

# Зимний тепловой режим помещения

ТЕМА 13

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

# Содержание

- ▣ **ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**
- ▣ **ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ РАСЧЕТНЫХ УСЛОВИЙ**

Постоянство температурной обстановки в помещении должно быть выдержано 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.

Интенсивные токи холодного воздуха, потеря тепла излучением или, наоборот, чрезмерное количество излучаемого тепла создают у людей, находящихся в помещении, ощущение неприятного переохлаждения или перегрева. Такая обстановка в помещении может привести к простудным и другим заболеваниям.

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.

Тепловые условия должны соответствовать функциональному назначению помещения и предъявляемым к нему санитарно-гигиеническим требованиям.

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, музеи, т.д. ) возможны небольшие кратковременные отклонения от расчетных .

В зданиях второстепенного назначения, периодически функционирующих, с кратковременным пребыванием людей 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:

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).

Выбор теплозащитных качеств ограждений должен быть основан на расчете, результаты которого зависят от расчетных наружных условий. Обеспечение заданных внутренних условий определяется выбором расчетных параметров наружного климата.

Если для расчета принять наиболее суровые наружные условия, возможные в данном районе, то теплозащита ограждений и тепловая мощность системы должны обеспечить устойчивое выдерживание заданных условий. Если принять в расчет условия более мягкой зимы, то в помещении в отдельные моменты будут наблюдаться отклонения от расчетных условий. Причем эти отклонения будут тем чаще и с тем большей продолжительностью, чем менее суровые наружные условия приняты в расчет. Таким образом обеспечиваются требования заданных внутренних условий при выборе параметров наружного климата, необходимых для расчета теплозащиты ограждений и тепловой мощности отопления.

При выборе расчетных наружных параметров в качестве прогноза на следующие годы принимают данные наблюдений за климатом предшествующего периода. 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 продолжительностью, поэтому с помощью  $K_{об}$  можно характеризовать также выдерживание во времени расчетных условий.

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 определяется совместным действием нескольких метеорологических параметров, которые метеорологами наблюдаются отдельно. 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  $\phi_n$  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 сопровождается определенным изменением другого. Похолодание для большинства континентальных районов связано обычно с понижением скорости ветра  $V_H$ , в то же время в приморских районах похолодание зимой чаще связано с усилением ветра. Но так или иначе между этими параметрами (изменениями  $t_H$  и  $V_H$ ) для разных районов существует определенная связь. События, для которых изменение одного ( $t_H$ ) обычно связано с определенным изменением другого ( $V_H$ ), 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**.

Для зимних условий задача в основном сводится к определению расчетного сочетания зависимых событий  $t_H$  и  $V_H$  с учетом заданной 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 и из событий на условную обеспеченность появления другого события при условии осуществления первого события. Применительно к нашему случаю это означает, что обеспеченность  $K_{ОБ}(t_H, v_H)$  появления одновременно определенной температуры и определенной скорости ветра равна:

$$K_{ОБ}(t_H, v_H) = K_{ОБ}(t_H) \cdot K_{ОБ}(v_H / t_H), \quad (13.1)$$

где  $K_{ОБ}(t_H)$  - обеспеченность появления заданной температуры наружного воздуха;

$K_{ОБ}(v_H / t_H)$  - условная обеспеченность появления скорости ветра  $v_H$  при заданной температуре  $t_H$ .

Если условную обеспеченность появления второго события  $K_{ОБ}(v_H / t_H)$  принять равной единице, то обеспеченность двух событий  $K_{ОБ}(v_H, t_H)$  будет равна обеспеченности первого  $K_{ОБ}(t_H)$  т.е.,

$$K_{ОБ}(t_H, v_H) = K_{ОБ}(t_H) \text{ при } K_{ОБ}(v_H / t_H) \cong 1, \quad (13.2)$$

Расчетное изменение температуры наружного воздуха должно соответствовать коэффициенту  $K_{ОБ}(t_H) = K_{ОБ}(t_H, v_H)$ .

Расчетное значение  $v_H$  нужно принять, исходя из наиболее невыгодного сочетания параметров (наибольшие значения  $v_H$  при разных  $t_H$ ) т.е. сочетания, отвечающего условию  $K_{OB}(v_H / t_H) = 1,0$ .

