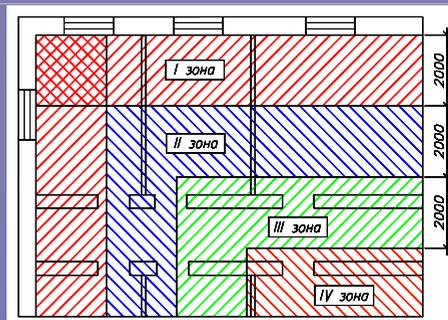
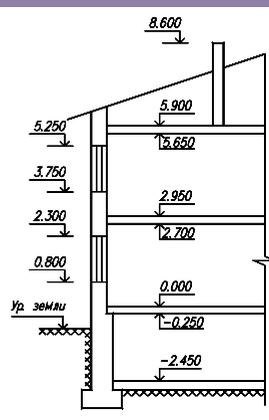
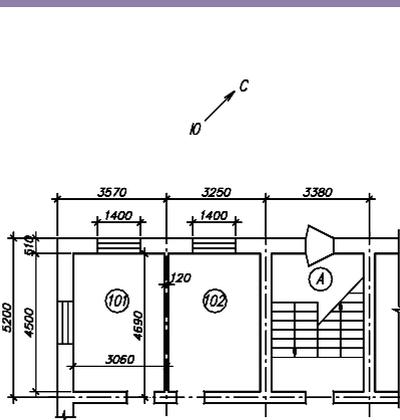
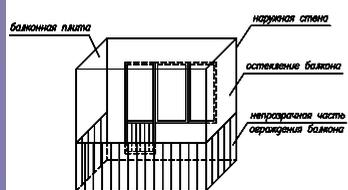
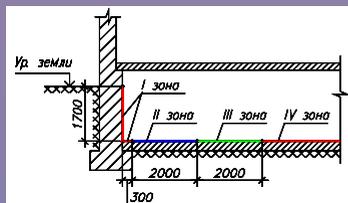


Е.В. Одокиенко, Е.В. Чиркова

ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ: ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Электронное учебно-методическое пособие



УДК 697.13:536.2

ББК 38.113

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства *К.О. Чичиров*;

канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение» Тольяттинского государственного университета *М.Н. Кучеренко*.

Одокиенко, Е.В. Тепловая защита зданий: выполнение курсовой работы : электрон. учеб.-метод. пособие / Е.В. Одокиенко, Е.В. Чиркова. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2019. – 1 оптический диск.

В учебно-методическое пособие включен материал для определения состава, объема и последовательности выполнения курсовой работы «Тепловая защита зданий». Приводится краткое содержание отдельных глав расчетно-пояснительной записки, разъяснения по выполнению необходимых расчетов, основные рекомендации по оформлению и порядок защиты.

Предназначено для студентов направления подготовки бакалавров 08.03.01 «Строительство», профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция» всех форм обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2019



Редактор *Т.М. Воропанова*
Технический редактор *Т.Г. Ищенко*
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
Художественное оформление,
компьютерное проектирование: *Г.В. Карасева, И.В. Карасев*

Дата подписания к использованию 22.01.2019.

Объем издания 9 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-02-18.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	5
СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	6
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	7
К ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ	8
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ	11
1. Исходные данные	11
2. Тепловой режим наружных ограждений	12
3. Теплоустойчивость	31
4. Воздушный режим здания	40
5. Влажностный режим наружных ограждений	44
Библиографический список	53
Приложение	54

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Целью курсовой работы является закрепление теоретических знаний, полученных студентами при изучении дисциплины «Тепловая защита зданий», а также приобретение практических навыков на основании расчетов выбирать ограждающие конструкции зданий, обеспечивающие необходимый уровень тепловой защиты архитектурных объектов и требуемые экологические качества искусственной среды.

Курсовая работа должна состоять из введения, основной части, заключения и списка использованной литературы. Объем пояснительной записки – 30–40 стр. Во введении студент кратко обосновывает актуальность темы, цель и задачи работы. Основная часть состоит из пяти разделов; в конце каждого раздела делаются краткие выводы. В заключении подводится итог выполненной работы и делаются общие выводы. В списке использованной литературы указываются все публикации, которыми пользовался автор.

СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Введение

1. Исходные данные

- 1.1. Параметры наружного воздуха.
- 1.2. Параметры внутреннего воздуха.
- 1.3. Архитектурно-планировочное описание объекта.

2. Тепловой режим наружных ограждений

- 2.1. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций.
- 2.2. Построение графиков распределения температур в толще ограждающих конструкций.
- 2.3. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче полов и стен на грунте.
- 2.4. Определение температуры воздуха на застекленном балконе или лоджии.
- 2.5. Расчет теплопотерь здания.

3. Теплоустойчивость

- 3.1. Определение коэффициентов теплоусвоения внутренней поверхности ограждающих конструкций.
- 3.2. Теплоустойчивость помещений в холодный период.
- 3.3. Теплоустойчивость помещений в теплый период.

4. Воздушный режим здания

- 4.1. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций.
- 4.2. Расчет количества теплоты на нагревание инфильтрационного воздуха.

5. Влажностный режим наружных ограждений

- 5.1. Проверка вероятности выпадения конденсата на внутренней поверхности ограждения.
- 5.2. Проверка вероятности выпадения конденсата в толще наружного ограждения (метод Фокина).
- 5.3. Защита от переувлажнения ограждающих конструкций.

Список литературы

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Задание на курсовую работу выдается преподавателем в начале семестра. В нем указывается вариант для выполнения и следующие исходные данные:

- район строительства (город);
- план жилого дома;
- ориентация главного фасада здания;
- вариант конструкций наружных ограждений (см. приложение);
- высота этажа, высота подвала.

К ОФОРМЛЕНИЮ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

В начале пояснительной записки представлено выданное студенту задание. Здесь же сделаны все необходимые расчеты с кратким изложением методики их выполнения.

Основная часть работы состоит из разделов, подразделов, пунктов и подпунктов. Они нумеруются (кроме введения, заключения, списка литературы, приложений) арабскими цифрами.

Оформление пояснительной записки должно соответствовать ГОСТ [1].

Объем пояснительной записки должен составлять 30–40 страниц машинописного текста в текстовом редакторе Microsoft Word – Times New Roman Cyr, размер шрифта (кегель) – 14, интервал – полуторный. Основной текст выравнивают по ширине, а абзац начинают после отступа в 1,25 см. Поля текста страницы со всех сторон – 20 мм.

Страницы работы нумеруются по порядку, начиная с титульного листа, но непосредственно номер страницы ставится только с раздела введения. Страницы нумеруются арабскими цифрами в нижней части листа по центру.

Каждый новый раздел начинается с новой страницы. Между названием раздела и последующим текстом пропускается одна строка.

Размещать заголовки и подзаголовки в нижней части страницы допускается, если на ней может быть размещено не менее 3-х строк последующего текста.

Иллюстрации, таблицы, графики, расположенные на отдельных листах, включаются в общую нумерацию страниц. Иллюстрации следует нумеровать арабскими цифрами порядковой нумерацией в пределах всей работы. Номер следует размещать под иллюстрацией посередине после слова «рисунок».

Цифровой материал рекомендуется помещать в работе в виде таблиц. Таблицу следует располагать в работе непосредственно после текста, в котором она упоминается впервые, или на следующей странице. На все таблицы должны быть ссылки в тексте. Таблицы следует нумеровать арабскими цифрами порядковой нумерацией в пределах всей работы. Название таблицы следует помещать над

таблицей слева, без абзацного отступа через тире. Допускается нумерация таблиц в пределах раздела. Каждая таблица должна иметь заголовок. Слово «таблица» и заголовок начинаются с прописной буквы, точка в конце заголовка не ставится. Заголовки граф таблицы должны начинаться с прописных букв, подзаголовки со строчных, если последние подчиняются заголовку. Таблицу следует размещать так, чтобы читать её без поворота работы; если такое размещение невозможно, таблицу располагают так, чтобы её можно было читать, поворачивая работу по часовой стрелке. При переносе таблицы головку таблицы следует повторить, и над ней размещают слова «Продолжение табл.» с указанием её номера. Если головка таблицы велика, допускается её не повторять; в этом случае следует пронумеровать графы и повторить их нумерацию на следующей странице. Заголовок таблицы не повторяют. В таблице допускается применять размер шрифта меньший, чем в тексте.

Формулы и уравнения в работе подлежат порядковой нумерации в пределах всей работы арабскими цифрами в круглых скобках в крайнем правом положении напротив формулы. Допускается нумерация формул в пределах раздела. Пояснения к символам, входящим в формулу, приводятся под формулой в той же последовательности, в которой они представлены в формуле.

Для оформления списка источников используют ГОСТ 7.1–2003 [2].

Порядок защиты

Курсовая работа является обязательной формой отчетности для итоговой аттестации студентов по дисциплине. Защита студентом курсовой работы производится в установленном порядке в ходе итоговой аттестации при личном собеседовании с преподавателем. Курсовая работа допускается к защите при условии соответствия ее содержания и оформления требованиям, сформулированным в данных методических рекомендациях, и соблюдения сроков предоставления.

Основанием для недопуска курсовой работы к защите является несоответствие работы требованиям, предъявляемым к содержанию и оформлению курсовой работы. Защита курсовой работы осуществляется в устной форме.

Для доклада основных положений курсовой работы, обоснования выводов и предложений студенту предоставляется не более 5–7 минут. После доклада студент должен ответить на замечания научного руководителя, а также на заданные вопросы по теме курсовой работы. Положительная оценка курсовой работы свидетельствует о наличии у автора необходимых знаний по дисциплине и соответствующим образом отражается на результатах итоговой аттестации студентов. Курсовая работа, получившая оценку «неудовлетворительно», перерабатывается в установленные сроки по согласованию с преподавателем и повторно представляется для защиты.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1. Исходные данные

1.1. Параметры наружного воздуха

Параметры наружного воздуха определяются по СП [3] для заданного города. Для холодного периода года выбираются следующие параметры:

- 1) средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92: t_n , °С;
- 2) средняя месячная температура наружного воздуха за январь: t_1 , °С;
- 3) средняя температура наружного воздуха в отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха < 8 °С: $t_{от}$, °С;
- 4) продолжительность отопительного периода: $z_{от}$, сут.;
- 5) средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца: φ , %;
- 6) максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь: v , м/с.

Зона влажности района строительства определяется по СП [4, прил. В].

1.2. Параметры внутреннего воздуха

Параметры воздуха внутри помещения определяются согласно ГОСТ [5, табл. 1]:

- 1) расчетная температура воздуха внутри помещения: t_b , °С;
- 2) расчетная относительная влажность воздуха внутри помещения: φ_b , %;
- 3) расчетная скорость движения воздуха: v_b , м/с.

Влажностный режим помещений определяется по СП [4, табл. 1]; условия эксплуатации ограждающих конструкций – по СП [4, табл. 2].

1.3. Архитектурно-планировочное описание объекта

Описывается здание, выбранное согласно варианту задания: его этажность, высота помещения, размеры в плане и площадь застройки, наличие подвала и чердака. Описываются конструкции наружных ограждающих конструкций, дверей, выбранные оконные заполнения. Указывается высота здания и его строительный объем.

2. Тепловой режим наружных ограждений

2.1. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций

Выполняется согласно методике СП [4, п. 5].

Целью теплотехнического расчета является определение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, а также толщины слоя утеплителя.

Выбор толщины утеплителя осуществляется исходя из условия: приведенные сопротивления теплопередаче $R_0^{пр}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, отдельных ограждающих конструкций должны быть не меньше нормируемых значений:

$$R_0^{пр} \geq R_0^{норм}. \quad (2.1)$$

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $R_0^{норм}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, определяется по формуле

$$R_0^{норм} = R_0^{тр} m_p, \quad (2.2)$$

где $R_0^{тр}$ – требуемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, принимаемое по СП [4, табл. 3] в зависимости от градусо-суток отопительного периода, ГСОП, $\text{°C} \cdot \text{сут}/\text{год}$, региона строительства; m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства, принимается равным 1, следовательно

$$R_0^{пр} \geq R_0^{тр}. \quad (2.3)$$

Градусо-сутки отопительного периода определяются по формуле

$$\text{ГСОП} = (t_b - t_{от}) z_{от}, \quad (2.4)$$

где t_b – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °C ; $t_{от}$ – средняя температура наружного воздуха в отопительный период, °C ; $z_{от}$ – продолжительность отопительного периода, $\text{сут}/\text{год}$.

Неоднородность материалов ограждений (внутренние связи конструкции, являющиеся теплопроводными включениями) при проведении теплотехнического расчета учитывается введением коэффициента теплотехнической однородности r , который выражает долю приведенного сопротивления теплопередаче от условного:

$$r = \frac{R_0^{\text{нр}}}{R_0^{\text{усп}}}. \quad (2.5)$$

Коэффициент теплотехнической однородности рассчитывается по формуле

$$r = r_1 r_2, \quad (2.6)$$

где r_1 – коэффициент оценки внутренних креплений в ограждении; r_2 – коэффициент оценки примыкания других ограждений к расчетному.

