

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра архитектура

72(07)
Ф531

Л.А. Филимоненко

**ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ НАРУЖНЫХ
ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ**

Учебное пособие

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2010

УДК 725.4.011 (075.8)
Ф531

*Одобрено
учебно-методической комиссией
архитектурного факультета.*

*Рецензенты:
С.И. Чикота, Е.В. Фролова*

Филимоненко, Л.А.
Ф531 Теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций зданий: Учебное пособие/ Л.А. Филимоненко – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 30с.

В учебном пособии кратко изложен необходимый материал для выполнения теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий в курсовых и дипломных проектах.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 270100 «Строительство».

УДК 725.4.011 (075.8)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2010

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие содержит необходимый теоретический и практический материал для выполнения теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий в составе курсовых и дипломных проектов по дисциплинам «Архитектура» и «Архитектура гражданских и промышленных зданий и сооружений».

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 270100 «Строительство» по специальностям: 270102 – «Промышленное и гражданское строительство» и «Технология строительного производства».

Необходимость в пособии обусловлена переориентацией выполняемых расчетов на новые нормативные материалы и изменением, в связи с этим, общей схемы расчетов.

1. ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЗДАНИЙ

1.1. Основные понятия

Перемещение тепла в какой либо среде возможно в условиях, когда температура в отдельных местах неодинакова. Разность температур – необходимое условие для возникновения теплопередачи; при этом передача тепла происходит в направлении более низкой температуры.

При разности температур воздуха внутри и снаружи здания происходит теплопередача через наружные ограждающие конструкции. Различают 3 вида теплопередачи: теплопроводность, конвекция и излучение.

Теплопроводность – это способность материала проводить тепло через свою массу. Степень теплопроводности материала характеризуется величиной его коэффициента теплопроводности λ (Вт/м · °С).

Передача тепла теплопроводностью может происходить в твёрдой, жидкой и газообразной средах; в чистом виде она наблюдается только в сплошных твёрдых телах.

Конвекция – это перенос тепла движущимися частицами жидкости или газа. Она может быть естественной (при воздействии разности температур) и вынужденной (под воздействием внешних факторов – перемешивания или от работы вентилятора и др.).

Излучение может происходить в газообразной среде или в пустоте путём переноса энергии в виде электромагнитных волн между двумя взаимно излучающими поверхностями. При этом на поверхности тела, излучающего тепло, происходит превращение тепловой энергии в лучистую, а на поверхности,

поглощающей лучистое тепло – превращение лучистой энергии в тепловую. Такая передача тепла происходит в воздушных прослойках.

При передаче тепла через ограждающие конструкции зданий теплопередача происходит в основном теплопроводностью.

1.2. Задачи строительной теплофизики

Теплозащитные и санитарно-гигиенические качества наружных ограждающих конструкций зданий, а также степень их долговечности зависят в первую очередь от таких факторов, как температура наружного воздуха, его влажность, скорость и направление ветра, а также от взаимного сочетания суточных и сезонных изменений этих факторов, т.е. перепадов температур.

Все эти вопросы рассматривает **строительная теплотехника** (теплофизика), которая вычленилась в самостоятельную дисциплину из строительной климатологии. **Строительная климатология**, в свою очередь, являлась отраслью общей климатологии* и изучала климатические факторы, влияющие на проектирование зданий и населенных мест.

Особое значение строительная теплотехника и климатология имеют при строительстве в условиях низких температур зимой и резких колебаний температуры вообще.

Основная задача строительной теплофизики при проектировании зданий как искусственной среды жизнедеятельности – обоснование наиболее целесообразных решений ограждающих конструкций, обеспечивающих в помещениях условия, благоприятные для пребывания человека. Комфортные для человека условия подразумевают, прежде всего, создание оптимального микроклимата, который включает состояние воздушной среды помещений по параметрам температуры, влажности и др.

При этом решаются следующие теплотехнические задачи:

- обеспечение необходимой теплозащитной способности наружных ограждений;
- обеспечение на внутренней поверхности ограждений температур, незначительно отличающихся от температуры воздуха помещений, во избежание выделения конденсата;
- обеспечение теплоустойчивости ограждения;
- ограничение воздухопроницаемости наружных ограждений.

От теплофизических качеств ограждающих конструкций зависит количество тепла, теряемое зданием в холодный период года, что влияет на стоимость эксплуатации здания. Эти же качества должны обеспечивать защиту помещений

* Климатологией называется наука, изучающая условия формирования климата и климатический режим различных стран и районов. Ограждающих конструкций, влияющий, в свою очередь, на их теплозащитные качества и долговечность.

от перегрева в теплый период, необходимую температуру внутренней поверхности ограждающих конструкций, а также требуемый влажностный режим

2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Точность теплотехнических расчетов ограждающих конструкций в большой степени зависит от правильного выбора значений теплофизических показателей строительных материалов. Наибольшее значение при этом имеет **теплопроводность** – способность материала проводить тепло через свою массу. Степень теплопроводности материала характеризуется величиной его коэффициента теплопроводности λ (Вт/м · °С).

Значения коэффициентов теплопроводности строительных материалов изменяется в широких пределах: у гранита – 3.5, а у пенопласта – 0.04 Вт/(м · °С). Самая большая теплопроводность у металлов, а из них – у меди ($\lambda = 383$ Вт/(м · °С)).

Для проведения теплотехнических расчетов необходимо знать также и факторы, влияющие на теплопроводность материалов.

Пористость определяет содержание пор в материале и выражается процентным отношением объема пор к общему объему материала. Пористость материала будет тем больше, чем меньше его плотность.

Плотность материала (ρ) – это отношение массы (свойства материала, характеризующего его инерционность и способность создавать гравитационное поле) материала к его объёму, кг/м³. Различают плотность сухого материала – ρ_0 и влажного – ρ_w , кг/м³ [3].

Плотность материала, принимаемая в расчётах, характеризуется весом в кг 1 м³ материала в том состоянии, в котором он будет применяться в строительстве. Обычно – это в сухом состоянии, т.е. ρ_0 (кг/м³).

Для строительных материалов плотность изменяется в пределах от 2800 кг/м³ (для гранита) до 90 кг/м³ (для легких волокнистых материалов – утеплителей). Так, у пенополистирола $\rho_0 = 20$ кг/м³, а пористость – 98% и он относится к так называемым эффективным утеплителям.

Пористость строительных материалов силикатного происхождения изменяется от 0 (для плотных пород гранита) до 90% (для легкого пенобетона).

Т.е. плотность материалов напрямую связана с их пористостью. Чем меньше средняя плотность материала, т.е. чем больше его пористость, тем меньше его коэффициент теплопроводности. С повышением средней плотности материала теплопроводность его возрастает.

Для пористых материалов важна также их влажность, поскольку вода имеет в 25 раз бóльшую теплопроводность, чем воздух.

Влажность материала ($\omega, \%$) оказывает большое влияние на его теплопроводность: с повышением влагосодержания коэффициент теплопроводности также повышается. Влажность выражается в процентах и определяется отношением массы влаги, содержащейся в пористом материале, к массе сухого материала:

$$\omega = m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}} / m_{\text{сух}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $m_{\text{вл}}$ и $m_{\text{сух}}$ – соответственно массы влажного и сухого материала.

В ограждающих конструкциях строительный материал никогда не бывает в абсолютно сухом состоянии и потому влажность в нормальных условиях эксплуатации в данной климатической зоне называется «нормальной влажностью».

Расчетные коэффициенты теплопроводности строительных материалов, используемые в ограждающих конструкциях, выбираются в зависимости от их плотности и условий эксплуатации, определяемых зонами влажности района строительства и влажностными режимами помещений зданий в зимний период года (А – сухой, Б – нормальный) – см. приложения 1 и 2.

Расчетные теплотехнические показатели основных строительных материалов и изделий приведены в табл. П 4 приложения 4.

3. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

3.1. Цель и основные параметры расчета

Цель теплотехнического расчета может иметь два варианта:

1) определить необходимую толщину ограждения (стены, чердачного перекрытия или покрытия и др.) или какого-либо слоя (при многослойной конструкции ограждения, чаще утеплителя);

2) проверить выбранные (назначенные) параметры конструкции ограждения – отвечает ли его толщина необходимой величине теплозащиты.

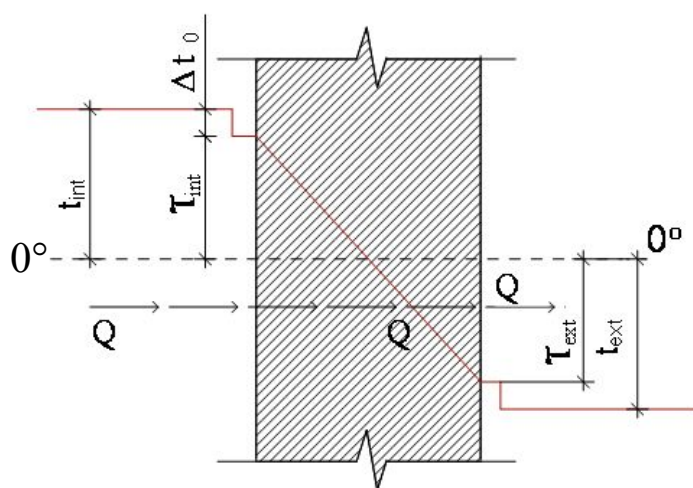
Теплотехнический расчет ограждающих конструкций производится для отапливаемых помещений на зимние условия, когда тепловой поток направлен из помещения в наружную среду.

При расчете теплозащитных свойств ограждающих конструкций рассматривают не теплопередачу (т.е. способность материала стены проводить тепло), а **сопротивление теплопередаче** (R) т.е. величину, обратную коэффициенту теплопередачи (α):

$$R = 1 / \alpha (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}) \quad (2)$$

Сопротивление теплопередаче (R) ограждающей конструкции выражается разностью температур внутреннего и наружного воздуха, при которой тепловой поток через 1 м^2 ограждения будет равен 1 Вт. Следовательно, общим

сопротивлением теплопередаче можно оценить теплозащитные свойства ограждающей конструкции, т.к. чем больше R , тем меньший тепловой поток (Q) будет проходить через ограждающую конструкцию при постоянной разнице температур внутреннего и наружного воздуха (см. рисунок).



Распределение температур в однородной ограждающей конструкции при постоянном тепловом потоке Q

Наружное ограждение рассчитывается как плоская стенка, разделяющая воздушные среды с различной температурой и влажностью, ограниченная параллельными поверхностями и перпендикулярная тепловому потоку Q .

t_{int} – температура воздуха внутри помещения, °C,

τ_{int} , τ_{ext} – соответственно температура теплой и холодной поверхности ограждения, °C,

t_{ext} – температура наружного воздуха, °C,

При передаче тепла через ограждающую конструкцию происходит падение температуры по её толщине от t_{int} до t_{ext} , вызванное приведённым сопротивлением теплопередаче материала стены R_0 . Общий температурный перепад состоит из суммы трёх частных перепадов (см. рисунок):

а) $\Delta t_0 = t_{int} - \tau_{int}$ – температурный перепад Δt_0 возникает по причине того, что температура внутренней поверхности (τ_{int}) ограждающей конструкции в холодный период года ниже чем температура воздуха в помещении;

б) в пределах толщины ограждающей конструкции температурный перепад равен $\tau_{int} - \tau_{ext}$; т.е. между температурой внутренней (τ_{int}) и наружной (τ_{ext}) поверхностями ограждающей конструкции;

в) в свою очередь, температура наружной поверхности конструкции несколько выше температуры наружного воздуха и перепад у этой поверхности составляет $\tau_{ext} - t_{ext}$.

Каждый из этих перепадов вызван конкретным сопротивлением переносу тепла:

- перепад $t_{\text{int}} - \tau_{\text{int}}$ – сопротивлением тепловосприятию $R_{\text{int}} (R_{\text{si}}) = 1 / \alpha_{\text{int}}$;
- перепад $\tau_{\text{int}} - \tau_{\text{ext}}$ – термическим сопротивлением конструкции ограждения $-R_k$;
- перепад $\tau_{\text{ext}} - t_{\text{ext}}$ – сопротивлением теплоотдаче $R_{\text{ext}} (R_{\text{se}}) = 1 / \alpha_{\text{ext}}$,

где α_{int} и α_{ext} – коэффициенты теплоотдачи соответственно внутренней и наружной поверхности ограждения.

Термическое сопротивление R_k ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$) однородного слоя многослойной ограждающей конструкции, а также однослойной ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$R = \delta / \lambda \quad (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}), \quad (3)$$

где δ – толщина слоя, м.

λ – расчётный коэффициент теплопроводности материала слоя $\text{Вт} / (\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, принимаемый по таблице приложения 4 [3].

Из формулы (3) видно, что термическое сопротивление каждого слоя конструкции прямо пропорционально его толщине и обратно пропорционально коэффициенту теплопроводности материала, из которого он выполнен.

Термическое сопротивление ограждающей конструкции R_k ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$) с последовательно расположенными однородными слоями определяется как сумма термических сопротивлений отдельных слоёв:

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots R_n + R_a \cdot l, \quad (4)$$

где $R_1, R_2 \dots R_n$ – термические сопротивления отдельных слоёв ограждающей конструкции ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$), определяемые по формуле (3);

$R_a \cdot l$ – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки (при её наличии), принимаемое по [3, табл. 7].

Приведённое сопротивление теплопередаче R_0 ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$) однородной однослойной или многослойной ограждающей конструкции с однородными слоями определяется по формуле:

$$R_0 = R_{\text{si}} + R_k + R_{\text{se}}, \quad (5)$$

где $R_{\text{si}} = 1 / \alpha_{\text{int}}$, α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, ($\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

$R_{\text{se}} = 1 / \alpha_{\text{ext}}$, α_{ext} – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающих конструкций, для условий холодного периода.

$R_k = \sum \delta i / \lambda i$, δi и λi – то же, что в формуле (3) для каждого слоя.

В теплофизических расчётах гладких ограждающих конструкций отапливаемых зданий α_{int} принимается равным $8,7 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ([2], табл. 7).

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающих конструкций в расчётах принимается: $\alpha_{\text{ext}} = 23 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ – для стен и от 1 до 6 $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ – для покрытий в зависимости от их вида ([3], табл. 8).

3.2. Методика проектирования тепловой защиты здания

Нормами установлены 3 показателя тепловой защиты здания [2, 3]:

- а) приведённое сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания;
- б) санитарно-гигиенический, включающий температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и на поверхности ограждающих конструкций и температурой на внутренней поверхности выше точки росы;
- в) удельный расход тепловой энергии на отопление здания.

Требования тепловой защиты будут выполнены, если в жилых и общественных зданиях будут соблюдены требования показателей "а" и "б" или "б" и "в"; в промышленных зданиях – "а" и "б".

Наружные ограждающие конструкции зданий (стены, покрытия и перекрытия над проездами, перекрытия чердачные, над неотапливаемыми подпольями и подвалами) должны удовлетворять:

– нормируемому сопротивлению теплопередаче R_{req} для однородных ограждающих конструкций – по R_0 ; для неоднородных конструкций (имеющих теплопроводные включения) – по приведённому сопротивлению теплопередаче R_0^r . При этом должно соблюдаться главное условие теплотехнического расчёта:

$$R_0(R_0^r) \geq R_{\text{req}} \quad (6)$$

– расчётному температурному перепаду

$$\Delta t_0 \leq t_n, \quad (7)$$

где Δt_n – нормируемый температурный перепад для различных зданий ([2], табл. 5);

– минимальной температуре, равной температуре точки росы (t_d), при расчётных условиях внутри помещений на всех участках внутренней поверхности наружных ограждений с температурой τ_{int} ([3], п. 9.1.15).

