специальные направляющие щитки, подводящие холодный воздух к каждому ряду и отводящие нагретый.

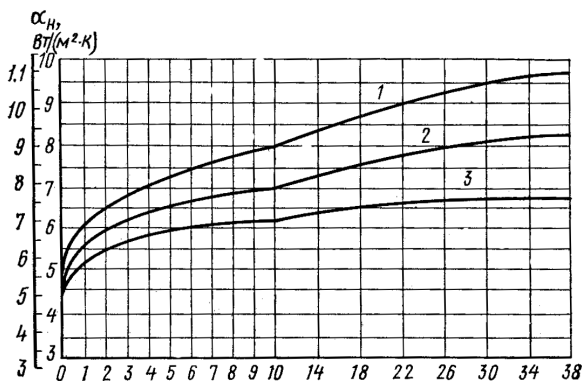


Рис. 6.16 – Ориентировочная зависимость α_n от разности температур поверхности и воздуха для случая плоской поверхности большой площади: 1 – для горизонтальной поверхности при передаче теплоты снизу вверх; 2 – для вертикальной поверхности; 3 – для горизонтальной поверхности при передаче теплоты сверху вниз

Лучистый теплообмен зависит от конструкции приборов. Радиаторы имеют близко расположенные экранирующие друг друга колонки. Большая часть излучения с их наружной поверхности не попадает в помещение. Только до 30% излучаемого поверхностью радиатора теплоты передается помещению.

Коэффициент облученности ϕ в формуле (1.6) в связи с этим для радиаторов равен 0,2–0,3. Для приборов с сильно оребренными поверхностями (типа ребристых труб) доля излучения, попадающая в помещение со всей внешней теплоотдающей поверхности, составляет всего 5–10%.

Если прибор в помещении закрыт, то его теплоотдача излучением уменьшается. При определенном положении закрывающего щитка уменьшение лучистой теплоотдачи сопровождается заметным возрастанием конвективной и общей теплоотдачи прибора. Этот эффект увеличения теплоотдачи используют в современных приборах (конвектор с кожухом).

6.10 Охлаждение помещения при отключении отопления

Теплоустойчивость помещений обычно связывают с действием установившихся периодических тепловых воздействий. Но его теплоинерционные свойства проявляются и при произвольных изменениях режима отопления (например, аварийное отключение отопления; при центральном теплоснабжении подача теплоты системой отопления меняется в зависимости от водозабора в системе горячего водоснабжения и т. д.). При прекращении или частичном изменении подачи теплоты в помещение вначале резко снижается температура воздуха, достигая уровня осредненной температуры поверхностей. Затем температура воздуха и всех ограждений начинает понижаться одновременно. Основные потери теплоты при охлаждении помещения происходят через окна. Массивные наружные ограждения в этот период могут частично даже отдавать теплоту помещению.

При выхолаживании помещения в начале происходит неупорядоченное изменение температур, которое быстро сменяется регулярным понижением температуры. Натурными наблюдениями и лабораторными экспериментами определены значения коэффициента m , которые зависят от конструкций ограждений, положения помещения в здании и др. В табл. 6.4 даны примерные значения коэффициента m , с помощью которых можно рассчитать понижение температуры помещения после прекращения или уменьшения подачи теплоты. В последнем случае конечная температура переходного процесса соответствует новому стационарному режиму теплопередачи.

По мере выхолаживания, как показывают опыты, коэффициент m для помещений уменьшается, что связано со снижением интенсивности конвективного и лучистого теплообмена, заметно влияющего на темп охлаждения помещения.

Таблица 6.4

**Показатель темпа охлаждения помещения в зданиях
различной конструкции**

Конструкции зданий	Степень тепловой массивности, материал, толщина наружных стен	Теплоемкость внутренних конструкций, отнесенная к 1м ³ зданий, кДж/ (м ³ ·К)	Темп охлаждения $m \cdot 10^3$, 1/К
Кирпичные	Массивные из полнотелого красного кирпича толщиной 0,65м	210-250	10-15
	Массивные из семищелевого кирпича толщиной 0,65м	167	19
Крупнопанельные	Средней массивности, керамзитобетонные однослойные толщиной 0,3-0,4м	167-180	20
	Малой массивности, трехслойные с минеральной ватой толщиной 0,25-0,3м	167-180	22
	Малой массивности, трехслойные со стиропором толщиной 0,15-0,2м	150	30
	Легкие трехслойные с сотовым пластом толщиной 0,1-0,15м	130	33
Деревянные-щитовые	Малой массивности, каркасные с заполнением деревянными щитами толщиной 0,1-0,15м	84-105	40-60

6.11 Тепловая характеристика здания

Для теплотехнической оценки конструктивно-планировочных решений зданий пользуются так называемой удельной тепловой характеристикой здания

$$q = \frac{Q}{V(t_e - t_n)} \quad (6.54)$$

где Q – расчетные теплотопотери всех помещений здания; V – объем здания по внешнему обмеру; $t_e - t_n$ – расчетная разность температур для основных помещений.

Величина q определяет расчетные теплотопотери 1 м³ здания, отнесенные к разности температур в 1⁰.