Величина r определяется по эмпирическим формулам. Для ряда конструкций наружных стен значения r приведены в СП [6, п. 8.17, табл. 6], а также в работе Е.Г. Малявиной [7, раздел 5.1.1].

Для *наружных стен* значения величины $r_1 = 0,75–0,93$. Наличие оконных откосов в наружных стенах учитывается величиной $r_2 = 0,90–0,95$. Чем больше протяженность откосов, тем величина r_2 меньше.

Для *бесчердачного покрытия и чердачного перекрытия* $r_1 = 1$; наличие вытяжных вентиляционных шахт оценивается коэффициентом $r_2 = 0,90–0,95$. Чем больше количество шахт, тем r_2 меньше.

Для *перекрытия над подвалом* $r = 1$.

Условное сопротивление теплопередаче однородной (условно без теплопроводных включений) конструкции определяется по формуле

$$R_0^{\text{усп}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum R_s + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (2.7)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи (тепловосприятости) внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м² · °С), принимаемый по СП [4, табл. 4]; $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м² · °С), по СП [4, табл. 6]; R_s – термическое сопротивление слоя однородного ограждения, м² · °С/Вт:

$$R_s = \frac{\delta_s}{\lambda_s}, \quad (2.8)$$

где δ_s – толщина слоя, м; λ_s – теплопроводность материала слоя, Вт/(м · °С), принимаемая по СП [4, прил. С].

Для замкнутых воздушных прослоек величина термического сопротивления принимается по СП [4, табл. Е.1].

После определения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций определяется их коэффициент теплопередачи k , Вт/(м² · °С):

$$k = \frac{1}{R_0^{\text{пр}}}. \quad (2.9)$$

2.1.1. Пример определения толщины утеплителя в ограждении

Район строительства – Тольятти. Объект строительства – жилой дом.

Требуется определить толщину утепляющего слоя в конструкции наружной стены. Состав наружных стен представлен на рис. 2.1 и в табл. 2.1.

Последовательность расчета

1. Определяются градусо-сутки района строительства по формуле (2.4):

$$\text{ГСОП} = (20 + 5,2) \cdot 203 = 5115 \text{ °С} \cdot \text{сут/год}.$$

2. По СП [4, табл. 3] определяется значение требуемого сопротивления теплопередаче наружной стены:

$$R_0^{\text{тр}} = 0,00035 \cdot 5115 + 1,4 = 3,19 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

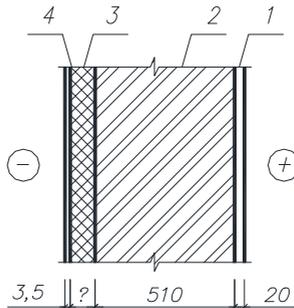


Рис. 2.1. Конструкция наружной стены

Состав наружной стены

№ п/п	Наименование материала	Толщина δ , м	Плотность, ρ_0 , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С)
1	Цементно-песчаная штукатурка	0,02	1800	0,76
2	Кладка из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе	0,51	1600	0,58
3	Плиты из пенополистирола	$\delta_{\text{ут}}$	18	0,04
4	Фактурная штукатурка фасада	0,0035	1800	0,76

Примечание. Теплофизические характеристики строительных материалов определены при условии эксплуатации ограждающих конструкций – А.

3. Вычисляется требуемое условное сопротивление теплопередаче $R_0^{\text{усл.тр}}$, м²·°С/Вт:

$$R_0^{\text{усл.тр}} = \frac{R_0^{\text{тр}}}{r};$$

$$R_0^{\text{усл.тр}} = \frac{3,19}{0,85} = 3,75 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}.$$

4. Из уравнения (2.7), принимая $R_0^{\text{усл}} = R_0^{\text{усл.тр}}$, определяется толщина утепляющего слоя:

$$R_0^{\text{усл.тр}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}};$$

$$\delta_{\text{ут}} = \left(R_0^{\text{усл.тр}} - \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_2}{\lambda_2} - \frac{\delta_4}{\lambda_4} - \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \right) \lambda_{\text{ут}};$$

$$\delta_{\text{ут}} = \left(3,75 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,02}{0,76} - \frac{0,51}{0,58} - \frac{0,0035}{0,76} - \frac{1}{23} \right) 0,04 = 0,107 \text{ м}.$$

5. Фактическая толщина утеплителя принимается в соответствии с выпускаемыми типоразмерами: $\delta_{\text{ут}}^{\text{ф}} = 0,11 \text{ м}$.

6. Определяется приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены:

$$R_0^{\text{пр}} = R_0^{\text{усл}} r = \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_{\text{ут}}^{\text{ф}}}{\lambda_{\text{ут}}} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} \right) r;$$

$$R_0^{\text{пр}} = R_0^{\text{учл}} r = \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,51}{0,58} + \frac{0,11}{0,04} + \frac{0,0035}{0,76} + \frac{1}{23} \right) 0,85 = 3,25 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

7. Проверяется выполнение условия (2.3):

$R_0^{\text{пр}} = 3,25 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} > R_0^{\text{тп}} = 3,19 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ — условие выполняется: приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены не меньше требуемого.

8. Вычисляется коэффициент теплопередачи наружной стены по формуле (2.9):

$$k_{\text{нс}} = \frac{1}{3,25} = 0,31 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$$

Примечание. При расчете толщины утеплителя в конструкции перекрытия над неотапливаемым подвалом требуемое сопротивление теплопередаче необходимо умножить на коэффициент n_i :

$$n_i = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{подв}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{от}}}, \quad (2.10)$$

где $t_{\text{подв}}$ — температура воздуха в неотапливаемом подвале, °C.

2.1.2. Приведенное сопротивление теплопередаче окон и балконных дверей

Требуемое сопротивление теплопередаче светопрозрачных конструкций определяется по СП [4, табл. 3] в зависимости от величины градусо-суток отопительного периода. Конструкция окон и светопрозрачных частей балконных дверей, а также их приведенные сопротивления теплопередаче принимаются по СП [6, табл. 5, Л.1].

Приведенное сопротивление теплопередаче глухой части балконной двери должно быть не менее чем в 1,5 раза выше требуемого сопротивления теплопередаче светопрозрачной части:

$$R_{\text{о.гл}}^{\text{пр}} \geq 1,5 R_{\text{о.ок}}^{\text{пр}}. \quad (2.11)$$

2.1.3. Приведенное сопротивление теплопередаче наружных дверей

Приведенное сопротивление теплопередаче входных дверей должно быть не менее $0,6 R_{\text{о.нс}}^{\text{тп}}$ стен зданий:

$$R_{\text{о.нд}}^{\text{пр}} \geq 0,6 R_{\text{о.нс}}^{\text{тп}}, \quad (2.12)$$

где $R_{\text{о.нс}}^{\text{тп}}$ — требуемое сопротивление теплопередаче наружных стен, определяемое по формуле

$$R_{0,nc}^{np} = \frac{t_v - t_n}{\Delta t^n \alpha_v}, \quad (2.13)$$

где Δt^n – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С, определяемый по СП [4, табл. 5].

Конструкцию наружной двери лестничной клетки выбирают исходя из этажности здания и расчетной температуры наружного воздуха [9].

Результаты теплотехнического расчета сводятся в таблицу (см. табл. 2.2).

Таблица 2.2

Теплотехнические характеристики наружных ограждающих конструкций

Наименование ограждающей конструкции	Толщина утепляющего слоя, δ_{yt} , м	Толщина ограждающей конструкции, δ , м	Приведенное сопротивление теплопередаче, R_0^{np} , $m^2 \cdot ^\circ C / Wt$	Коэффициент теплопередачи, k , $Wt / (m^2 \cdot ^\circ C)$
Наружная стена				
Бесчердачное покрытие				
Перекрытие над подвалом				
Окно	конструкция окна			
Балконная дверь	глухая часть			
Наружная дверь	конструкция двери			

2.1.4. Пример определения термического сопротивления неоднородной конструкции методом сложения проводимостей

Требуется определить термическое сопротивление наружной стены, неоднородной в направлении, параллельном и перпендикулярном тепловому потоку. Конструкция ограждения приведена на рис. 2.2.

Расчет проводится в два этапа.

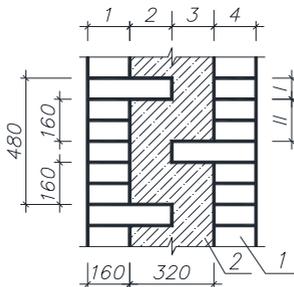


Рис. 2.2. Неоднородная конструкция наружной стены:

1 – кладка из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе, $\lambda_{\text{кирп}} = 0,87 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$; 2 – керамзитобетон, $\lambda_{\text{керам}} = 0,87 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$

1. Расчет параллельно тепловому потоку

Среднее термическое сопротивление наружной стены в направлении, параллельном тепловому потоку, определяется по формуле:

$$R_{\parallel} = \frac{A_I + A_{II} + A_{III} + \dots + A_n}{\frac{A_I}{R_I} + \frac{A_{II}}{R_{II}} + \frac{A_{III}}{R_{III}} + \dots + \frac{A_n}{R_n}}, \quad (2.14)$$

где R_I, R_{II}, \dots, R_n – термические сопротивления отдельных участков конструкции по поверхности ограждения, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$; A_I, A_{II}, \dots, A_n – площади отдельных участков конструкции по поверхности ограждения, м^2 .

Условно разрезаем стену плоскостями, параллельными направлению теплового потока: участки I и II.

Участок I

Термическое сопротивление:

$$R_I = R_{\text{кирп}} + R_{\text{керам}} = \frac{\delta_{\text{кирп}}}{\lambda_{\text{кирп}}} + \frac{\delta_{\text{керам}}}{\lambda_{\text{керам}}};$$

$$R_I = \frac{0,48}{0,87} + \frac{0,16}{0,24} = 1,218 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Площадь:

$$A_I = 0,08 \cdot 1 = 0,08 \text{ м}^2,$$

где 1 м – длина стены.

Участок 2

Термическое сопротивление:

$$R_{II} = R_{\text{кирп}} + R_{\text{керам}} = \frac{\delta_{\text{кирп}}}{\lambda_{\text{кирп}}} + \frac{\delta_{\text{керам}}}{\lambda_{\text{керам}}};$$

$$R_{II} = \frac{0,32}{0,87} + \frac{0,32}{0,24} = 1,701 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Площадь:

$$A_{II} = 0,16 \cdot 1 = 0,16 \text{ м}^2.$$

Среднее термическое сопротивление наружной стены в направлении, параллельном тепловому потоку, определяется по формуле (2.14):

$$R_{II} = \frac{A_I + A_{II}}{\frac{A_I}{R_I} + \frac{A_{II}}{R_{II}}};$$

$$R_{II} = \frac{0,08 + 0,16}{\frac{0,08}{1,218} + \frac{0,16}{1,701}} = 1,502 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

2. Расчет перпендикулярно тепловому потоку

Термическое сопротивление наружной стены в направлении, перпендикулярном тепловому потоку, определяется по формуле:

$$R_I = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n, \quad (2.15)$$

где R_1, R_2, \dots, R_n – термические сопротивления слоев конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, определяемые для однородных слоев по формуле (2.8), для неоднородных – по формуле (2.14).

Условно разрезаем стену плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока: участки 1, 2, 3, 4.

Участок 1, 4

Термическое сопротивление:

$$R_1 = R_{\text{кирп}} = \frac{\delta_{\text{кирп}}}{\lambda_{\text{кирп}}};$$

$$R_1 = \frac{0,16}{0,87} = 1,184 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Площадь:

$$A_1 = 0,24 \cdot 1 = 0,24 \text{ м}^2.$$

Участок 2, 3

Термическое сопротивление:

$$R_2 = R_3 = \frac{A_{\text{кирп}} + A_{\text{керам}}}{\frac{A_{\text{кирп}}}{R_{\text{кирп}}} + \frac{A_{\text{керам}}}{R_{\text{керам}}}};$$

$$A_{\text{кирп}} = 0,08 \cdot 1 = 0,08 \text{ м}^2; \quad A_{\text{керам}} = 0,4 \cdot 1 = 0,4 \text{ м}^2;$$

$$R_{\text{кирп}} = \frac{0,16}{0,87} = 1,184 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}; \quad R_{\text{керам}} = \frac{0,16}{0,24} = 0,667 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_2 = R_3 = \frac{0,08 + 0,4}{\frac{0,08}{1,184} + \frac{0,4}{0,667}} = 0,464 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Термическое сопротивление наружной стены в направлении, перпендикулярном тепловому потоку, определяется по формуле (2.15):

$$R_{\perp} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4;$$

$$R_{\perp} = 0,184 + 0,464 + 0,464 + 0,184 = 1,296 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Фактическая величина термического сопротивления конструкции наружной стены (при условии, что R_{II} превышает R_{\perp} не более, чем на 25 %) определяется по формуле:

$$R = \frac{R_{\text{II}} + 2R_{\perp}}{3}. \quad (2.16)$$

$$R = \frac{1,502 + 2 \cdot 1,296}{3} = 1,365 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

2.1.5. Расчёт приведенного сопротивления теплопередаче полов и стен на грунте

Для расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, контактирующих с грунтом, поверхность пола и стен делится на 4 зоны. Зоной называется полоса шириной 2 м, параллельная наружной стене.