При этом должно соблюдаться условие:

$$\tau_{\text{int}} \geq t_d \quad (8)$$

Условия расчёта

1. Прежде всего определяются условия эксплуатации ограждающих конструкций в зависимости от влажностного режима помещений и зоны влажности района строительства (см. приложения 1, 2) и в зависимости от этого устанавливаются расчётные теплотехнические показатели строительных материалов конструкций ограждения, применяемых в проекте по группам А или Б (см. [3, прил. 4]).

2. Для теплотехнически неоднородных наружных ограждающих конструкций, содержащих углы, проёмы, соединительные элементы между наружными облицовочными слоями (рёбра, шпонки, стержневые связи), сквозные и несквозные теплопроводные включения, производят расчёт выбранных

конструктивных решений на основе расчёта **температурных полей** (методика расчёта дана в приложении М [3]) – при условии наличия компьютерной программы расчёта величины теплового потока Q через расчётный участок ограждающей конструкции.

3. Для многослойных неоднородных ограждающих конструкций с теплопроводными включениями возможно определение по формуле:

$$R_0^r = R_0^{\text{con}} \cdot r, \quad (9)$$

где R_0^{con} – сопротивление теплопередаче однородной ограждающей конструкции, ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$), определённое без учёта теплопроводных включений ($R_0^{\text{con}} = R_0$).

r – коэффициент теплотехнической однородности, учитывающий наличие теплопроводных включений.

Значения коэффициента r :

– для панелей индустриального изготовления должны быть, как правило, не менее величин в табл. 1.

Таблица 1.

Минимально допустимые значения коэффициента теплотехнической однородности для конструкций индустриального изготовления [3, табл. 6]

№ п.п.	Ограждающая конструкция	Коэффициент r
1	Из однослойных легкобетонных панелей	0,90
2	Из легкобетонных панелей с термовкладышами	0,75
3	Из трёхслойных железобетонных панелей с эффективным утеплителем и гибкими связями	0,70
4	Из трёхслойных железобетонных панелей с эффективным утеплителем с железобетонными шпонками или рёбрами из керамзитобетона	0,60
5	Из трёхслойных железобетонных панелей с эффективным утеплителем и железобетонными рёбрами	0,50
6	Из трёхслойных металлических панелей с эффективным утеплителем	0,75
7	Из трёхслойных асбоцементных панелей с эффективным утеплителем	0,70

– для стен жилых зданий из кирпича значение коэффициента r должно быть, как правило, не менее 0,74 при толщине стены 510 мм; 0,69 – при толщине стены 640 мм и 0,64 – при толщине стены 780 мм [3, п. 8.17].

4. При проектировании стен с вентилируемой воздушной прослойкой (с вентилируемым фасадом), относящихся к неоднородным конструкциям с теплопроводными включениями, должны учитываться рекомендации Свода правил [3.п.8.14]. При этом отмечается, что величину коэффициента

теплотехнической однородности γ при расчёте приведённого сопротивления R_0^r следует принимать не менее 0,70, а значение коэффициента теплоотдачи наружной поверхности стены α_{ext} должно быть равно 10,8 Вт /м²·°С [3, п. 8.17 и 9.1.2]. Указывается также, что величина термического сопротивления воздушных прослоек должна приниматься по табл. 7 [3] а наружный облицовочный слой в расчёте R_0^r – не учитывать.

5. Расчёт ограждающих конструкций тёплых чердаков и технических подвалов даётся в разделах 3.3.4 и 3.3.5, а теплотехнический расчёт покрытий зданий с холодным чердаком проводится аналогично расчёту конструкций слоистых наружных стен.

3.3. Порядок теплотехнического расчёта наружных ограждающих конструкций зданий

3.3.1. Расчёт нормируемого сопротивления теплопередаче элементов ограждающих конструкций

Приведённое сопротивление теплопередаче R_0 (м² · °С/Вт) ограждающих конструкций, а так же окон и фонарей (с вертикальным остеклением или с углом наклона более 45°) следует принимать не менее нормируемых значений R_{req} (м² · °С/Вт), определяемых по табл. 4 [2] в зависимости от градусо-суток отопительного периода D_d (°С · сут.) по формуле:

$$D_d = (t_{\text{int}} - t_{\text{ht}}) \cdot Z_{\text{ht}}, \quad (10)$$

где t_{int} – расчётная средняя температура внутреннего воздуха здания, °С (табл. 4 и п. 5.3 [2]).

а) для жилых зданий $t_{\text{int}} = 20 - 22^\circ$

$$t_{\text{int}} = f(t_{\text{ext}})$$

если $t_{\text{ext}} > -31^\circ\text{C}$, то t_{int} принимается равным 20°C .

при $t_{\text{ext}} \leq -31^\circ\text{C}$, t_{int} принимается равным 21°C .

Для Челябинска $t_{\text{ext}} = -34^\circ\text{C}$, тогда $t_{\text{int}} = 21^\circ\text{C}$.

б) для общественных зданий $t_{\text{int}} = 16-20^\circ$

в) для промышленных зданий – в зависимости от вида производства.

t_{ht} ; Z_{ht} – средняя температура наружного воздуха (°С) и продолжительность (сут.) отопительного периода, принимаемые по табл. 1 [4] для периода со среднесуточной температурой не более 8°C .

При несовпадении D_d с данными табл. 4 [2] нормируемое сопротивление теплопередаче определяется по формуле:

$$R_{\text{req}} = a \cdot D_d + b, \quad (11)$$

где a и b – коэффициенты перевода (интерполяции);

– для жилых зданий $a = 0,00035$; $b = 1,4$.

- для общественных зданий $a = 0,0003$; $b = 1, 2$.
- для промышленных зданий с сухим и нормальным режимом $a = 0,0002$; $b = 1,0$. (см. примечание к таблице. 4 [2]).

Для производственных зданий с избытками явной теплоты более 23 Вт/ м^3 и зданий сезонной эксплуатации, а также зданий с расчётной температурой внутреннего воздуха $12 \text{ }^\circ\text{C}$ и ниже значение R_{req} следует принимать не менее значений, определяемых по формуле:

$$R_{\text{req}} = n (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) / \Delta t_n \alpha_{\text{int}}, \quad (12)$$

где n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху (для вертикальных конструкций $n=1$ (см. таблица 6 [2]));

Δt_n – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха t_{int} и температурой на внутренней поверхности ограждающей конструкции t_{intb} , $^\circ\text{C}$, принимаемый по таблице 5 [2].

α_{int} – то же, что в формуле (5)

t_{int} – то же, что в формуле (10)

t_{ext} – расчётная температура наружного воздуха в холодный период года, $^\circ\text{C}$, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью $0,92$ для конкретного места строительства [4].

3.3.2. Проектирование ограждающих конструкций здания

/включает проверку рассчитанных параметров ограждающих конструкций на обеспечение комфортных условий в помещениях и на невыпадение конденсата в местах теплопроводных включений/ [3, р. 9].

1. Прежде всего принимаются необходимые для расчёта **исходные данные** для конкретного здания и места строительства, в т. ч.:

а) **условия эксплуатации** здания, включающие:

– влажностный режим помещений ϕ_{intb} , % (табл. 1 и 2 [2]). При нормальном режиме $\phi_{\text{intb}} = 50 - 60 \%$, (для жилых зданий – обычно ϕ_{intb} принимают равным 55% , для общественных – 50% – см. приложение к п. 5.9 [2]), а также

– внутреннюю температуру помещений – t_{intb} , $^\circ\text{C}$, (см. раздел 3.3.1);

б) **климатические характеристики** района строительства – t_{ext} ; t_{ht} и Z_{ht} (см. раздел 3.3.1);

в) задаются конкретные **параметры** рассчитываемой ограждающей конструкции: толщина и материал слоёв, параметры слоёв (при слоистой конструкции стены) – на схеме и в таблице.