Наружные ограждения здания можно разбить на две группы. К I группе относят ограждения, теплозащитные свойства которых рассчитывают из условия приближенного равенства расчетного R_0 и требуемого R_{0mp} сопротивлений теплопередаче (наружные стены и перекрытия над верхним этажом и подвалом). Расчетные теплотопотери для них не зависят от расчетной разности температур, т.к. в этом случае

$$Q_I = \sum \frac{1}{R_0} (t_e - t_n) F \quad (6.55)$$

$$R_0 \approx R_{0mp} = \frac{R_e (t_e - t_n) n}{\Delta t^n} \quad (6.56)$$

поэтому

$$Q_I = \sum \frac{\Delta t^n F}{R_e n} \quad (6.57)$$

Ко II группе относятся ограждения с заданными теплозащитными свойствами (в основном окна). Расчетные потери теплоты через них Q_{II} равны

$$Q_{II} = K_{II} F_{II} (t_e - t_n) \quad (6.58)$$

Теплотопотери здания, равные

$$Q_{зд} = Q_{оп} + Q_{ок}, \quad (6.59)$$

можно представить в виде

$$Q_{зд} = q_0 a V (t_e - t_n), \quad (6.60)$$

где q_0 – эталонная характеристика, соответствующая разности температур

$\Delta t_0 = 18 - (-30) = 48^\circ \text{C}$; a – коэффициент, зависящий от расчетной разности температур.

Приближенно a можно определить по формуле

$$a \approx 0,54 + 22 / (t_e - t_n), \quad (6.61)$$

которой пользуются при ориентировочных расчетах.

Величина q_0 может быть определена по методике, которую раньше применяли Н.С. Ермолаев, А.М. Шкловер и др. Формулу q_0 для жилых зданий с окнами со спаренными переплетами ($K_{ок} = 2,9$) можно написать в виде

$$q_0 = \frac{(1,2 + 2,3d)F + 1,2s}{V}, \quad (6.62)$$

где S – площадь здания в плане; F – площадь наружных стен; d – доля их остекления.

Для зданий, имеющих отдельные оконные рамы ($K_{ок} = 2,7$) и $R_0 = \beta R_{0mp}$ (где с помощью коэффициента β могут быть учтены изменения R_0 в связи с расчетами оптимального, приведенного сопротивления и пр.) получим

$$q_0 = \frac{(1,2 + 1,5d)F + 1,2s}{\beta V} \quad (6.63)$$

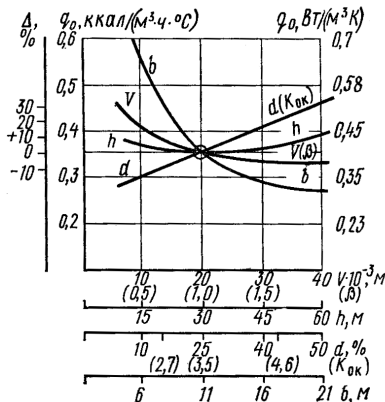


Рис. 6.17 – Зависимость удельной тепловой характеристики здания от его размера

На рис. 6.17 показана зависимость q_0 от характеристик здания. Реперная точка на чертеже соответствует значениям $q_0 = 0,415$ ($0,356$) для здания шириной $b = 11$ м, длиной $l = 30$ м, объемом $V = 20,10^3$ м³, $d = 0,25$, $R_0 = 0,86(1,0)$, $K_{ок} = 3,5(3,0)$. Каждая кривая соответствует зависимости q_0 от одной из характеристик (дополнительные шкалы по оси абсцисс) при неизменных прочих условиях. Вторая шкала на оси ординат показывает эту зависимость в

процентах. Из графика видно, что наибольшее влияние на q_0 оказывает изменение остекленности d и ширины b здания.

Увеличение теплоизоляции стен β незначительно уменьшает тепловую характеристику, между тем как при ее снижении q_0 начинает быстро возрастать. Дополнительная теплозащита оконных проемов (шкала $K_{ок}$) заметно уменьшает q_0 .

Для определения текущей или расчетной отопительной нагрузки взамен удельной тепловой характеристики необходимо использовать более полный показатель $q_{ом}$

$$q_{ом} = \beta(q_{опр} + q_u - q_{tex} - q_{c.p}) \quad (6.64)$$

где β – поправочный коэффициент, учитывающий неизбежные бесполезные потери теплоты арматурой, трубопроводами и т.д. системы отопления;

$q_{опр}$ – удельные теплотери через ограждения за счет теплопередачи;

q_u – удельный расход теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха;

q_{tex} – удельные внутренние (бытовые и технологические) тепловыделения;

$q_{c.p}$ – удельные тепlopоступления за счет солнечной радиации.

Методические указания

При рассмотрении теплового режима помещения зимой надо понимать, что этот период года является наиболее напряженным для работы, как наружных ограждающих конструкций здания, так и систем кондиционирования микроклимата. Проектируя систему отопления зданий, необходимо рассчитывать обогревающие устройства и ограждения помещений так, чтобы они обеспечивали необходимые тепловые условия в помещении в течение всего отопительного периода при наличии холодных и нагретых поверхностей и неравномерности температур и подвижности воздуха в объеме помещения.

Вопросы для самопроверки

1. Что называют коэффициентом обеспеченности расчетных условий?

2. Какие характеристики наружного климата учитываются в холодный период года?
3. Какие показатели определяют теплозащитные свойства наружных ограждений?
4. Как определяется минимально допустимое требуемое сопротивление теплопередаче ограждения?
5. Как определяется установочная мощность систем отопления?
6. Что такое отопительный эффект прибора?
7. Как производится локализация ниспадающих холодных токов воздуха в помещениях со светопрозрачными ограждениями?
8. Из каких условий определяется допустимая температура внутренней поверхности оконного стекла?
9. От каких характеристик здания зависит показатель темпа охлаждения помещения при отключении отопления?
10. Как определяется тепловая характеристика здания?