Если стен, контактирующих с грунтом, нет, то 1-я зона расположена вдоль наружной стены (см. рис. 2.3). Если часть наружной стены углублена в землю, то 1-я зона начинается на стене на уровне земли и продолжается по полу (см. рис. 2.4).

Поверхность пола размером 2×2 м в зоне, примыкающей к наружному углу помещения, имеет повышенные теплопотери, поэтому ее площадь в месте примыкания при определении общей площади зоны учитывается дважды. На рис. 2.3 этот участок заштрихован и принадлежит 1-й зоне. На рис. 2.4 в него попали часть 1-й и часть 2-й зоны.

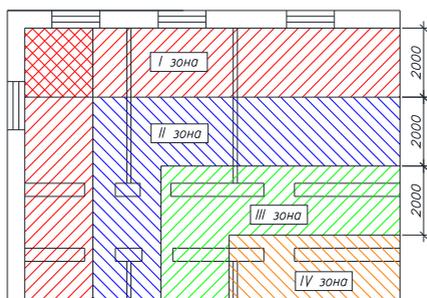


Рис. 2.3. Разбивка на зоны полов, лежащих на грунте

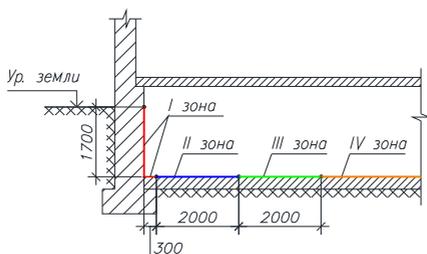


Рис. 2.4. Разбивка на зоны стен и полов помещений, углубленных в землю

Если пол или стена являются **неутепленными**, т. е. состоящими из слоев строительных материалов, коэффициент теплопроводности которых $\lambda \geq 1,2$ Вт/(м · °С), то для них в зависимости от зоны

принимаются следующие нормативные значения сопротивления теплопередаче $R_{н.п}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$:

зона I: $R_{н.п}^I = 2,1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

зона II: $R_{н.п}^{II} = 4,3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

зона III: $R_{н.п}^{III} = 8,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

зона IV: $R_{н.п}^{IV} = 14,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Если в конструкции пола, расположенного на грунте, имеются утепляющие слои ($\lambda_{y.c} \leq 1,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$), т. е. пол является **утепленным**, то его сопротивление теплопередаче $R_{y.п}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, определяется по формуле

$$R_{y.п} = R_{н.п} + \sum \frac{\delta_{y.c}}{\lambda_{y.c}}, \quad (2.17)$$

где $\delta_{y.c}$ – толщина утепляющего слоя, м; $\lambda_{y.c}$ – коэффициент теплопроводности материала утепляющего слоя, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$.

Для пола на лагах сопротивление теплопередаче $R_{л}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, равно:

$$R_{л} = 1,18 R_{y.п}. \quad (2.18)$$

2.1.6. Пример определения сопротивления теплопередаче утепленных полов на грунте

Требуется определить сопротивление теплопередаче утепленного пола на грунте, конструкция которого представлена на рис. 2.5.

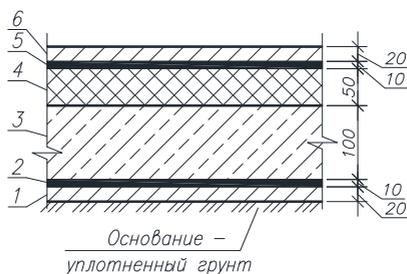


Рис. 2.5. Конструкция пола на грунте: 1 – стяжка цементно-песчаная, $\lambda = 0,76 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$; 2 – гидроизоляция – 2 слоя гидростеклоизола $\lambda = 0,17 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$; 3 – ж/б плита, $\lambda = 1,92 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$; 4 – утеплитель – пенополистирол, $\lambda = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$; 5 – гидроизоляция – 2 слоя гидростеклоизола, $\lambda = 0,17 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$; 6 – стяжка цементно-песчаная, $\lambda = 0,76 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$.

Сопротивление теплопередаче пола на грунте рассчитывается по зонам с учетом формулы (2.17):

$$\text{в зоне I: } R_{y,нI} = R_{н,н}^I + R_{y,c};$$

$$\text{в зоне II: } R_{y,нII} = R_{н,н}^{II} + R_{y,c};$$

$$\text{в зоне III: } R_{y,нIII} = R_{н,н}^{III} + R_{y,c};$$

$$\text{в зоне IV: } R_{y,нIV} = R_{н,н}^{IV} + R_{y,c};$$

$$R_{y,нI} = 2,1 + \left(\frac{0,02}{0,76} + \frac{0,01}{0,17} + \frac{0,05}{0,04} + \frac{0,01}{0,17} + \frac{0,02}{0,76} \right) = 3,52 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_{y,нII} = 4,3 + 1,42 = 5,72 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_{y,нIII} = 8,6 + 1,42 = 10,02 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_{y,нIV} = 14,2 + 1,42 = 15,62 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

2.1.7. Построение графиков распределения температур в толще ограждающих конструкций

Температура в любом слое ограждающей конструкции определяется по формуле

$$\tau_x = t_b - \frac{t_b - t_n}{R_0^{\text{усл}}} \left(\frac{1}{\alpha_b} + \sum_{\text{до сечения } x} \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right), \quad (2.19)$$

где $\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ – сумма термических сопротивлений слоев многослойной ограждающей конструкции от внутренней поверхности до плоскости, отстоящей от внутренней поверхности на расстоянии x .

2.1.8. Пример построения графика распределения температур в толще наружной стены

Требуется построить график распределения температур в толще наружной стены, конструкция которой представлена на рис. 2.6.

По формуле (2.19)

$$\tau_{в,н} = 20 - \frac{20 + 28}{3,6} \left(\frac{1}{8,7} + 0 \right) = 18,5 \text{ °C};$$

$$\tau_1 = 20 - \frac{20 + 28}{3,6} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,36} \right) = 18,3 \text{ °C};$$

$$\tau_2 = 20 - \frac{20 + 28}{3,6} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,36} + \frac{0,1}{2,04} \right) = 17,6 \text{ °C};$$

$$\tau_3 = 20 - \frac{20 + 28}{3,6} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,36} + \frac{0,1}{2,04} + \frac{0,1}{0,031} \right) = -25,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_4 = 20 - \frac{20 + 28}{3,6} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,36} + \frac{0,1}{2,04} + \frac{0,1}{0,031} + \frac{0,12}{0,81} \right) = -27,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_{н.п} = 20 - \frac{20 + 28}{3,6} \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,005}{0,36} + \frac{0,1}{2,04} + \frac{0,1}{0,031} + \frac{0,12}{0,81} + \frac{0,008}{0,19} \right) = -27,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

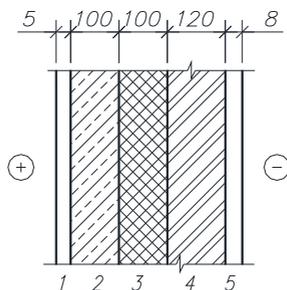


Рис. 2.6. Многослойная наружная стена: 1 – гипсовая штукатурка, $\lambda = 0,36 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; 2 – ж/б плита, $\lambda = 2,04 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; 3 – утеплитель Styrofoam, $\lambda = 0,031 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; 4 – облицовка из сплошного глиняного обыкновенного кирпича, $\lambda = 0,81 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; 5 – штукатурка из поризованного гипсо-перлитового раствора, $\lambda = 0,19 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$

График распределения температур в толще наружной стены представлен на рис. 2.7.

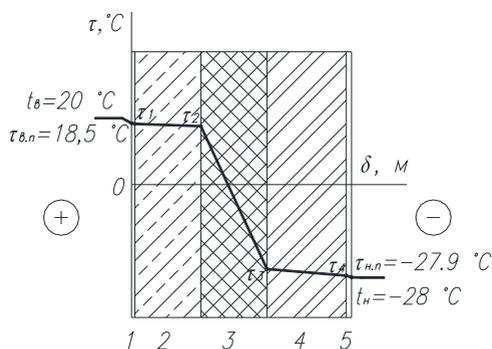


Рис. 2.7. График распределения температур в толще наружной стены

2.2. Расчет теплопотерь здания

2.2.1. Основные (трансмиссионные) теплопотери помещения

При наличии разности температур воздуха по одну и другую стороны ограждающей конструкции сквозь нее будет проходить трансмиссионный тепловой поток в направлении от более высокой температуры к более низкой.

В холодный период года в наружных ограждениях имеет место тепловой поток, направленный из помещения на улицу. То есть помещение будет терять тепло. Для поддержания нормируемой температуры воздуха внутри помещения необходимо компенсировать тепловые потери за счет работы системы отопления.

Целью расчета теплопотерь здания является определение тепловой мощности системы отопления.

Помимо теплопотерь в каждом помещении имеются еще и теплопоступления. В частности в жилых зданиях бытовые теплопоступления учитываются пропорционально площади пола отапливаемого помещения и вычитаются из потерь теплоты этим помещением.

Таким образом, расчетные теплопотери помещения жилого здания Q_o , Вт, вычисляются по уравнению теплового баланса:

$$Q_o = \sum [Q(1 + \sum \beta)] + Q_{\text{инф}} - Q_{\text{быт}}, \quad (2.20)$$

где Q – основные потери теплоты помещением через наружные ограждающие конструкции, Вт:

$$Q = kA(t_v - t_n)n, \quad (2.21)$$

где k – коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/(м²·°С); A – расчетная площадь ограждающей конструкции, м²; n – коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, принимаемый по СНиП [8, табл. 6]; β – коэффициент, учитывающий в долях от основных потерь тепла добавочные теплопотери; $Q_{\text{инф}}$ – затраты теплоты на нагревание воздуха, инфильтрующегося в помещение через неплотности наружных ограждающих конструкций, Вт (см. раздел 4.2); $Q_{\text{быт}}$ – бытовые тепловыделения, Вт, определяемые по формуле:

$$Q_{\text{быт}} = q_{\text{быт}} \cdot A_{\text{ж}}, \quad (2.22)$$

где $q_{\text{быт}}$ — удельные бытовые тепловыделения, Вт/м², принимаемые по СП [4, прил. Г]; $A_{\text{ж}}$ — площадь жилых помещений, м².

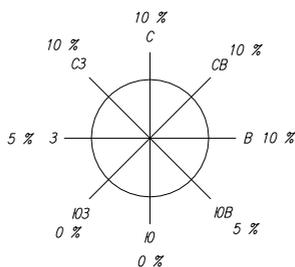
Теплопотери или теплопоступления через внутренние ограждения учитываются, если перепад температур воздуха в соседних помещениях составляет **4 °С и более**.

2.2.2. Добавочные теплопотери через ограждения

Основные теплопотери Q через ограждения часто оказываются меньше действительных теплопотерь, т. к. при этом не учитывается влияние на процесс некоторых факторов (инфильтрация, эксфильтрация, облучение солнцем, «отрицательное» излучение внешней поверхности ограждений в сторону небосвода, изменение температур по высоте, врывание холодного воздуха через открываемые проемы и пр.).

Дополнительные потери теплоты обычно учитывают добавками к основным теплопотерям:

1. **Добавка на ориентацию** по сторонам света делается на все наружные вертикальные (проекции на вертикаль) и наклонные ограждения. Величины добавок берутся в соответствии со схемой:



2. **Добавка на угловые помещения.** В жилых зданиях при расчете теплопотерь в угловых помещениях к принятой для расчета температуре внутреннего воздуха прибавляется еще 2°.

В общественных, административно-бытовых и производственных зданиях при наличии двух наружных стен и более к теплопотерям через наружные ограждения добавляется **0,05** на каждую стену, дверь, окно, если одно из указанных ограждений ориентировано **на север, восток, северо-восток и северо-запад**, и по 0,1 — в других случаях.

3. Для горизонтально расположенных ограждений **добавка на продувание подпольных помещений** в размере 0,05 вводится только для необогреваемых полов первого этажа над холодными подполями зданий в местностях с расчетной температурой наружного воздуха (пятидневки) минус 40 °С и ниже.

4. **Добавка на врывание холодного воздуха** через наружные двери (не оборудованные воздушными завесами) при их кратковременном открывании принимается в зависимости от конструкции входа и высоты здания $H_{зд}$, м, от средней планировочной отметки земли до верха карниза или устья вентиляционной шахты:

- 1) тройные двери с двумя тамбурами – $\beta = 0,2H_{зд}$;
- 2) двойные двери с тамбуром – $\beta = 0,27H_{зд}$;
- 3) двойные двери без тамбура – $\beta = 0,34H_{зд}$;
- 4) одинарные двери – $\beta = 0,22H_{зд}$.

2.2.3. Обмер площадей наружных ограждений помещений

Площади определяются по внешнему обмеру:

- 1) площади окон и дверей измеряются по наименьшему строительному проему;
- 2) площади потолка и пола измеряются между осями внутренних стен и внутренней поверхностью наружной стены;
- 3) площади наружных стен измеряются:
 - а) *в плане* – по внешнему периметру между наружным углом и осями внутренних стен;
 - б) *по высоте*: **первый этаж** – от нижней поверхности перекрытия над подвалом до чистого пола второго этажа; **средние этажи** – от поверхности пола до поверхности пола следующего этажа; **верхний этаж** – от поверхности пола до верха конструкции чердачного перекрытия или бесчердачного покрытия.