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

$$K_{OB}(t_H, q) = K_{OB}(t_H) K_{OB}(q), \quad (13.3)$$

Следствием этой теоремы является, например, такая запись:

$$K_{OB}(t_H, q) = K_{OB}(t_H), \quad (13.4)$$

которая справедлива при  $K_{OB}(q) = 1,0$ . При обработке климатических данных можно принимать в качестве расчетной максимальную радиацию, соответствующую  $K_{OB}(q) = 1,0$ , а расчетную температуру определять при заданном значении коэффициента обеспеченности. В табл. 13.1 приведены величины коэффициента  $K_{OB}$  для различных эксплуатационных режимов зданий в расчетных зимних условиях для принятого ряда случаев при обработке климатических данных.

**Таблица 13.1 Коэффициент обеспеченности расчетных условий для холодного периода года**

Характеристика основных помещений	Уровень требований	Коэффициент обеспеченности $K_{об}$
1	2	3
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 пребывание людей	Средний (С)	0,7
Кратковременное пребывание людей	Низкий (Н)	0,5

При выборе расчетных наружных параметров зимнего климата нужно исходить из предпосылок, что расчетные параметры климата должны быть общими для расчета всех составляющих теплового режима помещения. Расчетные значения и сочетания параметров должны определяться с учетом коэффициента обеспеченности. Данные о расчетных климатических условиях должны учитывать необходимость анализа нестационарного процесса теплопередачи, так как 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 приходятся на конец января.

В это время четко обозначается период резкого похолодания, для которого показательно резкое понижение и последующее выравнивание температуры. Для построения кривых расчетного изменения температур желательно максимально использовать все данные наблюдений и в то же время получить температурные кривые обобщенной формы, подчеркивающие типичные закономерности изменения.

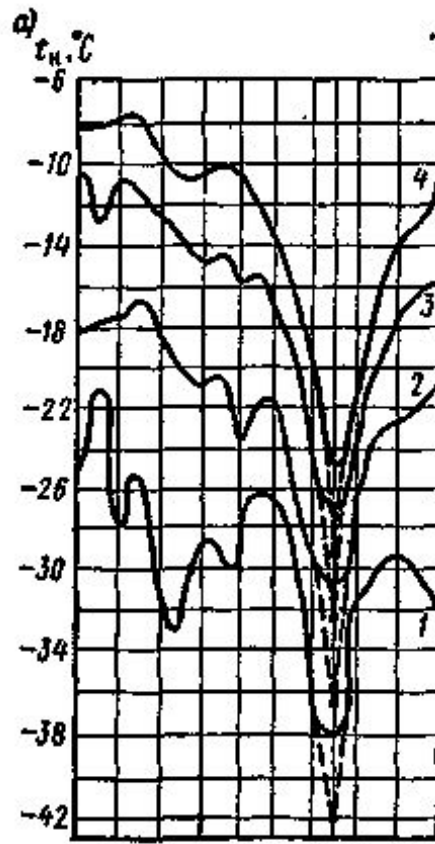
Для получения обобщенной температурной кривой расчетного периода обрабатывают данные наблюдений методами математической статистики. Для этого берут результаты зимних наблюдений наибольшего числа предшествующих лет. В каждую зиму выбирается один период наиболее резкого похолодания. Сутки этого периода 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 ( $K_{об}$ ) равную отношению числа зим минус два ко всему числу зим, и т. д.

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. 1, а.

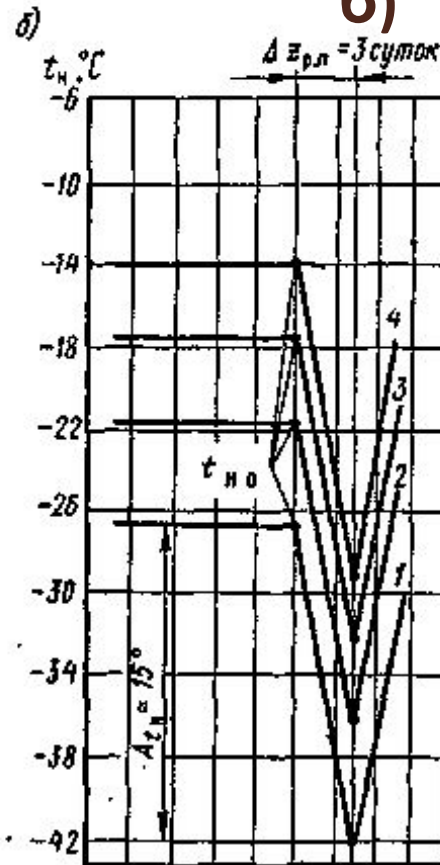
Анализ расчетных кривых для Москвы и для других пунктов показал, что их очертания во всех случаях близки между собой. В период резкого похолодания кривая изменения температуры похожа на треугольную. До этого периода температуры изменяются сравнительно медленно.