Пример: информация о конструкции 3-х слойной сборной железобетонной наружной стеновой панели:

Характеристика слоёв конструкции стеновой панели				
№№ слоёв	Материал слоёв	Толщина δ , м	Плотность ρ кг/м ³	Расчётные коэффициенты теплопроводности λ (Вт/м · °С)
1	Тяж. бетон	0.07	2500	2,04
2	Утеплитель	X	80	0,05
3	Тяж. бетон	0.10	2500	2,04



г) Задаются значения коэффициентов теплоотдачи внутренней поверхности стены ($\alpha_{\text{int}}=8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$) и наружной поверхности ($\alpha_{\text{ext}}=23 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{С}$) – см. пояснения к формуле (5).

2. Определяется **приведённое сопротивление теплопередаче** R_0 (м² · °С /Вт) однослойной или многослойной ограждающей конструкции с однородными слоями – по формулам (3), (4) и (5). Далее, в соответствии с условием формулы (6) уравнение приравнивается к R_{req} , значение которого определено в разделе 3.3.1). В соответствии с примером:

$$R_0 = 1/\alpha_{\text{int}} + \delta_1/\lambda_1 + \delta_x/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3 + 1/\alpha_{\text{ext}} = R_{\text{req}}, \quad (13)$$

Из уравнения 13 определяется толщина искомого слоя стены (утеплителя) – δ_x , м.

3. Для панельных стен или вентилируемых фасадов (неоднородных ограждающих конструкций с теплопроводными включениями) производится пересчёт R_0 с целью учёта коэффициента теплотехнической однородности g , учитывающего наличие теплопроводных включений и понижающего соответственно рассчитанное приведённое сопротивление теплопередаче (R_0). В соответствии с формулой (9):

$$R_0^g = R_0^{\text{con}} \cdot g \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{С /Вт)}, \text{ а } R_0^{\text{con}} = R_0.$$

Значение коэффициента g принимается по табл. 1.

4. В случае невыполнения условия расчёта $R_0^g \geq R_{\text{req}}$, необходима корректировка (пересчёт) R_0^{con} с увеличением толщины слоя утеплителя (для панельных стен – с учётом унифицированных величин толщины панелей – 250; 300; 350; 400 мм) с округлением в большую сторону.

3.3.3. Проверка рассчитанных параметров ограждающих конструкций

Наружные ограждающие конструкции зданий должны удовлетворять **трёх условиям:**

1. Приведённое сопротивление теплопередаче R_0 (или R_0^f) должно быть больше или равно нормируемому – $R_0 (R_0^f) \geq R_{\text{req}}$.

2. Расчётному температурному перепаду Δt_0 между температурой внутреннего воздуха (t_{int}) и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции (τ_{int}), определяемому по формуле:

$$\Delta t_0 = n (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}) / R_0 (R_0^f) \cdot \alpha_{\text{int}}, \quad (14)$$

Значения параметров этой формулы даны в пояснениях к предыдущим разделам и формулам (5), (9), (12).

При этом расчётный температурный перепад (Δt_0) не должен быть больше нормируемых величин Δt_n (значения Δt_n в табл. 5 [2]):

$$\Delta t_0 \leq \Delta t_n, \quad (15)$$

– для жилых зданий $\Delta t_n = 4,0 \text{ }^\circ\text{C}$;

– для общественных $\Delta t_n = 4,5 \text{ }^\circ\text{C}$;

– для производственных зданий с сухим и нормальным режимом $\Delta t_n = 7,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. Минимальная температура на всех участках внутренней поверхности наружных ограждений (τ_{int}) при расчётных условиях внутри помещения (t_{int} и Φ_{int}) должна быть не менее температуры точки росы (t_d):

$$\tau_{\text{int}} \geq t_d, \quad (16)$$

значения t_d – в приложении 3[3].

Определение величины τ_{int} :

$$\Delta t_0 = t_{\text{int}} - \tau_{\text{int}} \text{ (см. рисунок)}$$

или
$$\tau_{\text{int}} = t_{\text{int}} - \Delta t_0, \text{ }^\circ\text{C}$$

Подставив найденное выше значение Δt_0 и t_{int} , получим температуру τ_{int} и проверяем выполнение условия (16).

При выполнении всех условий проверки расчёт считается законченным и делается вывод о величине рассчитанной толщины слоя утеплителя и ограждающей конструкции здания в целом.

3.3.4. Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций тёплых чердаков [3]

В тёплом чердаке размещается верхняя разводка труб отопления и горячего водоснабжения.

а) Чердачное перекрытие

Требуемое сопротивление теплопередаче перекрытия тёплого чердака $R_0^{g.f}$, $\text{м}^2 \cdot \text{C } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ следует определять по формуле:

$$R_0^{g,f} = n \cdot R_0^{req}, \quad (17)$$

где R_0^{req} – нормируемое сопротивление теплопередаче покрытия, определяемое по табл. 4 СНиП [2] в зависимости от градусо-суток отопительного периода климатического района строительства (см. раздел 3.3.1),

n – коэффициент, определяемый по формуле:

$$n = (t_{int} - t_{int}^g) / (t_{int} - t_{ext}), \quad (18)$$

где t_{int} – расчётная температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая для помещений верхнего этажа (может быть принята от 20 до 22 °С – в табл. 1 [3]),

t_{int}^g – расчётная температура воздуха в чердаке, °С, устанавливаемая СНиП [2]) в зависимости от этажности здания:

для 6–8 – этажных зданий – 14 °С,

для 9–12 – этажных зданий – 15 – 16 °С,

для 14–17 – этажных зданий – 17 – 18 °С.

Далее проверяется условие $\Delta t \leq \Delta t_n$ для перекрытия по формуле:

$$\Delta t = (t_{int} - t_{int}^g) / (R_0^{g,f} \cdot \alpha_{int}), \quad (19)$$

где $t_{int} - t_{int}^g$ – то же, что в формуле (18)

$R_0^{g,f}$ – из формулы (17)

α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м² · °С), принимаемый по табл. 7 СНиП [2]. Для стен, полов, гладких потолков $\alpha_{int} = 8,7$ Вт/(м² · °С).

Δt_n – нормируемый температурный перепад, согласно, табл. 5, СНиП [2] равен 3°С.

Если условие $\Delta t \leq \Delta t_n$ не выполняется, то следует увеличивать сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия $R_0^{g,f}$ до значения, обеспечивающего это условие.

б) Наружные ограждающие конструкции – покрытие (крыша) и стены теплого чердака

Требуемое сопротивление теплопередаче покрытия $R_0^{g,c}$, м² · °С/Вт, определяется по формуле:

$$R_0^{g,c} = (t_{int}^g - t_{ext}) / [0,28 G_{ven} \cdot C(t_{ven} - t_{int}^g) + (t_{int} - t_{int}^g) / R_0^{g,f} + (\sum_{i=1}^n q_{pi} \cdot l_{pi}) / A_{g,f} - (t_{int}^g - t_{ext}) \cdot A_{g,w} / R_0^{g,w}], \quad (20)$$

где t_{int} t_{ext} t_{int}^g – то же, что в формуле (18);

G_{ven} – приведенный (отнесенный к 1 м² пола чердака) расход воздуха в системе вентиляции, кг/(м² · ч), определяемый по табл. 11 [3];

C – удельная теплоемкость воздуха, равная 1кДж/(кг · °С);

t_{ven} – температура воздуха, выходящего из вентиляционных каналов, °С, принимаемая равной $t_{int} + 1,5$;

$R_0^{g \cdot f}$ – требуемое сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия теплого чердака, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, определенное по формуле (17);

q_{pi} – линейная плотность теплового потока через поверхность теплоизоляции, приходящаяся на 1 м длины трубопровода i -го диаметра с учетом теплопотерь через изолированные опоры, фланцевые соединения и арматуру, $\text{Вт}/\text{м}$; для чердаков и подвалов значения q_{pi} приведены в табл. 12 [3];

l_{pi} – длина трубопровода i -го диаметра, м, принимаемая по проекту;

$A_{g \cdot w}$ – приведенная (отнесенная к 1 м^2 пола чердака) площадь наружных стен тёплого чердака, $\text{м}^2/\text{м}^2$, определяемая по формуле:

$$A_{g \cdot w} = a_{g \cdot w} / A_{g \cdot f} \quad (21)$$

$a_{g \cdot w}$ – площадь наружных стен чердака, м^2 ;

$A_{g \cdot f}$ – площадь перекрытия теплого чердака, м^2 ;

$R_0^{g \cdot w}$ – нормируемое сопротивление теплопередаче наружных стен теплого чердака, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, определяемое по таблице 4 СНиП [2] в зависимости от градусо-суток отопительного периода климатического района строительства при расчётной температуре воздуха в чердаке t_{int}^g .