Размеры внутренних ограждений берутся по внутреннему обмеру.

2.2.4. Определение температуры воздуха на застекленном балконе или лоджии

Для определения теплотерь через наружные ограждения, защищенные от наружного воздуха застекленным балконом (см. рис. 2.8) или лоджией, необходимо знать температуру воздуха внутри них.

Для решения данной задачи составляются уравнения теплового баланса:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} A_i (t_{\text{в}} - t_{\text{бал}}); \quad (2.23)$$

$$Q_2 = \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j} A_j (t_{\text{бал}} - t_{\text{н}}), \quad (2.24)$$

где R_i , A_i – приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, и площадь i -го участка ограждения, м^2 , между помещением и балконом (наружная стена, окно, балконная дверь); R_j , A_j – приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, и площадь j -го участка ограждения, м^2 , между балконом и наружным воздухом (остекление балкона, непрозрачная часть ограждения балкона); $t_{\text{бал}}$ – температура воздуха внутри застекленного балкона, °C .

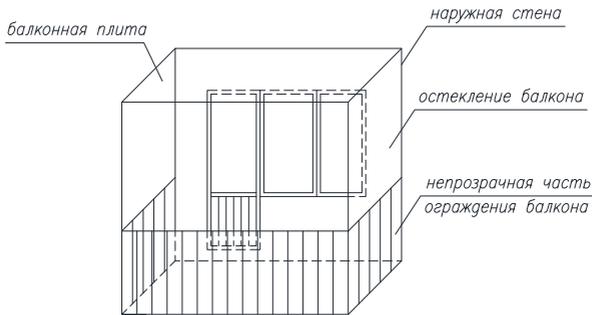


Рис. 2.8. Схема навесного балкона

Можно считать, что $Q_1 = Q_2$. Тогда

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} A_i (t_{\text{в}} - t_{\text{бал}}) = \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j} A_j (t_{\text{бал}} - t_{\text{н}}).$$

Отсюда

$$t_{\text{бал}} = \frac{t_{\text{в}} \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{R_i} + t_{\text{н}} \sum_{j=1}^n \frac{A_j}{R_j}}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{R_i} + \sum_{j=1}^n \frac{A_j}{R_j}}. \quad (2.25)$$

Пример расчета температуры воздуха внутри застекленного балкона приведен в СП [6, прил. У].

Аналогично определяется температура воздуха внутри неотапливаемого тамбура.

2.2.5. Пример расчета теплопотерь помещений жилого дома

Требуется определить теплопотери в помещениях 101, 202 и лестничной клетке жилого здания, расположенного в г. Астрахань. Фрагмент плана 1-го этажа и разрез здания приведены на рис. 2.9.

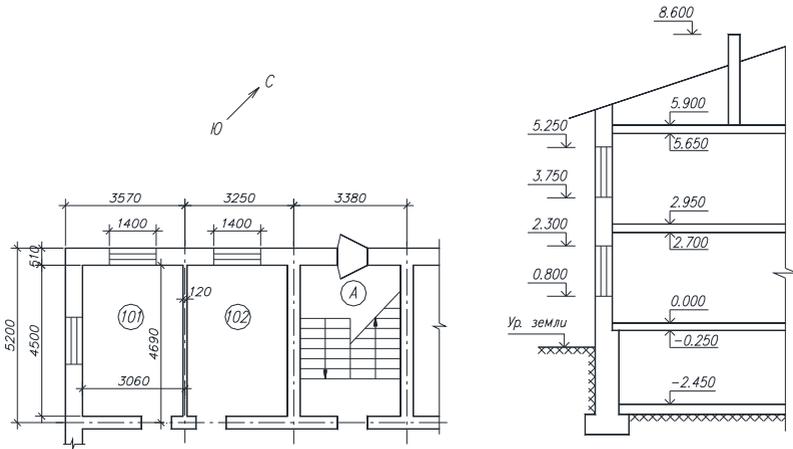


Рис. 2.9. План и разрез здания

Высота наружной стены здания от уровня земли до верха чердачного перекрытия – $H_{нс} = 6,6$ м; высота здания от уровня земли до верха вентиляционной шахты – $H_{зд} = 9,3$ м.

Температура воздуха в подвале – $t_{подв} = 5$ °С.

Расчет выполняется по помещениям. На плане каждого этажа нумеруются все помещения. Нумерацию следует производить поэтажно, по часовой стрелке, начиная с верхней левой угловой комнаты – 101, 102, 103, ...; 201, 202, 203, ... В подвале – 01, 02, 03, ... Лестничные клетки нумеруются буквами А, Б и т. д.

Наименования ограждений:

НС – наружная стена; ВС – внутренняя стена; ПТ – потолок;

О – окно; БД – балконная дверь;

ПЛ – пол; НД – наружная входная дверь.

Ориентация по сторонам света: С, Ю, З, В, СЗ, СВ, ЮЗ, ЮВ.

Расчет теплопотерь помещений сводится в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Расчет теплопотерь здания

№ помещения	Наименование помещения	Ограждающие конструкции							основные теплопотери через ограждения Q , Вт	Добавочные теплопотери, β		коэффициент $(1+\beta)$	Теплопотери, Вт			
		наименование	ориентация	размеры, м		площадь A , м ²	коэффициент теплопередачи k_e , Вт/м ² ·°С	$\Delta t = (t_{в} - t_{п})/n$, °С		на ориентацию	прочие		через ограждения с учетом добавочных $Q(1 + \Sigma\beta)$	на инфильтрацию $Q_{инф}$	бытовые $Q_{быт}$	расчетные Q_0
				a	h											
1	ЖК	НС	СЗ	3,57	3,2	9,3	0,39	41	149	0,1	0,05	1,15	171			
$t_{в} =$		О	СЗ	1,4	1,5	2,1	2,46	41	212	0,1	0,05	1,15	244			
$=20^{\circ}\text{C}$		НС	ЮЗ	5,2	3,2	14,5	0,39	41	232	-	0,05	1,05	244			
		О	ЮЗ	1,4	1,5	2,1	2,46	41	212	-	0,05	1,05	223			
		ПЛ	-	4,69	3,06	14,4	0,40	15	86	-	-	1,0	86			
													968	505	230	1243
202	Кухня	НС	СЗ	3,25	2,95	7,5	0,39	41	120	0,1	-	1,1	132			
$t_{в} =$		О	СЗ	1,4	1,5	2,1	2,46	41	212	0,1	-	1,1	233			
$=20^{\circ}\text{C}$		ВС	-	4,5	2,7	12,2	1,23	4	60	-	-	1,0	60			
													425	505	230	1205
А	ЛК	НС	СЗ	3,38	6,6	20,7	0,39	41	331	0,1	-	1,1	364			
$t_{в} =$		О	СЗ	1,8	0,9	1,6	2,46	41	161	0,1	-	1,1	177			
$=16^{\circ}\text{C}$		НД	СЗ	1,8	2,2	4,0	1,41	41	231	0,1	0,34-9,3	4,26	984			
		ПТ	-	4,69	3,38	15,9	0,29	36,9	170	-	-	1,0	170			
		ПЛ	-	4,69	3,38	15,9	0,40	11	70	-	-	1,0	70			
													1765	-	-	1765

3. Теплоустойчивость

3.1. Определение коэффициентов теплоусвоения внутренней поверхности ограждающих конструкций

Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности ограждающей конструкции $Y_{\text{в}}$, Вт/(м² · °С), является важной характеристикой ограждения в отношении воздействия на него периодических колебаний температуры и теплового потока, зависит главным образом от теплотехнических свойств самой конструкции и определяется в зависимости от расположения слоя резких колебаний следующим образом:

1. Если первый (внутренний) слой ограждающей конструкции имеет тепловую инерцию $D_1 > 1$, то есть слой резких колебаний полностью расположен в первом слое, то

$$Y_{\text{в}} = S_1. \quad (3.1)$$

2. Если $D_1 + D_2 + \dots + D_{n-1} < 1$, а $D_1 + D_2 + \dots + D_n \geq 1$, граница слоя резких колебаний находится в некотором n -м слое, то коэффициент теплоусвоения следует определять последовательно, начиная с внутренней поверхности $(n-1)$ -го слоя до первого:

$$Y_{n-1} = \frac{R_{n-1}S_{n-1}^2 + S_n}{1 + R_{n-1}S_n}, \quad (3.2)$$

$$Y_i = \frac{R_iS_i^2 + Y_{i+1}}{1 + R_nY_{i+1}}. \quad (3.3)$$

3. Если для ограждающей конструкции, состоящей из n слоев, слой резких колебаний выходит за пределы ограждения, $D_1 + D_2 + \dots + D_n < 1$, то коэффициент $Y_{\text{в}}$ следует определять последовательно расчетом коэффициентов Y_n, Y_{n-1}, Y_1 для n -слоя по формуле

$$Y_n = \frac{R_nS_n^2 + \alpha_n}{1 + R_n\alpha_n}. \quad (3.4)$$

Для i -го слоя ($i = n-2, n-3, \dots, 1$) по формуле (3.3).

В формулах (3.1)–(3.4) и неравенствах:

D_1, D_2, \dots, D_n – тепловая инерция соответственно 1-го, 2-го, ..., n -го слоев конструкции, определяемая по формуле

$$D = R_1S_1 + R_2S_2 + \dots + R_nS_n, \quad (3.5)$$

где R_i, R_{n-1}, R_n – термические сопротивления, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, соответственно i -го, ..., $(n-1)$ -го и n -го слоев конструкции; S_1, S_i, S_{n-1}, S_n – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала 1-го, ..., i -го, ..., $(n-1)$ -го и n -го слоев конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, принимаемые по СП [4, прил. С]; Y_{i+1} – коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности $(i+1)$ -го слоя конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$; α_n – то же, что и в формуле (2.7).

4. Для внутренних ограждающих конструкций величина Y_B определяется как для наружных ограждений, но принимается, что в середине ограждений $S = 0$. Для несимметричных ограждений их середину следует назначать по половине величины $\sum D$ всего ограждения.

5. При наличии в ограждающей конструкции воздушной прослойки коэффициент теплоусвоения воздуха S в ней принимается равным нулю.

6. Для неоднородного слоя конструкции определяется средний коэффициент теплоусвоения материалов слоя по формуле [10]:

$$S_{cp} = \frac{S_1 A_1 + S_2 A_2 + \dots + S_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}, \quad (3.6)$$

где S_1, S_2, S_n – коэффициенты теплоусвоения отдельных материалов слоя с соответствующими площадями A_1, A_2, A_n , занимаемыми отдельными материалами по поверхности слоя, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$; n – число материалов, входящих в слой.

Поверхность пола жилых и общественных зданий должна иметь показатель теплоусвоения $Y_{\text{пол}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, не более нормативной величины $Y_{\text{пол}}^{\text{нр}}$, приведенной в СП [4, табл. 12].

Расчетная величина теплоусвоения поверхности пола определяется:

1. Если покрытие пола (первый слой конструкции пола) имеет тепловую инерцию $D_1 \geq 0,5$, то показатель теплоусвоения поверхности пола следует определять по формуле

$$Y_B = 2S_1. \quad (3.7)$$

2. Если $D_1 + D_2 + \dots + D_{n-1} < 0,5$, но $D_1 + D_2 + \dots + D_n \geq 0,5$, то показатель теплоусвоения поверхности пола $Y_{\text{пол}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, следует определять последовательно расчетом коэффициентов теплоусвоения внутренней поверхности слоев конструкции, начиная

с $(n-1)$ -го слоя до первого следующим образом:

– для $(n-1)$ -го слоя по формуле:

$$Y_{n-1} = \frac{2R_{n-1}S_{n-1}^2 + S_n}{0,5 + R_{n-1}S_n}; \quad (3.8)$$

– для i -го слоя ($i = n-2, n-3, \dots, 1$) по формуле:

$$Y_i = \frac{4R_iS_i^2 + Y_{i+1}}{1 + R_iY_{i+1}}. \quad (3.9)$$

Коэффициент $Y_{\text{пол}}$ принимается равным коэффициенту теплоусвоения поверхности 1-го слоя Y_1 .

3.2. Пример теплотехнического расчета пола

Определить, удовлетворяет ли в отношении теплоусвоения требованиям СП конструкция пола жилого здания из поливинилхлоридного линолеума на теплозвукоизолирующей подоснове из стеклянного волокна, наклеенного холодной битумной мастикой на железобетонную плиту перекрытия. Теплотехнические характеристики отдельных слоев конструкции пола (при их нумерации сверху вниз) даны в табл. 3.1.