а)



НОМЕРА УСЛОВНЫХ  
СУТОК

б)



НОМЕРА УСЛОВНЫХ  
СУТОК

## Рисунок 13.1 Расчетные зимние наружные температуры:

а) кривые изменения среднесуточных температур в период резкого похолодания при коэффициентах обеспеченности 0,98 (1); 0,90 (2); 0,70 (3); 0,50 (4). Пунктиром отмечен ход температуры в наиболее холодные сутки - понижение до минимальной температуры;

б) расчетные кривые изменений 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  $t_{HO}$ , отклонением температуры в этот период от  $t_{HO}$  до минимальной  $t_{H \cdot МИН}$ , т.е.  $A_{tH} = t_{HO} - t_{H \cdot МИН}$  и продолжительностью периода резкого похолодания  $\Delta Z_{p.n.}$  (время понижения температуры от  $t_{HO}$  до  $t_{H \cdot МИН}$ ).

**Таблица 13.2 Расчетные параметры климата холодного периода года для Москвы при разных коэффициентах обеспеченности**

Коэффициент обеспеченности $K_{об}$	Расчетные характеристики климата			
	$t_{HO}$ , °C <sup>OC</sup>	$A_{tH}$ , °C	$\Delta Z_{p.n.}$ , сут	$t_{HO}$ , м/с
1	2	3	4	5
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	-15,8	15,8	3	3,8

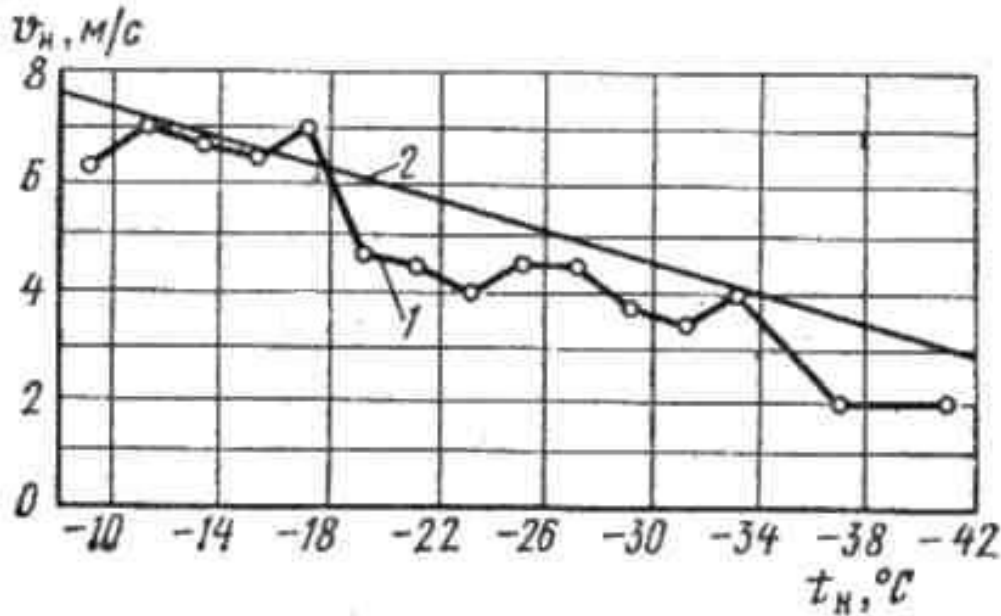


Данные для Москвы характерны тем, что  $\Delta Z_{p.n}$  и  $A_{tH}$  практически не зависят от коэффициента обеспеченности и могут быть приняты постоянными  $Z_{p.n} = 3$  сут,  $A_{tH} = 15^\circ \text{C}$ . Аналогичная обработка данных для Иркутска показала, что  $\Delta Z_{p.n} = 5$  сут. Увеличение  $\Delta Z_{p.n}$  можно объяснить особенностями климата центральной Сибири (по сравнению с Москвой), для которой характерны зимой условия устойчивого антициклона.