Далее проводится **проверка** наружных ограждающих конструкций тёплого чердака (покрытия и стен) на невыпадение **конденсата** на их внутренних поверхностях.

Температуру внутренней поверхности стен $\tau_{si}^{g \cdot w}$, перекрытий $\tau_{si}^{g \cdot f}$ и покрытий $\tau_{si}^{g \cdot c}$ чердака следует определять по формуле

$$\tau_{si} = t_{int}^g - [(t_{int}^g - t_{ext}) / (R_0 \cdot \alpha_{int}^g)], \quad (22)$$

где t_{int}^g , t_{ext} – то же, что в формуле (18);

α_{int}^g – коэффициент теплопередачи внутренней поверхности наружного ограждения теплого чердака, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, принимаемый: для стен – 8,7; для покрытий 7 – 9 – этажных домов – 9,9; 10-12 – этажных домов – 10,5; 13-16 – этажных – 12 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

R_0 – нормируемое сопротивление теплопередаче наружных стен $R_0^{g \cdot w}$, перекрытий $R_0^{g \cdot f}$ и покрытий $R_0^{g \cdot c}$ теплого чердака, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ (табл. 4 [2]).

Температура **точки росы** t_d вычисляется в следующем порядке:

1. Определяется влагосодержание воздуха чердака f_g , по формуле:

$$f_g = f_{ext} + \Delta f \quad (23)$$

где f_{ext} – влагосодержание наружного воздуха, $\text{г}/\text{м}^3$, при расчетной температуре t_{ext} , определяется по формуле:

$$f_{\text{ext}} = 0,794 \cdot e_{\text{ext}} / (1 + e_{\text{ext}} / 273), \quad (24)$$

где e_{ext} – среднее за январь парциальное давление водяного пара, гПа, определяемое по табл. 5а* СНиП [4];

Δf – приращение влагосодержания за счет поступления влаги с воздухом из вентиляционных каналов, г/м³, принимается:
 для домов с газовыми плитами – 4,0 г/м³,
 для домов с электроплитами – 3,6 г/м³.

2. Рассчитывается парциальное давление водяного пара воздуха в теплом чердаке e_g , гПа, по формуле:

$$e_g = f_g (1 + t_{\text{int}}^g / 273) / 0,794 \quad (25)$$

3. По таблицам парциального давления насыщенного водяного пара согласно приложению С [3] определяется температура точки росы t_d по значению $E = e_g$.

Полученное значение t_d сопоставляется с соответствующим значением τ_{si} (стен $\tau_{\text{si}}^{g.w}$, перекрытий $\tau_{\text{si}}^{g.f}$, и покрытий $\tau_{\text{si}}^{g.c}$) на выполнение условия $t_d < \tau_{\text{si}}$.
 Пример расчета дан в приложении Т [3].

3.3.5. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций технических подвалов

Технические подвалы (техподполье) – это подвалы при наличии в них нижней разводки труб систем отопления, горячего водоснабжения, а также труб водоснабжения и канализации.

Расчет ограждающих конструкций техподполья выполняется в следующей последовательности.

1. Нормируемое сопротивление теплопередаче $R_0^{b.w}$, м² · °С/Вт, части цокольной стены, расположенной выше уровня земли, определяется согласно расчету наружных стен в зависимости от градусо-суток отопительного периода климатического района строительства (см. раздел 3.3.1.). При этом в качестве расчетной температуры внутреннего воздуха принимается расчетная температура в техподполье t_{int}^b , равная 2 °С.

2. Определяется приведенное сопротивление теплопередаче $R_0^{r.s}$, м² · °С/Вт ограждающих конструкций заглубленной части техподполья, расположенных ниже уровня земли.

Для неутепленных полов по грунту в случае, когда материалы пола и стены имеют расчетные коэффициенты теплопроводности $\lambda \geq 1.2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, приведенное сопротивление теплопередаче $R_0^{r,s}$ определяется по табл. 13 [3] в зависимости от суммарной длины L , м, включающей ширину техподполья и две высоты наружных стен, заглубленных в грунт.

Для утепленных полов по грунту в случае, когда материалы пола и стены имеют расчетные коэффициенты теплопроводности $\lambda < 1.2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, приведенное сопротивление теплопередаче R_0^s определяется по нормативной документации.

3. Нормируемое сопротивление теплопередаче цокольного перекрытия над техподпольем $R_0^{b,c}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, определяется по формуле:

$$R_0^{b,c} = n \cdot R_{\text{req}}, \quad (26)$$

где R_{req} – нормируемое сопротивление теплопередаче перекрытия над техподпольем, определяемое в зависимости от градусо- суток отопительного периода климатического района строительства согласно СНиП [2], раздел 5.

n – коэффициент, определяемый по формуле

$$n = (t_{\text{int}} - t_{\text{int}}^b) / (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}}), \quad (27)$$

где t_{int} , t_{ext} – то же, что в формуле (18),

t_{int}^b – то же что в п. 1 данного раздела.

4. Проверка на соответствие требованию по температурному перепаду для пола первого этажа, равному $\Delta t_n = 2 ^\circ\text{C}$ (см. табл. 5 [2]).

Расчетный температурный перепад Δt_0 , $^\circ\text{C}$, между температурой внутреннего воздуха t_{int}^b , и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции τ_{int}^b определяется по формуле:

$$\Delta t_0 = n (t_{\text{int}}^b - t_{\text{ext}}) / R_0^{b,c} \cdot \alpha_{\text{int}}, \quad (28)$$

где n – коэффициент учитывающий положение ограждающей поверхности; значение его в табл. 6 [2],

t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха (см. формулу (18),

t_{int}^b – то же что в п. 1 данного раздела,

$R_0^{b,c}$ – то же, что в формуле (26),

α_{int} – коэффициент теплопередачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, принимаемый по табл. 7 [2].

Пример расчета дан в приложении Т [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный в учебном пособии материал содержит краткую теоретическую и методическую часть, а также конкретный состав и последовательность расчёта теплотехнических характеристик и конструктивных параметров ограждающих конструкций зданий, что поможет студентам строительных специальностей при выполнении курсовых проектов по специальной дисциплине на 2 и 3 курсах, а также при сдаче госэкзамена и в работе над дипломным проектом.