Последовательность расчета

1. Определяется тепловая инерция слоев пола по формуле (3.5):

$$D_1 = R_1S_1 = 0,0045 \cdot 7,52 = 0,034;$$

$$D_2 = R_2S_2 = 0,043 \cdot 0,92 = 0,04;$$

$$D_3 = R_3S_3 = 0,0059 \cdot 4,56 = 0,027;$$

$$D_4 = R_4S_4 = 0,08 \cdot 16,77 = 1,34.$$

2. Так как суммарная тепловая инерция первых трех слоев

$$D_1 + D_2 + D_3 = 0,034 + 0,04 + 0,027 = 0,101 < 0,5,$$

но суммарная тепловая инерция четырех слоев

$$0,101 + 1,34 = 1,441 > 0,5,$$

то показатель теплоусвоения поверхности пола определяется с учетом четырех слоев конструкции пола с помощью формул (3.8) и (3.9), начиная с третьего:

$$Y_3 = (2 \cdot 0,0059 \cdot 4,56^2 + 16,77) / (0,5 + 0,0059 \cdot 16,77) = 28,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$Y_2 = (4 \cdot 0,043 \cdot 0,92^2 + 28,4) / (1 + 0,043 \cdot 28,4) = 12,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$Y_1 = Y_{\text{пол}} = (4 \cdot 0,0045 \cdot 7,52^2 + 12,9)/(1 + 0,0045 \cdot 12,9) = 13,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

3. Значение показателя теплоусвоения поверхности пола для жилых зданий согласно СП не должно превышать $Y_{\text{пол}}^{\text{тп}} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$. Расчетное значение показателя теплоусвоения данной конструкции $Y_{\text{пол}} = 13,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$. Следовательно, рассматриваемая конструкция пола в отношении теплоусвоения не удовлетворяет требованиям СП.

4. Определяется показатель теплоусвоения поверхности данной конструкции пола в том случае, если по плите перекрытия будет устроена стяжка из шлакопемзобетона ($\delta = 0,02 \text{ м}$, $\rho_0 = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\lambda = 0,37 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$, $S = 5,83 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, $R = 0,054 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, $D = 0,315$). Конструкция пола в этом случае будет состоять из пяти слоев.

Таблица 3.1

Теплотехнические характеристики слоев конструкции пола

Номер слоя	Материал	Толщина слоя δ , м	Плотность материала в сухом состоянии ρ_0 , кг/м ³	Коэффициенты при условиях эксплуатации А		Термическое сопротивление R , м ² ·°C/Вт
				теплопроводности λ , Вт/(м·°C)	теплоусвоения S , Вт/(м ² ·°C)	
1	Лицевой слой из линолеума	0,0015	1600	0,33	7,52	0,0045
2	Подоснова	0,002	150	0,047	0,92	0,043
3	Битумная мастика	0,001	1000	0,17	4,56	0,0059
4	Плита перекрытия	0,14	2400	1,74	16,77	0,08

5. Так как суммарная тепловая инерция первых четырех слоев $D_1 + D_2 + D_3 + D_4 = 0,034 + 0,04 + 0,027 + 0,315 = 0,416 < 0,5$, но суммарная тепловая инерция пяти слоев

$$0,416 + 1,34 = 1,756 > 0,5,$$

то показатель теплоусвоения поверхности пола определяется с учетом пяти слоев конструкции пола.

6. Определяется показатель теплоусвоения поверхности четвертого, третьего, второго и первого слоев пола по формулам (3.8) и (3.9):

$$Y_4 = (2R_4S_4^2 + S_3)/(0,5 + R_4S_3) =$$

$$= (2 \cdot 0,054 \cdot 5,83^2 + 16,77)/(0,5 + 0,054 \cdot 16,77) = 14,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С});$$

$$Y_3 = (4R_3S_3^2 + Y_4)/(1 + R_3Y_4) =$$

$$= (4 \cdot 0,0059 \cdot 4,56^2 + 14,5)/(1 + 0,0059 \cdot 14,5) = 13,82 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С});$$

$$Y_2 = (4R_2S_2^2 + Y_3)/(1 + R_2Y_3) =$$

$$= (4 \cdot 0,043 \cdot 0,92^2 + 13,82)/(1 + 0,043 \cdot 13,82) = 8,78 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С});$$

$$Y_1 = Y_n = (4R_1S_1^2 + Y_2)/(1 + R_1Y_2) =$$

$$= (4 \cdot 0,0045 \cdot 7,52^2 + 8,78)/(1 + 0,0045 \cdot 8,78) = 9,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}).$$

7. Таким образом, устройство по плите перекрытия стяжки из шлакопемзобетона ($\rho_0 = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$) толщиной 20 мм уменьшило значение показателя теплоусвоения поверхности пола с 13,2 до 9,4 Вт/(м²·°С). Следовательно, эта конструкция пола в отношении теплоусвоения удовлетворяет нормативным требованиям, так как значение показателя теплоусвоения поверхности не превышает $Y_{\text{пол}}^{\text{нр}} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ – нормируемого показателя теплоусвоения пола для жилых зданий.

3.3. Теплоустойчивость помещений в холодный период

Теплоустойчивость помещения – это его способность уменьшать колебания температуры внутреннего воздуха при колебаниях теплового потока от отопительного прибора. Теплоустойчивость помещений в холодный период года при наличии в здании системы отопления с автоматическим регулированием температуры внутреннего воздуха не нормируется. В остальных случаях расчетная амплитуда колебания результирующей температуры помещения жилых, а также общественных зданий не должна превышать ее нормируемого значения в течение суток (при наличии центрального отопления 1,5 °С.)

Расчетная амплитуда колебания температуры внутреннего воздуха в холодный период года $A_{\tau}^{\text{рас}}, \text{°С}$, определяется по формуле

$$A_{\tau}^{\text{рас}} = \frac{0,7MQ_0}{\sum(A_i B_i)}, \quad (3.10)$$

где Q_0 – средняя теплоотдача отопительным прибором, равная теплотерям помещения (см. табл. 2.3); M – коэффициент неравномерности теплоотдачи отопительного прибора, принимается равным 0,1 для водяного отопления с непрерывным обслуживанием;

A_i – площадь i -й ограждающей конструкции по внутреннему обмеру; B_i – коэффициент теплопоглощения i -го ограждения, определяемый по формуле

$$B_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{в}} + \frac{1}{Y_{ig}}}, \quad (3.11)$$

где $\alpha_{в}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С), определяется по формуле

$$\alpha_{в} = \alpha_{л} + \alpha_{к}, \quad (3.12)$$

здесь $\alpha_{л}$ – коэффициент лучистого теплообмена, принимается равным 4,5 для всех ограждений Вт/(м²·°С); $\alpha_{к}$ – коэффициент конвективного теплообмена внутренней поверхности, Вт/(м²·°С), принимается равным для внутреннего ограждения – 1,2; окна – 3,5; пола – 1,5; потолка – 3,5 [6]; $Y_{ив}$ – коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности i -й ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С), определяемый по п.п. 3.1, 3.2.

При отоплении с конвективной составляющей коэффициент конвективного теплообмена формируется в условиях, когда температура у поверхности ниже температуры воздуха. В условиях смешанной конвекции

$$\alpha_{к} = B \cdot 3 \sqrt{t_{в} - \left(\tau_{в} - \frac{60v_{в}^2}{h_{пом}} \right)}, \quad (3.13)$$

где $h_{пом}$ – высота помещения, м; $v_{в}$ – подвижность воздуха помещения.

Значения поправочного коэффициента B в формуле (3.13) принимается:

$B = 1,66$ – для вертикальных поверхностей;

$B = 1,16$ – для горизонтальных поверхностей при потоке тепла сверху вниз;

$B = 2,16$ – для горизонтальных поверхностей при потоке тепла снизу вверх.

Если приток в помещение осуществляется механической вентиляцией или работает рециркуляционный вентиляционный аппарат, то коэффициент конвективного теплообмена, $\alpha_{к}$, Вт/(м²·°С), принимаемый для вынужденной конвекции, равен [7]:

$$\alpha_{к} = 5,6 + 3,9v_{в}^2. \quad (3.14)$$

При определении коэффициента теплопоглощения для окон и остекленных наружных дверей следует принимать величину:

$$B = \frac{1}{1,08R_{\text{ок}}}, \quad (3.15)$$

где $R_{\text{ок}}$ – сопротивление теплопередаче окна или двери, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Пример расчета приведен в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Расчет теплопоглощения помещения

№ пом.	Наименование ограждения	Размеры	$A_i, \text{м}^2$	$Y_p, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$	$\alpha_k, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$	$\alpha_b, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$	$B, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$	$A_i \cdot B_i, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$
101	НС1	2,85×2,95	8,4	7,29	1,16	5,66	3,23	27,1
	НС2	5,95×2,85	16,9	7,29	1,16	5,66	3,23	54,6
	ВС1	5,95×2,85	16,9	15,18	1,2	5,7	5,22	88,2
	ВС2	2,85×2,95	8,4	15,18	1,2	5,7	5,22	43,8
	ОК	1,46×1,77	2,6	–	–	–	1,18	3,1
	БД	0,66×0,55	0,4	–	–	–	0,79	0,3
	ПТ	5,95×2,95	17,5	13,8	1,2	5,7	4,87	85,2
	ПЛ	5,95×2,95	17,5	11,7	1,41	5,91	4,4	77
							$\Sigma = 379$	
201	НС1	2,85×2,95	8,4	7,29	1,16	5,66	3,23	27,1
	НС2	5,95×2,85	16,9	7,29	1,16	5,66	3,23	54,6
	ВС1	5,95×2,85	16,9	15,18	1,2	5,7	5,22	88,2
	ВС2	2,85×2,95	8,4	15,18	1,2	5,7	5,22	43,8
	ОК	1,46×1,77	2,6	–	–	–	1,18	3,1
	БД	0,66×0,55	0,4	–	–	–	0,79	0,3
	ПТ	5,95×2,95	17,5	13,8	1,2	5,7	4,87	85,2
	ПЛ	5,95×2,95	17,5	11,7	1,2	5,7	4,35	76,1
							$\Sigma = 378$	

3.4. Теплоустойчивость помещений в теплый период

В районах со среднемесячной температурой июля $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше необходимо вычислить допустимую амплитуду колебаний температуры внутренней поверхности A_{τ}^{TP} ограждающих конструкций.

$$A_{\tau}^{\text{TP}} = 2,5 - 0,1(t_{\text{н}} - 21). \quad (3.16)$$

Амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций определяется по формуле

$$A_{\tau_{\text{в}}} = \frac{A_{t_{\text{н}}}^{\text{расч}}}{\nu}, \quad (3.17)$$

где ν – величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха; $A_{t_{\text{н}}}^{\text{расч}}$ – расчетная амплитуда колебания температуры наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$, определяется по формуле:

$$A_{t_{\text{в}}}^{\text{расч}} = 0,5A_{t_{\text{н}}} + \frac{\rho(I_{\text{max}} - I_{\text{cp}})}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (3.18)$$

где $A_{\text{н}}$ – максимальная амплитуда колебания температуры наружного воздуха в июле, $^{\circ}\text{C}$, принимаемая согласно СП [3, табл. 6.1]; ρ – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции [4, прил. И]; I_{max} , I_{cp} – соответственно максимальное и среднее значения суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), $\text{Вт}/\text{м}^2$, принимаемые по СП [6, прил. Г]: для наружных стен – как для вертикальной поверхности западной ориентации, для покрытий – как для горизонтальной поверхности; $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции по летним условиям, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$, определяемый по формуле

$$\alpha_{\text{н}} = 1,16(5 + 10\sqrt{v_{\text{н}}}), \quad (3.19)$$

где $v_{\text{н}}$ – минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, но не менее $1\text{ м}/\text{с}$.

Величина затухания расчетной амплитуды колебания температуры ограждающей конструкции определяется по формуле:

$$\nu = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(S_1 + \alpha_{\text{в}})(S_2 + Y_1) \dots (S_n + Y_{n-1})(\alpha_{\text{н}} + Y_n)}{(S_1 + Y_1)(S_2 + Y_2) \dots (S_n + Y_n)\alpha_{\text{н}}}, \quad (3.20)$$

где D – тепловая инерция ограждающей конструкции, определяемая по формуле (3.5); $Y_1, Y_2, \dots, Y_{n-1}, Y_n$ – коэффициенты теплоусвое-

ния наружной поверхности отдельных слоев ограждения, определяются в зависимости от положения слоя резких колебаний.

Коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя, Y , Вт/(м² · °С), с тепловой инерцией $D \geq 1$ следует принимать равным расчетному коэффициенту теплоусвоения S материала этого слоя конструкции [4, прил. Д].

Коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя Y с тепловой инерцией $D < 1$ следует определять расчетом, начиная с первого слоя (считая от внутренней поверхности ограждающей конструкции – против движения тепловой волны) следующим образом:

для первого слоя – по формуле

$$Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 + \alpha_{в.}}{1 + R_1 \alpha_{в.}}; \quad (3.21)$$

для i -го слоя – по формуле

$$Y_i = \frac{R_i S_i^2 + Y_{i-1}}{1 + R_i Y_{i-1}}, \quad (3.22)$$

где R_p , R_i – термические сопротивления соответственно первого и i -го слоев ограждающей конструкции, м² · °С/Вт, определяемые по формуле (2.8); S_p , S_i – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала соответственно первого и i -го слоев, Вт/(м² · °С); $\alpha_{в.}$ – то же, что и в формуле (2.7).