Для получения расчетных скоростей ветра при условии (13.2) необходимо получить зависимость  $v_H$  от  $t_H$  соответствующую  $K_{OB} (v_H/t_H) = 1$ . Эта зависимость наиболее невыгодных сочетаний  $t_H$  и  $v_H$  определяет наибольшие скорости, которые наблюдались при различных температурах. На рис.13.2 проведена прямая линия, которая достаточно хорошо отражает общую закономерность. Уравнение этой прямой имеет вид :

$$V_H = 5 + 0,143(t_H + 26) = 8,72 + 0,143t_H, \quad (13.5)$$

В этой формуле скорости ветра приняты по измерениям по высоте 25м от поверхности земли. Как показывают измерения, скорость ветра начиная с 2,0м от поверхности земли возрастает с высотой практически по линейному закону.

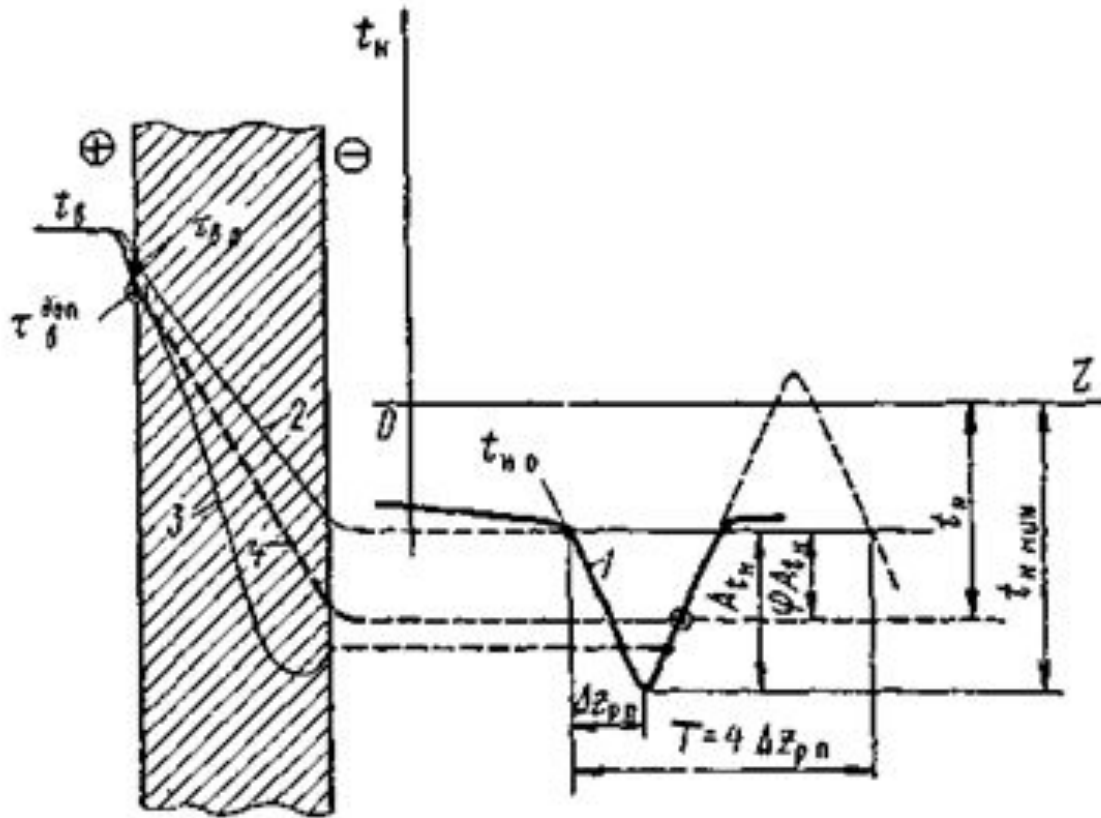


**Рисунок 13.2**  
**Зависимость**  
**скорости ветра от**  
**наружных**  
**температур :**

- 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  $K_{OB}$  ( $v_H/t_H$ ) = 1.

Численные значения  $v_H$  в Москве на высоте 2,0м от земли, определенные для разных коэффициентов обеспеченности, нужно принимать за расчетные.

При медленном понижении температуры до начала периода резкого похолодания, распределение температуры в ограждении в каждый момент времени практически соответствует стационарному.