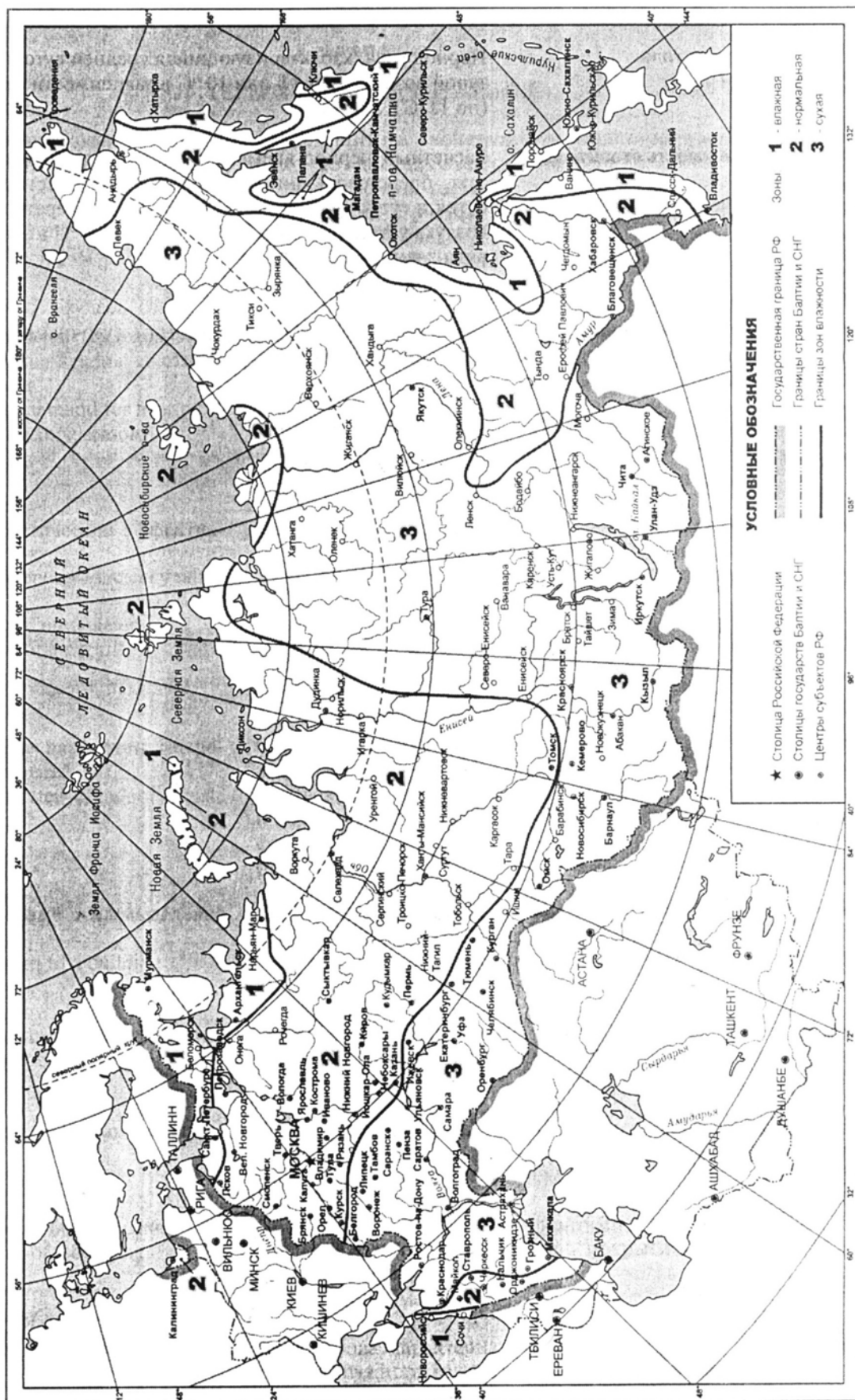
В пособии приведены ссылки на конкретные таблицы нормативных материалов для поиска необходимых в расчёте данных, а в приложении даны некоторые таблицы, облегчающие этот поиск.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Архитектура гражданских и промышленных зданий: Гражданские здания: учеб. для вузов /А.В. Захаров, Т.Г. Маклакова. – М.: Стройиздат, 1993. – 509 с.
2. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий / Госстрой России. – М., 2004.
3. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий / Госстрой России. – М., 2005.
4. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология. / Госстрой России. – М., 2000.

ПриложенияКарта зон влажности [2]

Приложение 1



**Влажностный режим помещений зданий и условия эксплуатации
ограждающих конструкций**

Таблица П 1

Влажностный режим помещений зданий

Режим	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °С		
	до 12	Свыше 12 до 24	Свыше 24
Сухой	До 60	До 50	До 40
Нормальный	Свыше 60 до 75	Свыше 50 до 60	Свыше 40 до 50
Влажный	Свыше 75	Свыше 60 до 75	Свыше 50 до 60
Мокрый	—	Свыше 75	Свыше 60

Таблица П 2

Условия эксплуатации ограждающих конструкций

Влажностный режим помещений зданий (по таблице П1)	Условия эксплуатации А и Б в зоне влажности		
	сухой	нормальной	влажной
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б

Температуры точки росы t_d , °C, для различных значений температур t_{int} и относительной влажности ϕ_{int} , %, воздуха в помещении [3]

t_{int} °C	t_d , °C, при ϕ_{int} , %											
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
-5	-15,3	-14,04	-12,9	-11,84	-10,83	-9,96	-9,11	-8,31	-7,62	-6,89	-6,24	-5,6
-4	-14,4	-13,1	-11,93	-10,84	-9,89	-8,99	-8,11	-7,34	-6,62	-5,89	-5,24	-4,6
-3	-13,42	-12,16	-10,98	-9,91	-8,95	-7,99	-7,16	-6,37	-5,62	-4,9	-4,24	-3,6
-2	-12,58	-11,22	-10,04	-8,98	-7,95	-7,04	-6,21	-5,4	-4,62	-3,9	-3,34	-2,6
-1	-11,61	-10,28	-9,1	-7,98	-7,0	-6,09	-5,21	-4,43	-3,66	-2,94	-2,34	-1,6
0	-10,65	-9,34	-8,16	-7,05	-6,06	-5,14	-4,26	-3,46	-2,7	-1,96	-1,34	-0,62
1	-9,85	-8,52	-7,32	-6,22	-5,21	-4,26	-3,4	-2,58	-1,82	-1,08	-0,41	0,31
2	-9,07	-7,72	-6,52	-5,39	-4,38	-3,44	-2,56	-1,74	-0,97	-0,24	0,52	1,29
3	-8,22	-6,88	-5,66	-4,53	-3,52	-2,57	-1,69	-0,88	-0,08	0,74	1,52	2,29
4	-7,45	-6,07	-4,84	-3,74	-2,7	-1,75	-0,87	-0,01	0,87	1,72	2,5	3,26
5	-6,66	-5,26	-4,03	-2,91	-1,87	-0,92	-0,01	0,94	1,83	2,68	3,49	4,26
6	-5,81	-4,45	-3,22	-2,08	-1,04	-0,08	0,94	1,89	2,8	3,68	4,48	5,25
7	-5,01	-3,64	-2,39	-1,25	-0,21	0,87	1,9	2,85	3,77	4,66	5,47	6,25
8	-4,21	-2,83	-1,56	-0,42	-0,72	1,82	2,86	3,85	4,77	5,64	6,46	7,24
9	-3,41	-2,02	-0,78	0,46	1,66	2,77	3,82	4,81	5,74	6,62	7,45	8,24
10	-2,62	-1,22	0,08	1,39	2,6	3,72	4,78	5,77	6,71	7,6	8,44	9,23
11	-1,83	-0,42	0,98	1,32	3,54	4,68	5,74	6,74	7,68	8,58	9,43	10,23
12	-1,04	0,44	1,9	3,25	4,48	5,63	6,7	7,71	8,65	9,56	10,42	11,22
13	-0,25	1,35	2,82	4,18	5,42	6,58	7,66	8,68	9,62	10,54	11,41	12,21
14	0,63	2,26	3,76	5,11	6,36	7,53	8,62	9,64	10,59	11,52	12,4	13,21
15	1,51	3,17	4,68	6,04	7,3	8,48	9,58	10,6	11,59	12,5	13,38	14,21
16	2,41	4,08	5,6	6,97	8,24	9,43	10,54	11,57	12,56	13,48	14,36	15,2
17	3,31	4,99	6,52	7,9	9,18	10,37	11,5	12,54	13,53	14,46	15,36	16,19
18	4,2	5,9	7,44	8,83	10,12	11,32	12,46	13,51	14,5	15,44	16,34	17,19
19	5,09	6,81	8,36	9,76	11,06	12,27	13,42	14,48	15,47	16,42	17,32	18,19
20	6,0	7,72	9,28	10,69	12,0	13,22	14,38	15,44	16,44	17,4	18,32	19,18
21	6,9	8,62	10,2	11,62	12,94	14,17	15,33	16,4	17,41	18,38	19,3	20,18