Проверку на теплоустойчивость в теплый период осуществляют для стен, бесчердачного перекрытия. Расчет затухания температурных колебаний в ограждении с воздушными прослойками ведется также по формуле (3.20), для воздуха принимается $S = 0$. Результаты расчетов по каждой ограждающей конструкции удобно сводить в таблицы (см. табл. 3.3). Пример определения коэффициента теплоусвоения на наружной поверхности наружной стены приведен в СП [6, прил. Ф].

Таблица 3.3

Определение коэффициента теплоусвоения на наружной поверхности конструкции

Номер слоя	Наименование слоя конструкции	Приведенное сопротивление теплопередаче, R , Вт/м ² ·°С	Расчетный коэффициент теплоусвоения, S , Вт/м ² ·°С	Тепловая инерция (массивность), D	Коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя, Y , Вт/м ² ·°С
1	Листовой гипсокартон (сухая штукатурка)	0,053	3,34	0,177	6,36
2	Утеплитель пенополистирол	3,68	0,34	1,25	0,34
3	Кладка из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе	0,981	7,01	6,88	7,01
				$\Sigma D = 8,31$	

4. Воздушный режим здания

4.1. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций

Свойства строительных материалов и конструкций характеризуются сопротивлением их воздухопроницанию, R_n , (м²·ч·Па)/кг, которое должно быть не менее требуемого сопротивления воздухопроницанию $R_n^{тp}$, (м²·ч·Па)/кг, определяемого для всех ограждающих конструкций, (м²·ч·Па)/кг, за исключением заполнений световых проемов, по формуле

$$R_n^{тp} = \frac{\Delta P}{G_n}, \quad (4.1)$$

где G_n – нормируемая поперечная воздухопроницаемость ограждающей конструкции, принимаемая по СП [4, табл. 9]; ΔP_0 – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па, определяется по формуле

$$\Delta P_0 = 0,55Hg(\rho_n - \rho_b) + 0,3\rho_n v_n^2, \quad (4.2)$$

здесь H – высота здания от уровня пола первого этажа до верха вытяжной шахты, м; g – ускорение свободного падения; ρ_n , ρ_b – плотность наружного и внутреннего воздуха, кг/м³;

$$\rho = \frac{353}{t + 273}; \quad (4.3)$$

v_n – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с.

Сопротивление воздухопроницанию многослойной ограждающей конструкции R_n рассчитывается как сумма сопротивлений отдельных слоёв ограждения, R_{ni} [4, прил. Р]:

$$R_n = \sum R_{ni}. \quad (4.4)$$

Примечание. Сопротивление воздухопроницанию слоев ограждающей конструкции (стен, покрытий), расположенных между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитывается.

Нормируемое сопротивление воздухопроницанию окон и дверей, (м² · ч · Па)/кг определяется по формуле

$$R_n^{TP} = \frac{1}{G_n} \cdot \left(\frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right)^n, \quad (4.5)$$

где ΔP_0 – разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях конструкций, при которой определяется воздухопроницаемость сертифицируемого образца, $\Delta P_0 = 10$ Па; n – показатель фильтрации, полученный в результате сертификационных испытаний:

$$n = \frac{2}{3} \text{ – для окон и балконных дверей;}$$

$$n = \frac{1}{2} \text{ – для входных наружных дверей.}$$

Значения сопротивления воздухопроницанию окон и дверей принимаются по сертификату соответствия или по [11, прил. 10]. В случае невыполнения условия $R_n \geq R_n^{TP}$ необходимо заменить светопрозрачную конструкцию или конструкцию двери и проводить расчеты до удовлетворения требований СП.

Пример определения требуемого сопротивления воздухопроницанию окна приведен в справочном пособии [7, с. 85].

4.2. Расчет количества теплоты на нагревание инфильтрационного воздуха

Добавки к основным потерям на врывание воздуха через наружные двери (см. табл. 2.3) приближенно учитывают затраты теплоты на инфильтрацию, и учет только их в многоэтажных зданиях оказывается недостаточным. Количество наружного воздуха, поступающего в помещения в результате инфильтрации, зависит от конструктивно-планировочного решения здания, направления и скорости ветра, температуры воздуха, герметичности конструкций и особенно длины и вида притворов открывающихся окон и дверей. Расчет выявляет максимально возможную инфильтрацию, поэтому считается, что все окна и двери находятся на наветренной стороне здания.

Суммарный расход инфильтрующего воздуха, кг/ч, через отдельные ограждающие конструкции помещения определяется по формуле

$$\Sigma G_i = 0,216 \frac{\Sigma A_1 \cdot \Delta P_1^{2/3}}{R_{и,1}} + \frac{\Sigma A_2}{R_{и,2}} \cdot \left(\frac{\Delta P_2}{10} \right)^{1/2}, \quad (4.6)$$

где обозначения с индексом 1 относятся к окнам и балконным дверям; 2 – к наружным дверям; A – расчетная площадь ограждающей конструкции, м²; $R_{и}$ – сопротивление воздухопроницанию соответствующего ограждения, м² · чПаⁿ/кг; ΔP – перепад давления на поверхности соответствующих ограждений на уровне расположения воздухопроницаемого элемента, Па.

Расчётная разность давления ΔP_p , Па, в общем случае определяется величиной гравитационно-ветрового давления и работой вентиляции:

$$\Delta P_i = (H_{зд} - h_i)g(\rho_n - \rho_v) + 0,5v_n^2 \rho_n (c_n - c_3)k_{дин} - P_v, \quad (4.7)$$

где $k_{дин}$ – коэффициент, учитывающий изменение скоростного давления ветра по высоте здания в различных типах местности, принимается по справочному пособию [7, табл. 22]; c_n, c_3 – аэродинамические коэффициенты на соответственно наветренной и заветренной сторонах здания принимаются $c_n = 0,8$; $c_3 = -0,6$; h_i – расстояние от поверхности земли до середины окон и дверей расчетного этажа; P_v – условное давление в помещении, Па, от уровня которого отсчитаны первое и второе слагаемое формулы. Для помещений со сба-

лансированной вентиляцией или при отсутствии организованной вентиляции принимается равным наибольшему избыточному давлению в верхней точке заветренной стороны здания, обусловленному действием гравитационного и ветрового давления. Приближенно определяется по формуле

$$P_{\text{в}} = 0,5 \cdot H_{\text{зд}} g (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{в}}) + 0,25 \cdot v^2 \cdot \rho_{\text{н}} (c_{\text{н}} - c_{\text{з}}). \quad (4.8)$$

Расход теплоты на нагревание инфильтрующего воздуха $Q_{\text{н}}$, Вт, определяется по формуле

$$Q_{\text{н}} = 0,28 \cdot \Sigma G_i c (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \bar{k}, \quad (4.9)$$

где c – массовая теплоёмкость наружного воздуха, принимаемая равной 1,005 кДж/(кг °С); \bar{k} – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный: 0,7 – для окон и балконных дверей с тройными раздельными переплетами; 0,8 – для окон и балконных дверей с двойными раздельными переплетами; для дверей с тамбуром; 0,9 – для окон и балконных дверей со спаренными переплетами и стеклопакетов; 1,0 – для окон и балконных дверей с одинарными переплетами, одинарных входных дверей.

В жилых помещениях при работе естественной вытяжной вентиляции с притоком через форточки или специальные приточные устройства расход теплоты на нагревание инфильтрационного воздуха $Q_{\text{инф}}$, Вт, определяется двумя путями. Сначала по формуле (4.9) из условия нагревания инфильтрующегося воздуха при отсутствии вентиляции, затем на нагревание вентиляционного воздуха, удаляемого из помещения вытяжной вентиляцией:

$$Q_{\text{в}} = 0,28 L c p_{\text{в}} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (4.10)$$

где L – расход удаляемого воздуха, м³/ч, не компенсируемый подогретым приточным воздухом; для жилых помещений принимается равным 3 м³/ч на 1 м² жилой площади; для кухонь и санузлов – исходя из величины воздухообмена согласно СП [9, табл. 9.1].

За расчетное принимается большее из полученных значений.

Пример расчета расхода теплоты на нагревание инфильтрационного воздуха приведен в пособии [7, с. 97]. Его удобно свести в таблицу (см. табл. 4.1).

Таблица 4.1

Пример расчета теплоты на нагрев инфильтрирующегося воздуха

№ по-меш.	Наим. огр. констр.	A , м ²	$h_{эл}$, м	$H-h_{эл}$, м	P_n , Па	ΔP , Па	$G_{инф}$, кг/(м ² · ч)	$G = F \cdot G_{инф}$, кг/ч	$Q_{инф}$, Вт
105	ДО	1,7	2,78	15,91	47,98	19,85	3,65	6,21	93
205	ДО	1,7	5,86	12,83	38,80	10,67	2,41	4,10	61
									Σ70
ЛК	ДО1	1,1	3,65	15,04	44,21	16,81	3,27	3,60	52
	ДО2	1,1	6,73	11,96	35,27	7,87	1,97	2,17	31
	ДО3	1,1	9,81	8,88	26,34	-1,06	—	—	—
	ДО4	1,1	12,89	5,8	17,41	-9,99	—	—	—
	НД	3,1	1,65	17,04	50,01	22,61	3,47	10,76	173

5. Влажностный режим наружных ограждений

5.1. Проверка вероятности выпадения конденсата на внутренней поверхности ограждения

Исключение выпадения конденсата на внутренних поверхностях наружных ограждений обеспечивается путем ограничения их температуры.

1. Расчетный температурный перепад Δt_0 , °С, между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции не должен превышать нормируемых величин $\Delta t^н$, °С:

$$\Delta t_0 \leq \Delta t^н; \quad (5.1)$$

$$\Delta t_0 = \frac{n(t_b - t_n)}{R_0^{пр} \alpha_b}. \quad (5.2)$$

Величина $\Delta t^н$ определяется по СП [4, табл. 5].

2. Наиболее вероятно появление конденсата на внутренней поверхности *наружного угла*, т. к. температура $t_{уг}$, °С, всегда ниже, чем других участков внутренней поверхности ограждения.

Температура внутренней поверхности наружного угла должна быть выше точки росы t_p , °С, внутреннего воздуха:

$$\tau_{\text{уг}} > t_p. \quad (5.3)$$

Температура внутренней поверхности наружного угла $\tau_{\text{уг}}$, °С, равна

$$\tau_{\text{уг}} = t_b - \frac{An(t_b - t_n)}{(R_0^{\text{всн}} \alpha_b)^{2/3}}, \quad (5.4)$$

где $A = 1$ – для однослойных конструкций; $A = 0,75$ – при наличии эффективного утеплителя и внутреннего теплопроводного слоя в ограждении.

Температура точки росы внутреннего воздуха t_p , °С, определяется СП [6, прил. Р] или по формуле

$$t_p = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot e_b)^2, \quad (5.5)$$

где e_b – упругость водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и влажности воздуха, определяемая по формуле

$$e_b = \frac{\Phi_b}{100} E_b, \quad (5.6)$$

E_b – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при температуре t_b .

Значение E при температуре от минус 40 °С до плюс 45 °С определяется по СП [6, прил. С] или по формуле

$$E = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{273+t}\right). \quad (5.7)$$

Относительную влажность внутреннего воздуха ϕ_b для определения точки росы согласно СП [4] следует принимать:

для помещений жилых зданий – 55 %;

для кухонь – 60 %;

для ванных комнат – 65 %.

3. Минимальная температура внутренней поверхности остекления окон $\tau_{\text{ок}}$, °С, должна быть не ниже 3 °С:

$$\tau_{\text{ок}} = t_b - \frac{n(t_b - t_n)}{R_{\text{ок}}^{\text{нп}} \alpha_b}; \quad (5.8)$$

$$\tau_{\text{ок}} \geq 3 \text{ °С}. \quad (5.9)$$

5.2. Проверка вероятности выпадения конденсата в толще наружного ограждения (метод Фокина)

Для данного расчета температура и влажность внутреннего воздуха принимаются такими же, как и при проверке на выпадение конденсата на внутренних поверхностях. Температура наружного воздуха принимается более высокой и равной средней температуре наиболее холодного месяца. Это связано с тем, что процессы диффузии водяного пара протекают более медленно, чем процессы теплопередачи, и для наступления стационарных условий требуется более продолжительное время. Относительная влажность наружного воздуха принимается равной средней влажности наиболее холодного месяца.

Последовательность расчета в однослойном ограждении

1. В масштабе вычерчивается конструкция ограждения.
2. Слои ограждения делятся на произвольное число слоев (число слоев должно позволить провести плавную кривую линию по точкам на границах слоев), которые должны совпадать с границами материальных слоев ограждения.
3. Строится график распределения температур τ в толще ограждения (см. раздел 2.1.7).
4. Строится линия изменения максимальной упругости водяного пара E в ограждении; величина E определяется по формуле (5.7).
5. Строится линия падения упругости водяного пара e , Па; величины упругости водяного пара на границах слоев ограждения определяются по формуле

$$e_x = e_b - \frac{(e_b - e_n)}{R_{n,0}} R_{n,x}, \quad (5.10)$$

где e_b – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, определяемое по формуле (5.6); e_n – парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, определяемое по СП [3, табл. 7.1]; $R_{n,x}$ – сопротивление паропроницанию части многослойной ограждающей конструкции, считая от внутренней поверхности до плоскости, отстоящей от внутренней поверхности на расстоянии x ; $R_{n,0}$ – сопротивление паропроницанию многослойной ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, равное

$$R_{n,0} = \sum \frac{\delta_i}{\mu_i}, \quad (5.11)$$

где δ_i — толщина i -го слоя ограждения, м; μ — коэффициент паропроницаемости строительного материала i -го слоя ограждения, мг/(м · ч · Па).