**Рисунок 13.3**  
**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.

В период резкого похолодания нельзя пренебрегать нестационарностью режима теплопередачи, так как в этот период в каждый момент времени распределение температуры заметно отличается от стационарного. Изменение температуры на внутренней поверхности ограждения  $\tau_B$  будет заметно отставать от изменений  $t_H$ . Понижение  $\tau_B$  за период резкого похолодания *на*  $A_{tB}$  меньше величины, определенной для стационарного режима. Для распределения температур при стационарной теплопередаче отношение между амплитудами:

$$A_{tB} / A_{tH} = R_B / R_O . \quad (13.6)$$

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

$$A_{tB} / \phi A_{tH} = R_B / R_O . \quad (13.7)$$

где  $\phi$  - коэффициент теплоинерционности ограждения, учитывающий нестационарности теплопередачи.

Коэффициент теплоинерционности  $\phi < 1$  показывает, какую долю от  $A_{tH}$ , нужно принять в расчет, чтобы, пользуясь формулой (13.6), получить значение  $A_{tB}$ , которое будет соответствовать фактическому в условиях нестационарного процесса теплопередачи через ограждение.

Расчетная наружная температура  $t_H$  с учетом теплоустойчивости ограждения и коэффициента  $\phi$  может быть определена в виде:

$$t_H = t_{HO} + \phi A_{tH} . \quad (13.8)$$

Зависимость расчетной наружной температуры  $t_H$  от тепловой массивности ограждения  $D = RS$  и коэффициента обеспеченности  $K_{OB}$  для условий Москвы приведена на рис. 13.4. Коэффициент теплоинерционности ограждения, как это следует из формулы (13.7), можно определить по формуле:

$$\phi = R_O / (R_B \cdot v) . \quad (13.9)$$

где  $v = A_{tH} / A_{\tau H}$  - показатель сквозного затухания в ограждении разового отклонения  $A_{tH}$  при изменении температуры по расчетной кривой периода резкого похолодания.

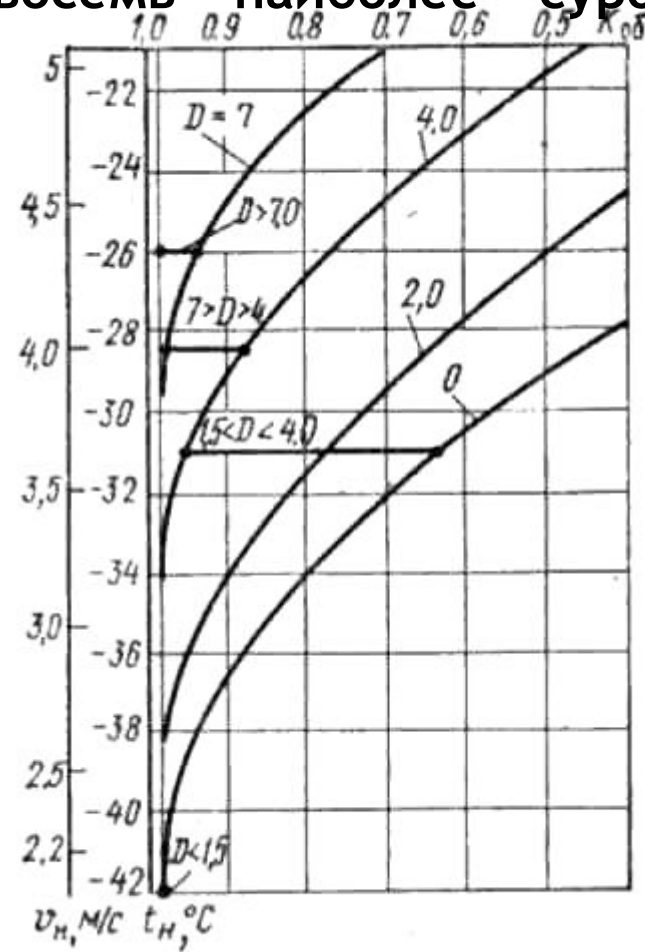
Значения показателя тепловой массивности  $D$ , определенные для условного периода  $T$ , равного  $4Az_{pn}$  (см. рис. 13.3), оказываются меньше 2,5, поэтому для определения  $v$  можно воспользоваться формулой (13.5).

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.

### Рисунок 13.4 Зависимость расчетной наружной температуры и скорости ветра :

Зависимость расчетной наружной температуры  $t_H$  и скорости ветра  $v_H$  для отдельного ограждения от его тепловой массивности  $D$  при разных коэффициентах обеспеченности.

(На графике горизонтальными линиями отмечены наружные температуры, принятые в СНиПе).



СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

# Зимний тепловой режим помещения

ТЕМА 13