t_{int} °C	t_d , °C, при Φ_{int} , %											
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
22	7,69	9,52	11,12	12,56	13,88	15,12	16,28	17,37	18,38	19,36	20,3	21,6
23	8,68	10,43	12,03	13,48	14,82	16,07	17,23	18,34	19,38	20,34	21,28	22,15
24	9,57	11,34	12,94	14,41	15,76	17,02	18,19	19,3	20,35	21,32	22,26	23,15
25	10,46	12,75	13,86	15,34	16,7	17,97	19,15	20,26	21,32	22,3	23,24	24,14
26	11,35	13,15	14,78	16,27	17,64	18,95	20,11	21,22	22,29	23,28	24,22	25,14
27	12,24	14,05	15,7	17,19	18,57	19,87	21,06	22,18	23,26	24,26	25,22	26,13
28	13,13	14,95	16,61	18,11	19,5	20,81	22,01	23,14	24,23	25,24	26,2	27,12
29	14,02	15,86	17,52	19,04	20,44	21,75	22,95	24,11	25,2	26,22	27,2	28,12
30	14,92	16,77	18,44	19,97	21,38	22,69	23,92	25,08	26,17	27,2	28,18	29,11
31	15,82	17,68	19,36	20,9	22,32	23,64	24,88	26,04	27,14	28,08	29,16	30,1
32	16,71	18,58	20,27	21,83	23,26	24,59	25,83	27,0	28,11	29,16	30,16	31,19
33	17,6	19,48	21,18	22,76	24,2	25,54	26,78	27,97	29,08	30,14	31,14	32,19
34	18,49	20,38	22,1	23,68	25,14	26,49	27,74	28,94	30,05	31,12	32,12	33,08
35	19,38	21,28	23,02	24,6	26,08	27,64	28,7	29,91	31,02	32,1	33,12	34,08

**Расчетные теплотехнические показатели
строительных материалов и изделий [4]**

№ п.п.	Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации по СНиП 23-02)						
		плот- ность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоем- кость C_0 , кДж/ (кг·°C)	коэффи- циент теплопро- водности λ_0 Вт/(м·°C)	массового отношения влаги в материале w , %		теплопро- водности λ_0 Вт/(м·°C)		теплоусвоен- ия (при периоде 24 ч) S , Вт/(м ² ·°C)		паропро- ницаемо- сти μ , мг/ (м·ч·Па)
					А	Б	А	Б	А	Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	Теплоизоляционные материалы (ГОСТ 16381)										
A	<i>Полимерные</i>										
1	Пенополистирол	150	1,34	0,05	1	5	0,052	0,06	0,89	0,99	0,05
2	»	100	1,34	0,041	1	10	0,041	0,052	0,65	0,82	0,05
3	Пенополистирол (ГОСТ 15588)	40	1,34	0,037	2	10	0,041	0,05	0,41	0,49	0,05
4	Пенополистирол ОАО «СП Радослав»	18	1,34	0,042	2	10	0,042	0,043	0,28	0,32	0,02
5	То же	24	1,34	0,04	2	10	0,04	0,041	0,32	0,36	0,02
6	Экструдированный пенополистирол Стиродур 2500С	25	1,34	0,029	2	10	0,031	0,031	0,28	0,31	0,013
7	То же, 2800С	28	1,34	0,029	2	10	0,031	0,031	0,30	0,33	0,013
8	То же, 3035С	33	1,34	0,029	2	10	0,031	0,031	0,32	0,36	0,013
9	То же, 4000С	35	1,34	0,030	2	10	0,031	0,031	0,34	0,37	0,005
10	То же, 5000С	45	1,34	0,030	1	10	0,031	0,031	0,38	0,42	0,005
11	Пенополистирол Стиропор PS15	15	1,34	0,039	2	10	0,040	0,044	0,25	0,29	0,035
12	То же, PS20	20	1,34	0,037	2	10	0,038	0,042	0,28	0,33	0,030
13	То же, PS30	30	1,34	0,035	2	10	0,036	0,040	0,33	0,39	0,030
14	Экструдированный пенополистирол «Стайрофоам»	28	1,45	0,059	2	10	0,030	0,031	0,31	0,34	0,006
15	То же, «Руфмат»	32	1,45	0,028	2	10	0,029	0,029	0,32	0,36	0,006
16	То же, «Руфмат А»	32	1,45	0,030	2	10	0,032	0,032	0,34	0,37	0,006
58	Плиты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом свя- зующем (ГОСТ 10499)	45	0,84	0,047	2	5	0,06	0,064	0,44	0,5	0,6
59	Маты и полосы из стеклянного волокна прошивные	150	0,84	0,061	2	5	0,064	0,07	0,8	0,9	0,53

Продолжение табл. П 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
60	Маты из стеклянного штапельного волокна «URSA»	25	0,84	0,04	2	5	0,043	0,05	0,27	0,31	0,61
61	То же	17	0,84	0,044	2	5	0,046	0,053	0,23	0,26	0,66
62	»	15	0,84	0,046	2	5	0,048	0,053	0,22	0,25	0,68
63	»	11	0,84	0,048	2	5	0,05	0,055	0,19	0,22	0,7
64	Плиты из стеклянного штапельного волокна «URSA»	85	0,84	0,044	2	5	0,046	0,05	0,51	0,57	0,5
65	То же	75	0,84	0,04	2	5	0,042	0,047	0,46	0,52	0,5
66	»	60	0,84	0,038	2	5	0,04	0,045	0,4	0,45	0,51
67	»	45	0,84	0,039	2	5	0,041	0,045	0,35	0,39	0,51
68	»	35	0,84	0,039	2	5	0,041	0,046	0,31	0,35	0,52
69	»	30	0,84	0,04	2	5	0,042	0,046	0,29	0,32	0,52
70	»	20	0,84	0,04	2	5	0,043	0,048	0,24	0,27	0,53
71	»	17	0,84	0,044	2	5	0,047	0,053	0,23	0,26	0,54
72	»	15	0,84	0,046	2	5	0,049	0,055	0,22	0,25	0,55
73	Пеностекло или газостекло	400	0,84	0,11	1	2	0,12	0,14	1,76	1,94	0,02
74	То же	300	0,84	0,09	1	2	0,11	0,12	1,46	1,56	0,02
75	»	200	0,84	0,07	1	2	0,08	0,09	1,01	1,1	0,03
В	<i>Плиты из природных органических и неорганических материалов</i>										
76	Плиты древесноволокнистые и древесно-стружечные (ГОСТ 4598, ГОСТ 8904, ГОСТ 10632)	1000	2,3	0,15	10	12	0,23	0,29	6,75		0,12
77	То же	800	2,3	0,13	10	12	0,19	0,23	5,49	6,13	0,12
78	»	600	2,3	0,11	10	12	0,13	0,16	3,93	4,43	0,13
79	»	400	2,3	0,08	10	12	0,11	0,13	2,95	3,26	0,19
103	Гравий керамзитовый (ГОСТ 9757)	250	0,84	0,099	2	3	0,11	0,12	1,22	1,3	0,26
104	Гравий шунгизитовый (ГОСТ 9757)	700	0,84	0,16	2	4	0,18	0,21	2,91	3,29	0,21
	То же	600	0,84	0,13	2	4	0,16	0,19	2,54	2,89	0,22
106	»	500	0,84	0,12	2	4	0,15	0,175	2,25	2,54	0,22
107	»	450	0,84	0,11	2	4	0,14	0,16	2,06	2,30	0,22
108	»	400	0,84	0,11	2	4	0,13	0,15	1,87	2,10	0,23