6. По результатам построения делается вывод о возможности выпадения конденсата в толще ограждающей конструкции [10]:

- если линии E и e не пересекаются, значит, конденсации водяного пара в ограждении происходить не будет, т. к. действительная упругость водяного пара в любой плоскости ограждения будет меньше максимальной упругости;
- если линии E и e пересекаются, значит, в ограждении возможна конденсация водяного пара.

7. Для определения **зоны конденсации** необходимо провести касательные к линии максимальной упругости через точки e_v и e_n , соответствующие упругости водяного пара на внутренней и наружной поверхностях ограждения (см. рис. 5.1).

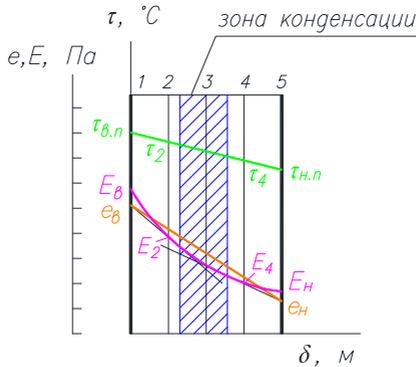


Рис. 5.1. Определение зоны конденсации в однослойном ограждении

В многослойном ограждении

При определении вероятности выпадения конденсата в многослойных ограждениях линия падения упругости водяного пара e оказывается ломаной. И представляется определенная сложность при нахождении точек касания ее с линией падения максимальной

упругости водяного пара E . Поэтому в таких случаях точки e_v и e_n соединяются прямой линией (пунктирная линия на рис. 5.2). Находится пересечение линии $e_v e_n$ с линией E . Для определения зоны конденсации проводятся касательные из точек e_v и e_n к линии E .

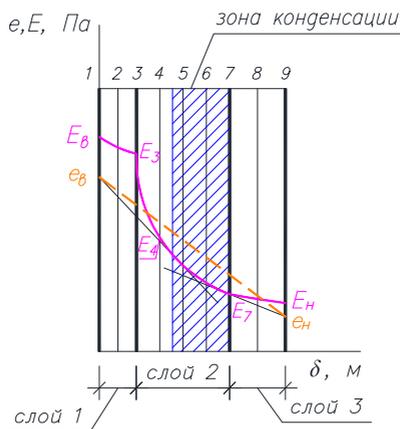


Рис. 5.2. Определение зоны конденсации в многослойном ограждении

5.3. Защита от переувлажнения ограждающих конструкций

Согласно СП [4] защита от переувлажнения ограждающих конструкций должна обеспечиваться путем проектирования ограждающих конструкций с сопротивлением паропрооницанию внутренних слоев $R_{пн}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, не менее требуемого значения $R_{пн}^{\text{тп}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$.

Сопротивление паропрооницанию $R_{пн}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, ограждающей конструкции в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения должно быть не менее наибольшего из следующих требуемых сопротивлений паропрооницанию:

а) требуемого сопротивления паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за *годовой период эксплуатации* $R_{пн}^{\text{тп}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$:

$$R_{пн}^{\text{тп}} = \frac{(e_v - E)R_{пн}}{E - e_n}; \quad (5.12)$$

б) требуемого сопротивления паропроницанию из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха R_{n2}^{np} , $m^2 \cdot ч \cdot Па/мг$:

$$R_{n2}^{np} = \frac{0,0024z_0(e_b - E_0)}{\rho_w \delta_w \Delta w + \eta}, \quad (5.13)$$

где e_b – парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха, Па, при t_b и ϕ_b согласно СП [4, п. 5.7]; $R_{n.n}$ – сопротивление паропроницанию, $(m^2 \cdot ч \cdot Па)/мг$, части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью максимального увлажнения; e_n – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха за годовой период, Па, определяемое по СП [3, табл. 7.1]; z_0 – продолжительность периода влагонакопления, сут., принимаемая равной периоду с отрицательными средними месячными температурами наружного воздуха по СП [3, табл. 5.1]; E_0 – парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения, Па, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода влагонакопления z_0 ; ρ_w – плотность материала увлажняемого слоя, $кг/м^3$; δ_w – толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, м, принимаемая равной 2/3 толщины однослойной стены или толщине слоя многослойной ограждающей конструкции, в котором располагается *плоскость максимального увлажнения*; Δw – предельно допустимое приращение влажности в материале увлажняемого слоя, % по массе, за период влагонакопления z_0 , принимаемое по СП [4, табл. 10].

Если плоскость максимального увлажнения приходится на стык между двумя слоями, $\delta_w \Delta w = \delta_{w1} \Delta w_1 + \delta_{w2} \Delta w_2$, где δ_{w1} и δ_{w2} соответствуют половинам толщин стыкующихся слоев.

E – парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения за годовой период эксплуатации, Па:

$$E = \frac{E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3}{12}, \quad (5.14)$$

где E_1, E_2, E_3 – парциальные давления насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения соответственно зимнего,

весенне-осеннего и летнего периодов, Па; z_1, z_2, z_3 – продолжительность зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов года, мес., определяемая по СП [3, табл. 5.1] с учетом следующих условий:

- а) к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже минус $5\text{ }^\circ\text{C}$;
- б) к весенне-осеннему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха от минус $5\text{ }^\circ\text{C}$ до плюс $5\text{ }^\circ\text{C}$;
- в) к летнему периоду относятся месяцы со средними температурами воздуха выше плюс $5\text{ }^\circ\text{C}$;

η – коэффициент, определяемый по формуле

$$\eta = \frac{0,0024(E_0 - e_{н,отр})z_0}{R_{н,н}}. \quad (5.15)$$

где $e_{н,отр}$ – среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха периода месяцев с отрицательными среднемесячными температурами, Па, определяемое по СП [3, табл. 7.1].

Сопротивление паропрооницанию $R_{п}$, ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$)/мг, **чердачного перекрытия** должно быть не менее требуемого сопротивления паропрооницанию $R_{п}^{тп}$, ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$)/мг, определяемого по формуле

$$R_{п}^{тп} = 0,0012(e_{в} - e_{н,отр}). \quad (5.16)$$

Пример расчета сопротивления паропрооницанию приведен в СП [6, прил. Э].

Определение плоскости максимального увлажнения

Плоскость максимального увлажнения определяется для периода с отрицательными среднемесячными температурами.

1. Для каждого слоя многослойной конструкции вычисляется значение комплекса $f_i(t_{м,у})$, характеризующего температуру в плоскости максимального увлажнения:

$$f_i(t_{м,у}) = 5330 \frac{R_{0,п}(t_{в} - t_{н,отр}) \mu_i}{R_0^{усл}(e_{в} - e_{н,отр}) \lambda_i}, \quad (5.17)$$

где $R_{0,п}$ – общее сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$; $R_0^{усл}$ – условное сопротивление теплопередаче однородной многослойной ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$; $t_{н,отр}$ – средняя температура наружного воздуха для периода с отрицательными среднемесячными температурами, $^\circ\text{C}$;

λ_i, μ_i – коэффициенты теплопроводности, Вт/(м·°С), и паропроницаемости, мг/(м·ч·Па), материала соответствующего слоя.

2. По полученным значениям комплекса $f_i(t_{м.у})$ по СП [4, табл. 11] определяются значения температур в плоскости максимального увлажнения, $t_{м.у}$, для каждого слоя многослойной конструкции.

3. Составляется таблица 5.1.

Таблица 5.1

Определение плоскости максимального увлажнения

№ слоя	$f(t_{м.у}), (°C)^2/Па$	$t_{м.у}, °C$	$\tau, °C$
1			
2			
3			

Здесь τ – температуры на границах слоя при средней температуре наружного воздуха периода с отрицательными среднемесячными температурами, °С.

4. Производится сравнение полученных значений $t_{м.у}$ с температурами на границах слоев конструкции:

а) если температура $t_{м.у}$ в каком-то слое расположена в интервале температур на границах этого слоя, значит, в этом слое находится плоскость максимального увлажнения. Определяется координата плоскости $x_{м.у}$ (в предположении линейного распределения температуры внутри слоя);

б) если в каждом из двух соседних слоев конструкции отсутствует плоскость с температурой $t_{м.у}$, при этом у более холодного слоя $t_{м.у}$ выше его температуры, а у более теплого слоя $t_{м.у}$ ниже его темпера-

туры, то плоскость максимального увлажнения находится на границе этих слоев;

в) если внутри конструкции плоскость максимального увлажнения отсутствует, то она расположена на наружной поверхности конструкции;

г) если при расчете обнаружилось две плоскости с $t_{м.у}$ в конструкции, то за плоскость максимального увлажнения принимается плоскость, расположенная в слое утеплителя.

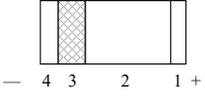
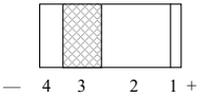
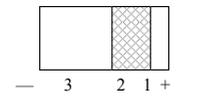
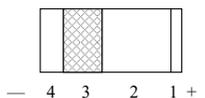
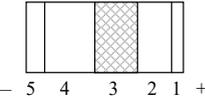
Если термическое сопротивление теплоизоляционного слоя многослойного ограждения больше $\frac{2}{3}R_0^{уст}$, а коэффициент паропроницаемости материала наружного защитного слоя меньше, чем у материала теплоизоляционного слоя, допускается принимать плоскость максимального увлажнения на наружной границе утеплителя при условии выполнения неравенства

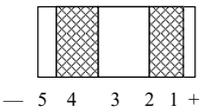
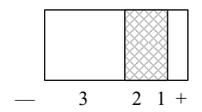
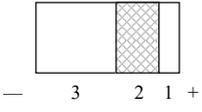
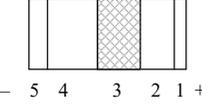
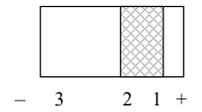
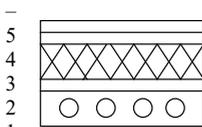
$$\frac{\mu_{ут}}{\lambda_{ут}} > 2.$$

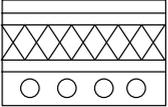
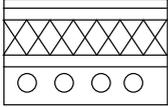
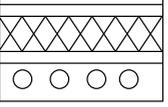
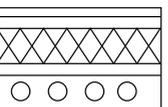
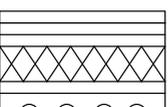
Библиографический список

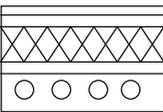
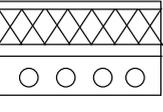
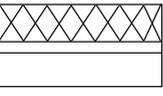
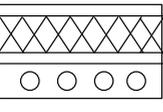
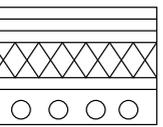
1. ГОСТ 7.32–2001. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления [Электронный ресурс]. – Введ. 2002.–01–07. – Режим доступа : <http://www.ifap.ru/library/gost/7322001.pdf>.
2. ГОСТ 7.1–2003. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления [Электронный ресурс]. – Введ. 2004.–01.–07. – Режим доступа : https://ru.wikisource.org/wiki/ГОСТ_7.1–2003.
3. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200095546>.
4. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200095525>.
5. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М. : Стандартинформ, 2013. – 12 с.
6. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200095525>.
7. Малявина, Е.Г. Теплопотери здания / Е.Г. Малявина. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2007. – 144 с.
8. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200035109>.
9. СП 54.13330.2011. Здания жилые многоквартирные Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200084096>.
10. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. – М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
11. Российское научно-техническое общество строителей (РНТО строителей). Стандарт организации. СТО 17532043-001-2005. Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий [Электронный ресурс]. – Введ. 2006.–01.–01. – Режим доступа : <http://files.stroyinf.ru/Data1/46/46773/>.

Варианты конструкций наружных ограждений

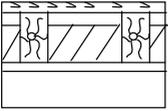
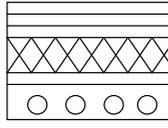
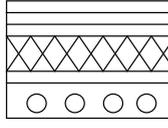
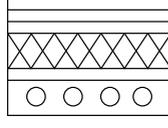
№ п/п	Схема конструкции наружного ограждения	№ слоя	Материал слоя в конструкции ограждения (δ – толщина слоя, м; γ_0 – плотность материала, кг/м ³)
<i>Наружные стены</i>			
1		1	Известково-песчаная штукатурка $\delta = 0,012$; $\gamma_0 = 1600$ 2 Кладка из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе $\delta = 0,510$; $\gamma_0 = 1400$ 3 Утеплитель – пенополистирол $\delta = ?$; $\gamma_0 = 50$ 4 Наружная цементно-песчаная штукатурка по армированной сетке $\delta = 0,012$; $\gamma_0 = 1800$
2		1	Известково-песчаный раствор $\delta = 0,010$; $\gamma_0 = 1600$ 2 Кладка из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе $\delta = 0,380$; $\gamma_0 = 1400$ 3 Утеплитель – пенополистирол $\delta = ?$; $\gamma_0 = 35$ 4 Облицовка из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе $\delta = 0,25$; $\gamma_0 = 1600$
3		1	Листовой гипсокартон (сухая штукатурка) $\delta = 0,01$; $\gamma_0 = 800$ 2 Утеплитель – пенополистирол $\delta = ?$; $\gamma_0 = 25$ 3 Кладка из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе $\delta = 0,51$; $\gamma_0 = 1400$
4		1	Известково-песчаная штукатурка $\delta = 0,012$; $\gamma_0 = 1600$ 2 Кладка из силикатного четырнадцатипустотного кирпича на цементно-песчаном растворе $\delta = 0,51$; $\gamma_0 = 1400$ 3 Утеплитель – минераловатная плита $\delta = ?$; $\gamma_0 = 100$ 4 Цементно-песчаная штукатурка по металлической сетке $\delta = 0,015$; $\gamma_0 = 1800$
5		1	Фактурный слой сложный раствор $\delta = 0,03$; $\gamma_0 = 1700$ 2 Керамзитобетон $\delta = 0,10$; $\gamma_0 = 800$ 3 Утеплитель – минераловатная плита $\delta = ?$; $\gamma_0 = 80$ 4 Керамзитобетон $\delta = 0,12$; $\gamma_0 = 800$ 5 Облицовочная плитка $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 1600$

№ п/п	Схема конструкции наружного ограждения	№ слоя	Материал слоя в конструкции ограждения (δ – толщина слоя, м; γ_0 – плотность материала, кг/м ³)
6		1	Гипсокартон (сухая штукатурка) $\delta = 0,01$; $\gamma_0 = 800$ 2 Утеплитель – пенополистирол $\delta = ?$; $\gamma_0 = 25$ 3 Железобетон $\delta = 0,20$; $\gamma_0 = 2400$ 4 Утеплитель – пенополистирол $\delta = ?$; $\gamma_0 = 25$ 5 Цементно-песчаная штукатурка по металлической сетке $\delta = 0,015$; $\gamma_0 = 1800$
7		1	Гипсокартон (сухая штукатурка) $\delta = 0,015$; $\gamma_0 = 800$ 2 Утеплитель – минераловатная плита $\delta = ?$; $\gamma_0 = 100$ 3 Кладка из керамического пустотелого кирпича на цементно-песчаном растворе $\delta = 0,64$ $\gamma_0 = 1400$
8		1	Известково-песчаный раствор $\delta = 0,012$; $\gamma_0 = 1600$ 2 Утеплитель – ячеистый бетон $\delta = ?$; $\gamma_0 = 800$ 3 Кладка из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе $\delta = 0,38$; $\gamma_0 = 1400$
9		1	Сложный раствор $\delta = 0,012$; $\gamma_0 = 1700$ 2 Керамзитобетон $\delta = 0,12$; $\gamma_0 = 800$ 3 Утеплитель – ячеистый бетон $\delta = ?$; $\gamma_0 = 600$ 4 Керамзитобетон $\delta = 0,15$; $\gamma_0 = 800$ 5 Облицовочная плитка $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 1600$
10		1	Гипсокартон (сухая штукатурка) $\delta = 0,015$; $\gamma_0 = 800$ 2 Утеплитель – ячеистый бетон $\delta = ?$; $\gamma_0 = 600$ 3 Кладка из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе $\delta = 0,64$; $\gamma_0 = 1600$
<i>Бесчердачные покрытия (чердачные перекрытия)</i>			
1		1	Железобетонная пустотная плита $\delta = 0,24$; $\gamma_0 = 2500$ 2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,004$; $\gamma_0 = 600$ 3 Утеплитель – пенополистирол $\delta = ?$; $\gamma_0 = 35$ 4 Цементно-песчаный раствор $\delta = 0,035$; $\gamma_0 = 1800$ 5 Водоизоляционный ковер $\delta = 0,015$; $\gamma_0 = 1400$

№ п/п	Схема конструкции наружного ограждения	№ слоя	Материал слоя в конструкции ограждения (δ – толщина слоя, м; γ_0 – плотность материала, кг/м ³)
2		1 2 3 2 1 +	<p>1 Железобетонная пустотная плита $\delta = 0,24$; $\gamma_0 = 2500$</p> <p>2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,004$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>3 Утеплитель – плиты минераловатные $\delta = ?$; $\gamma_0 = 100$</p> <p>4 Цементно-песчаный раствор $\delta = 0,04$; $\gamma_0 = 1800$</p> <p>5 Водоизоляционный ковер $\delta = 0,015$; $\gamma_0 = 1400$</p>
3		1 5 4 3 2 1 +	<p>1 Железобетонная пустотная плита $\delta = 0,24$; $\gamma_0 = 2500$</p> <p>2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,004$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>3 Утеплитель – гравий керамзитовый $\delta = ?$; $\gamma_0 = 300$</p> <p>4 Цементно-песчаный раствор $\delta = 0,045$; $\gamma_0 = 1800$</p> <p>5 Водоизоляционный ковер $\delta = 0,016$; $\gamma_0 = 1400$</p>
4		1 5 4 3 2 1 +	<p>1 Железобетонная пустотная плита $\delta = 0,24$; $\gamma_0 = 2500$</p> <p>2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,004$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>3 Утеплитель – доменный (котельный) шлак $\delta = ?$; $\gamma_0 = 400$</p> <p>4 Цементно-песчаный раствор $\delta = 0,045$; $\gamma_0 = 1800$</p> <p>5 Водоизоляционный ковер $\delta = 0,016$; $\gamma_0 = 1400$</p>
5		1 5 4 3 2 1	<p>1 Железобетонная пустотная плита $\delta = 0,24$; $\gamma_0 = 2500$</p> <p>2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,004$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>3 Утеплитель – плиты из ячеистого бетона $\delta = ?$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>4 Цементно-песчаный раствор $\delta = 0,015$; $\gamma_0 = 1800$</p> <p>5 Водоизоляционный ковер $\delta = 0,018$; $\gamma_0 = 1400$</p>
6		1 6 5 4 3 2 1 +	<p>1 Железобетонная пустотная плита $\delta = 0,24$; $\gamma_0 = 2500$</p> <p>2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>3 Утеплитель – плиты из ячеистого бетона $\delta = ?$; $\gamma_0 = 800$</p> <p>4 Вентилируемая воздушная прослойка $\delta = 0,10$</p> <p>5 Железобетонная плита $\delta = 0,15$; $\gamma_0 = 2500$</p> <p>6 Водоизоляционный ковер $\delta = 0,018$; $\gamma_0 = 1400$</p>

№ п/п	Схема конструкции наружного ограждения	№ слоя	Материал слоя в конструкции ограждения (δ – толщина слоя, м; γ_0 – плотность материала, кг/м ³)
7			1 Железобетонная пустотная плита $\delta = 0,24$; $\gamma_0 = 2500$ 2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 600$ 3 Утеплитель – пенополистирол $\delta = ?$; $\gamma_0 = 50$ 4 Цементно-песчаный раствор $\delta = 0,040$; $\gamma_0 = 1800$ 5 Водоизоляционный ковер $\delta = 0,020$; $\gamma_0 = 1400$
8			1 Железобетонная пустотная плита $\delta = 0,22$; $\gamma_0 = 2500$ 2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 600$ 3 Утеплитель – керамзитовый гравий $\delta = ?$; $\gamma_0 = 200$ 4 Цементно-песчаный раствор $\delta = 0,030$; $\gamma_0 = 1800$
9			1 Железобетонная пустотная плита $\delta = 0,22$; $\gamma_0 = 2500$ 2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 600$ 3 Утеплитель – керамзитобетон $\delta = ?$; $\gamma_0 = 500$
10			1 Железобетонная пустотная плита $\delta = 0,24$; $\gamma_0 = 2500$ 2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,004$; $\gamma_0 = 600$ 3 Утеплитель – плиты из ячеистого бетона $\delta = ?$; $\gamma_0 = 600$ 4 Цементно-песчаный раствор $\delta = 0,010$; $\gamma_0 = 1800$
<i>Перекрытия над подвалами и техническими подпольями</i>			
1			1 Железобетонная пустотная плита $\delta = 0,22$; $\gamma_0 = 2500$ 2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,004$; $\gamma_0 = 600$ 3 Утеплитель – керамзитобетон $\delta = ?$; $\gamma_0 = 500$ 4 Битумная мастика $\delta = 0,002$; $\gamma_0 = 1400$ 5 Древесно-стружечная плита $\delta = 0,010$; $\gamma_0 = 600$ 6 Линолеум на тканевой основе $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 1400$

№ п/п	Схема конструкции наружного ограждения	№ слоя	Материал слоя в конструкции ограждения (δ – толщина слоя, м; γ_0 – плотность материала, кг/м ³)
2		1 2 3 4 5 6	<p>1 Железобетонная пустотная плита $\delta = 0,24$; $\gamma_0 = 2500$</p> <p>2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,004$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>3 Утеплитель – гравий керамзитовый $\delta = ?$; $\gamma_0 = 200$</p> <p>4 Цементно-песчаный раствор $\delta = 0,04$; $\gamma_0 = 1800$</p> <p>5 Древесно-волоконная плита $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>6 Линолеум на тканевой основе $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 1400$</p>
3		1 2 3 4 5	<p>1 Железобетонная пустотная плита $\delta = 0,24$; $\gamma_0 = 2500$</p> <p>2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>3 Утеплитель – пенополистирол $\delta = ?$; $\gamma_0 = 50$</p> <p>4 Древесно-стружечная плита $\delta = 0,020$; $\gamma_0 = 800$</p> <p>5 Линолеум на тканевой основе $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 1400$</p>
4		1 2 3 4 5	<p>1 Железобетонная пустотная плита $\delta = 0,24$; $\gamma_0 = 2500$</p> <p>2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>3 Утеплитель – маты минераловатные $\delta = ?$; $\gamma_0 = 100$</p> <p>4 Древесно-стружечная плита $\delta = 0,020$; $\gamma_0 = 800$</p> <p>5 Линолеум на тканевой основе $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 1400$</p>
5		1 2 3 4 5	<p>1 Железобетонная пустотная плита $\delta = 0,24$; $\gamma_0 = 2500$</p> <p>2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>3 Утеплитель – ячеистый бетон $\delta = ?$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>4 Древесно-стружечная плита $\delta = 0,015$; $\gamma_0 = 800$</p> <p>5 Линолеум на тканевой основе $\delta = 0,006$; $\gamma_0 = 1400$</p>
6		1 2 3 4 5 6	<p>1 Монолитная железобетонная плита $\delta = 0,22$; $\gamma_0 = 2500$</p> <p>2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>3 Утеплитель – гравий керамзитовый $\delta = ?$; $\gamma_0 = 200$</p> <p>4 Воздушная прослойка</p> <p>5 Сосновая доска $\delta = 0,035$ по лагам 80×80 мм</p>

№ п/п	Схема конструкции наружного ограждения	№ слоя	Материал слоя в конструкции ограждения (δ – толщина слоя, м; γ_0 – плотность материала, кг/м ³)
7		1 2 3 4 5	<p>1 Монолитная железобетонная плита $\delta = 0,22$; $\gamma_0 = 2500$</p> <p>2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>3 Утеплитель – керамзитобетон $\delta = ?$; $\gamma_0 = 500$</p> <p>4 Воздушная прослойка</p> <p>5 Сосновая доска $\delta = 0,035$ по лагам 80×100 мм</p>
8		1 2 3 4 5 6	<p>1 Монолитная железобетонная плита $\delta = 0,22$; $\gamma_0 = 2500$</p> <p>2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>3 Утеплитель – плиты из ячеистого бетона $\delta = ?$; $\gamma_0 = 800$</p> <p>4 Воздушная прослойка</p> <p>5 Сосновая доска $\delta = 0,02$ по лагам 100×100 мм</p> <p>6 Паркет дубовый $\delta = 0,008$; $\gamma_0 = 700$</p>
9		1 2 3 4 5 6	<p>1 Монолитная железобетонная плита $\delta = 0,22$; $\gamma_0 = 2500$</p> <p>2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>3 Утеплитель – минераловатные плиты $\delta = ?$; $\gamma_0 = 60$</p> <p>4 Древесно-стружечная плита $\delta = 0,020$; $\gamma_0 = 800$</p> <p>5 Древесно-волокнистая плита $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>6 Линолеум на тканевой основе $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 1400$</p>
10		1 2 3 4 5 6	<p>1 Пустотная железобетонная плита $\delta = 0,24$; $\gamma_0 = 2500$</p> <p>2 Два слоя рубероида (пергамина) $\delta = 0,004$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>3 Утеплитель – керамзитобетон $\delta = ?$; $\gamma_0 = 500$</p> <p>4 Битумная мастика $\delta = 0,004$; $\gamma_0 = 1400$</p> <p>5 Древесно-стружечная плита $\delta = 0,020$; $\gamma_0 = 600$</p> <p>6 Линолеум на тканевой основе $\delta = 0,005$; $\gamma_0 = 1400$</p>