Продолжение табл. П 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
109	Щебень из доменного шлака (ГОСТ 5578)	1000	0,84	0,21	2	3	0,24	0,31	4,02	4,67	0,21
110	Щебень шлакопемзовый и аглопоритовый (ГОСТ 9757)	900	0,84	0,19	2	3	0,23	0,3	3,73	4,36	0,21
111	То же	800	0,«4	0,18	2	3	0,21	0,26	3,36	3,83	0,21
112	»	700	0,84	0,16	2	3	0,19	0,23	2,99	3,37	0,22
113	»	600	0,84	0,15	2	3	0,18	0,21	2,7	2,98	0,23
114	»	500	0,84	0,14	2	3	0,16	0,19	2,32	2,59	0,23
115	»	450	0,84	0,13	2	3	0,15	0,17	2,13	2,32	0,24
116	»	400	0,84	0,122	2	3	0,14	0,16	1,94	2,12	0,24
117	Щебень у. песок из перилита вспученного (ГОСТ 10832)	500	0,84	0,09	1	2	0,1	0,11	1,79	1,92	0,26
118	То же	400	0,84	0,076	1	2	0,087	0,095	1,5	1,6	0,3
119	»	350	0,84	0,07	1	2	0,081	0,085	1,35	1,42	0,3
120	»	300	0,84	0,064	1	2	0,076	0,08	0,99	1,04	0,34
121	Вермикулит вспученный (ГОСТ 12865)	200	0,84	0,065	1	3	0,08	0,09	1,01	1,16	0,23
122	То же	150	0,84	0,060	1	3	0,074	0,09	0,84	1,02	0,26
123	»	100	0,84	0,055	1	3	0,06	0,08	0,66	0,75	0,3
124	Песок для строительных работ (ГОСТ 8736	1600	0,84	0,35	1	2	0,47	0,58	6,95	7,91	0,17
Д	<i>Строительные растворы (ГОСТ 28013)</i>										
125	Цементно-шлаковый	1400	0,84	0,41	2	4	0,52	0,64	7,0	8,11	0,11
126	То же	1200	0,84	0,35	2	4	0,47	0,58	6,16	7,15	0,14
127	Цементно- перлитовый	1000	0,84	0,21	7	12	0,26	0,3	4,64	5,42	0,15
128	То же	800	0,84	0,16	7	12	0,21	0,26	3,73	4,51	0,16
129	Гипсоперлитовый	600	0,84	0,14	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84	0,17
130	Поризованный гипсо-перлитовый	500	0,84	0,12	6	10	0,15	0,19	2,44	2,95	0,43
131	То же	400	0,84	0,09	6	10	0,13-	0,15	2,03	2,35	0,53
П	Конструкционно-теплоизоляционные материалы										
А	<i>Бетоны на природных пористых заполнителях (ГОСТ25820, ГОСТ22263)</i>										
132	Туфобетон	1800	0,84	0,64	7	10	0,87	0,99	11,38	12,79	0,09
133	»	1600	0,84	0,52	7	10	0,7	0,81	9,62	10,91	0,11
134	»	1400	0,84	0,41	7	10	0,52	0,58	7,76	8,63	0,11
135	»	1200	0,84	0,29	7	10	0,41	0,47	6,38	7,2	0,12

Продолжение табл. П 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
136	Пемзобетон	1600	0,84	0,52	4	6	0,62	0,68	8,54	9,3	0,075
137	»	1400	0,84	0,42	4	6	0,49	0,54	7,1	7,76	0,083
138	»	1200	0,84	0,34	4	6	0,4	0,43	5,94	6,41	0,098
139	»	1000	0,84	0,26	4	6	0,3	0,34	4,69	5,2	0П1
140	»	800	0,84	0,19	4	6	0,22	0,26	3,6	4,07	0,12
141	Бетон на вулканическом шлаке	1600	0,84	0,52	7	10	0,64	0,7	9,2	10,14	0,075
142	То же	1400	0,84	0,41	7	10	0,52	0,58	7,76	8,63	0,083
143	»	1200	0,84	0,33	7	10	0,41	0,47	6,38	7,2	0,09
144	»	1000	0,84	0,24	7	10	0,29	0,35	4,9	5,67	0,098
145	»	800	0,84	0,20	7	10	0,23	0,29	3,9	4,61	0,11
Б	<i>Бетоны на искусственных пористых заполнителях (ГОСТ25820, ГОСТ9757)</i>										
146	Керамзитобетон на керамзитовом песке и керамзитопенобетон	1800	0,84	0,66	5	10	0,80	0,92	10,5	12,33	0,09
147	То же	1600	0,84	0,58	5	10	0,67	0,79	9,06	10,77	0,09
148	»	1400	0,84	0,47	5	10	0,56	0,65	7,75	9,14	0,098
149	»	1200	0,84	0,36	5	10	0,44	0,52	6,36	7,57	0,11
150	»	1000	0,84	0,27	5	10	0,33	0,41	5,03	6,13	0,14
217	Силикатного четырнадцати пустотного ГОСТ 379) на цементно-песчаном растворе	1400	0,88	0,52	2	4	0,64	0,76	7,93	9,01	0,14
Е	<i>Дерево и изделия из него</i>										
218	Сосна и ель поперек волокон (ГОСТ 8486,	500	2,3	0,09	15	21)	0,14	0,1К	3Н7	4,54	0,06
219	Сосна и ель вдоль волокон	500	2*3	0,18	15	20	0,29	0,35	5,56	6,33	0,32
220	Дуб поперек волокон (ГОСТ -9462, ГОСТ	700	2,3	0,1	10	15	0,18	0,23	5,0	5,86	0,05
221	Дуб вдоль волокон	700	2,3	0,23	10	15	0,35	0,41	6,9	7,83	0,3
222	Фанера клееная (ГОСТ 8673)	600	2,3	0,12	10	13	0,15	0,18	4,22	4,73	0,02
223	Картон облицовочный (ГОСТ 8740)	1000	2,3	0,18	5	10	0,21	0,23	6,2	6,75	0,06
224	Картон строительный многослойный	650	2,3	0,13	6	12	0,15	0,18	4,26	4,89	0,083
III	Конструкционные материалы										
А	<i>Бетоны (ГОСТ 7473, ГОСТ 25)92) и растворы (ГОСТ 28013)</i>										
225	Железобетон (ГОСТ 26633)	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,98	18,95	0,03
226	Бетон на гравии или щебне из природного камня (ГОСТ 26633)	2400	0,84	1,51	2	3	1,74	1,86	16,77	17,88	0,03

Окончание табл. П 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
227	Раствор цементно-песчаный	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,6	11,09	0,09
228	Раствор сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,7	0,87	8,95	10,42	0,098
229	Раствор известково-песчаный	1600	0,84	0,47	2	4	0,7	0,31	8,69	9,76	0,12
Б	<i>Облицовка природным камнем (ГОСТ 9480)</i>										
230	Гранит, гнейс и базальт	2800	0,88	3,49	0	0	3,49	3,49	25,04	25,04	0,008
231	Мрамор	2800	0,88	2,91	0	0	2,91	2,91	22,86	22,8	0,008
232	Известняк	2000	0,88	0,93	2	3	1,16	1,28	12,77	13,7	0,06
233	»	1800	0,88	0,7	2	3	0,93	1,05	10,85	11,7	0,075

Оглавление

Предисловие.....	3
1. 1. Физико-технические основы проектирования объёмно-планировочных и конструктивных решений зданий	
1.1. Основные понятия	3
1.2. Задачи строительной теплофизики	4
2. Теплотехнические свойства строительных материалов	5
3. Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций зданий	
3.1. Цель и основные параметры расчета	6
3.2. Методика проектирования тепловой защиты здания	9
3.3. Порядок теплотехнического расчёта наружных ограждающих конструкций зданий.....	
3.3.1. Расчёт нормируемого сопротивления теплопередаче элементов ограждающих конструкций.....	11
3.3.2. Проектирование ограждающих конструкций здания.....	12
3.3.3. Проверка рассчитанных параметров ограждающих конструкций	13
3.3.4. Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций тёплых чердаков [3].....	14
3.3.5. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций технических подвалов	17
Заключение	19
Библиографический список	20
Приложения.....	21